



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

ROBERTA FALCÃO DE CERQUEIRA PAES

**GESTÃO AMBIENTAL DE RESERVATÓRIOS UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO: O CASO DO RESERVATÓRIO DE
ITAPARICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Recife, 2012

ROBERTA FALCÃO DE CERQUEIRA PAES

**GESTÃO AMBIENTAL DE RESERVATÓRIOS UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO: O CASO DO RESERVATÓRIO DE
ITAPARICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil - Área de Concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da UFPE.

Prof^ª. Dr^ª. Maria do Carmo Martins Sobral
Orientadora
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof^ª. Dr^ª. Ana Lúcia Bezerra Candeias
Co-orientadora
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Recife, 2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

P126g Paes, Roberta Falcão de Cerqueira.
Gestão ambiental de reservatórios utilizando geoprocessamento: o caso do reservatório de Itaparica no semiárido brasileiro / Roberta Falcão de Cerqueira Paes. - Recife: O Autor, 2012.
241 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.
Coorientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2012.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Geotecnologias. 3. Reservatórios. 4. Gestão ambiental. I. Sobral, Maria do Carmo Martins. (Orientadora). II. Candeias, Ana Lúcia Bezerra. III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2015-146



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**GESTÃO AMBIENTAL DE RESERVATÓRIOS UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO: O CASO DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Defendida por

Roberta Falcão de Cerqueira Paes

Considera o candidato APROVADA

Recife, 03 de fevereiro de 2012

Maria do Carmo Martins Sobral – UFPE
(orientador)

Ana Lúcia Bezerra Candeias – UFPE
(co-orientador)

Tarciso Cabral da Silva – UFPB
(examinador externo)

Silvana Carvalho de Souza Calado – UFPE
(examinador externo)

João Rodrigues Tavares Júnior – UFPE
(examinador externo)

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral – UFPE
(examinador interno)

Dedico

Aos meus pais, Marcelo e Salete.

Ao meu esposo, Edinaldo, e
ao nosso filho, Rafael.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma conquista.

Aos meus pais, Marcelo e Salete, pelos ensinamentos recebidos e pelo constante apoio em todos os momentos de minha vida.

Ao meu esposo, Edinaldo, pela sua compreensão e apoio para que eu conquiste meus objetivos. Pelo seu incentivo durante o período do meu estágio de doutorado na Universidade Técnica de Berlim.

À Professora Maria do Carmo Sobral que me aceitou como sua aluna, pela sua valiosa orientação, pela sua amizade e carinho e principalmente, pelo seu importante apoio durante o período de estágio de doutorado em Berlim.

À Companhia Hidrelétrica do São Francisco, CHESF, que permitiu a realização deste doutorado, especialmente a Diretoria de Engenharia, em nome de Carlos Roberto Aguiar de Brito, Severino Gomes de Moraes Filho, Paulo Francisco Barbosa e Dione Andrade.

Ao Professor Gunter Gunkel pelo seu apoio e ensinamentos durante os cinco meses de estágio de doutorado na Universidade Técnica de Berlim.

À Professora Ana Lúcia Candeias, que aceitou ser co-orientadora desta tese, pela sua atenção e valiosos ensinamentos.

Aos professores Rita Fonseca, Manoela Moraes e Fernando Barriga por ser tão bem recebida durante o estágio no Departamento de Águas da Universidade de Évora.

Aos amigos que me apoiaram durante o período de estágio de doutorado em Berlim: Gevson Andrade, Anderson Paiva, a família Wecker (Patrícia, Uwe e Iago) e especialmente as amigas Raquel Amaral e Adriana Dantas.

Aos colegas de doutorado Renata Carvalho, Gustavo Lira, Alessandra Maciel, Rita de Cássia Figueiredo, André Ferreira e Maiara Melo.

Aos colegas da CHESF que me ajudaram na construção do Sistema de Informações Geográficas: Albino Leal, Andréa Amarante e Clara Célia.

À Andrea Negromonte e demais funcionários da UFPE, pela atenção e presteza no atendimento.

Ao meu filho, Rafael, pelo amor e alegria que trouxe para minha vida.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos por torcerem pelo meu sucesso.

Aos meus sogros, José Nilton e Luísa, pelos cuidados com o meu filho enquanto eu finalizava a tese de doutorado.

À CAPES e DAAD pela bolsa do programa PROBRAL.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi elaborado para ser apresentado à Banca Examinadora do Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como exigência parcial para obtenção do grau de Doutor.

A autora possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) (2001) e Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) (2003). É especialista em Gestão e Controle Ambiental pela Universidade de Pernambuco (UPE), tendo obtido o grau em 2007. Em 2011, obteve o título de especialista em Geoprocessamento pela Universidade Estadual de Campina Grande (UEPB).

É Engenheira da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) desde 2002, atualmente desenvolve suas atividades na Divisão de Meio Ambiente de Geração, atuando principalmente na gestão ambiental de reservatórios e de centrais geradoras eólicas, tendo exercido anteriormente atividades na Coordenadoria Especial do Empreendimento Itaparica, na gestão ambiental de projetos de irrigação. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, com ênfase em Gestão Ambiental, atuando principalmente em: gestão e controle ambiental.

Para aprofundar os conhecimentos em gestão de reservatórios, foi realizado estágio de doutoramento sanduíche junto ao Instituto Técnico de Proteção Ambiental (*Institut für Technischen Umweltschutz*) da Universidade Técnica de Berlim, sob a orientação do Prof. Dr. Günter Gunkel, do Departamento de Controle de Qualidade da Água. O estágio foi realizado no período de 01 de dezembro de 2006 a 30 de abril de 2007 através do Projeto de Cooperação Técnica (PROBRAL 238/2006) entre a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Universidade Técnica de Berlim (TU-Berlin), intitulado: “*Impacto de Qualidade de Água em Reservatórios do Rio São Francisco Causado pelo Uso Desordenado do Solo nas Margens: Desenvolvimento de Um Sistema de Informações de Análise de Risco*”.

Em 2010, a autora participou do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) intitulado “Impacto causado pelo uso desordenado do solo das margens da Barragem de Itaparica na qualidade da água do reservatório” Convênio FADE/CHESF/ANEEL, Processo 0048-016/2006, sendo esta tese um dos produtos desse projeto.

RESUMO

A aplicação do geoprocessamento, em especial os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ganham cada dia mais destaque como eficientes ferramentas de gestão ambiental, já que são capazes de gerenciar, espacializar e integrar dados de diferentes fontes, transformando-os em informações relevantes, as quais retratam o mundo real, permitindo a realização de análises espaciais e auxiliando os gestores nos processos de tomada de decisão. A gestão ambiental de reservatórios de múltiplos usos, incluindo os destinados a geração de energia elétrica, irrigação e abastecimento humano, dentre outros, envolve a análise integrada de diversas informações como a qualidade da água, condições de uso e ocupação do solo, entre outras, uma vez que esses reservatórios, em geral, são de grandes dimensões. Esta pesquisa tem como objetivo utilizar geotecnologias, no sentido de aprimorar a gestão ambiental aplicável a reservatórios para geração de energia elétrica, possibilitando ao gestor a realização de análises espaciais integradas, emissão de relatórios e elaboração de mapas temáticos como apoio à tomada de decisão. Para isso utilizou-se o reservatório de Itaparicano semiárido brasileiro, localizado no trecho submédio do rio São Francisco, como estudo de caso. Para atingir este objetivo, foi construído um sistema de informações geográficas, chamado de SIG-Itaparica. Inicialmente foi elaborado um projeto conceitual de banco de dados geográfico e em seguida a construção do referido sistema, que engloba as seguintes informações: diagnóstico ambiental (meio físico, biótico e antrópico), planos e projetos com atuação no reservatório, outorgas e licenças ambientais, imagens aerofotogramétricas e de satélite, entre outras. Como resultado foi apresentado um diagnóstico ambiental da área de estudo, utilizando as informações do SIG-Itaparica, bem como análises espaço-temporal da qualidade da água do reservatório de Itaparica, relacionando com o uso e ocupação do solo. Também foi verificada a qualidade da água bruta através do Índice de Qualidade de Água de Bascarán (IQA_B) e do Índice do Estado Trófico (IET). Como resultado para o IQA_B obteve-se uma água classificada entre agradável e aceitável. Quanto ao IET, foi obtido como resultado uma variação entre oligotrófico e eutrófico. Em seguida esses índices de qualidade de água foram interpolados com auxílios de ferramentas estatísticas do SIG para visualizar a distribuição dessas classificações ao longo do reservatório, mostrando as funcionalidades do SIG proposto. Para finalizar, foram realizadas aplicações de apoio à decisão, através da criação de cenários e análises de diversos dados de forma integrada. Os resultados obtidos revelaram que o geoprocessamento é uma ferramenta indispensável para análises ambientais que envolvem diversos dados espaciais, mostrando-se como um eficiente meio para auxiliar na gestão ambiental sustentável de reservatórios construídos e operados pelo setor elétrico, bem como uma excelente ferramenta no apoio à tomada de decisão.

Palavras-chave: Geotecnologias. Reservatórios. Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The use of geoprocessing, especially Geographic Information Systems (GIS), has gained ever more importance as efficient environmental management tools, due to their capability to manage, spatialise and integrate data from different sources, transforming them in relevant information which depicts real world conditions, allowing to carry out spatial analyses and to assist managers in their decision-making. The environmental management of multiplepurpose reservoirs, including those for power generation, irrigation and water supply, among others, involves the integrated analysis of different information, such as water quality, conditions of land use and occupation, among others, as these are, in general, large-scale reservoirs. This research is aimed at using geotechnologies as a way of improving the environmental management applicable to reservoirs for power generation, enabling the manager to carry out integrated spatial analyses, to submit reports and elaborate thematic maps with the aid of decision-making. For this purpose, a geographic information system was created in the Itaparica reservoir, in the Brazilian semiarid, located in the sub-medium São Francisco River, being named as GIS-Itaparica. A conceptual modelling of geographic databases was initially created, followed by the construction of the given system, which includes the following information: environmental diagnosis (physical, biotic and anthropic environments), plans and projects directed at the reservoir, environmental licenses and permits, aerophotogrammetric and satellite images, among others. As a result, an environmental diagnosis of the study area was presented, using the information from GIS-Itaparica, as well as the spatial and temporal analysis of water quality of the Itaparica reservoir, being related with land occupation and land use. The raw water quality was also verified through the Water Quality Index of Bascarán (IQAB) and the water's Trophic State Index (TSI). As a result for the IQAB, the water was classified as being between oligotrophic and acceptable. As for the TSI, a variation between oligotrophic and eutrophic was obtained. The indices were then interpolated with the aid of statistical GIS tools in order to visualise the distribution of these classifications throughout the reservoir, highlighting the functionalities of the GIS proposed. Finally, Decision Support Systems were performed, creating scenarios and analysing various data in an integrated manner. The results obtained revealed geoprocessing as being an indispensable tool for environmental analyses involving several spatial data, proving to be an efficient way of assisting the sustainable environmental management of hydropower reservoirs, as well as being considered an excellent decision-making tool.

Keywords: Geotechnologies. Reservoirs. Environmental management

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Elementos de um sistema de gestão ambiental	43
Figura 2.2	Representação esquemática das etapas do Ciclo PDCA	46
Figura 2.3	Estrutura geral de sistemas de informações geográficas	67
Figura 3.1	Área de estudo	80
Figura 3.2	Delimitação das Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII)	82
Figura 3.3	Fluxograma com as etapas da pesquisa	83
Figura 3.4	Modelo entidade-relacionamento	85
Figura 3.5	Etapas para o desenvolvimento do SIG- Itaparica	86
Figura 3.6	Localização dos pontos de amostragem de água para análise de parâmetros físico-químicos do Reservatório de Itaparica	92
Figura 4.1	Divisão da bacia em regiões fisiográficas	97
Figura 4.2	Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco	99
Figura 4.3	Demandas consuntivas na região hidrográfica do rio São Francisco .	100
Figura 4.4	Localização dos reservatórios e das UHE no rio São Francisco	102
Figura 4.5	Reservatório Luiz Gonzaga (Itaparica)	104
Figura 4.6	Localização dos projetos de irrigação	107
Figura 4.7	Precipitação média da região do reservatório de Itaparica	108
Figura 4.8	Território Itaparica	127
Figura 4.9	Zoneamento Ambiental do Entorno do Reservatório de Itaparica	130
Figura 4.10	Risco de degradação por erosão hídrica no Vale do São Francisco	131
Figura 4.11	Relação entre carga orgânica de esgoto doméstico e carga assimilável por diluição para a disponibilidade hídrica	132
Figura 5.1	Projeto conceitual do banco de dados geográfico para o reservatório de Itaparica, através do diagrama entidade-relacionamento	142
Figura 5.2	Ordem de apresentação dos Planos de Informações	144
Figura 5.3	Dados climatológicos da região do reservatório Itaparica para o ano de 2008	147
Figura 5.4	Dados climatológicos da região do reservatório Itaparica para o ano de 2009	147
Figura 5.5	Dados climatológicos da região do reservatório Itaparica para o ano de 2010	148
Figura 5.6	Formações geológicas presentes na AII do reservatório de Itaparica – Bahia	149
Figura 5.7	Mapa de drenagem do reservatório Itaparica	150
Figura 5.8	Recorte na rede de drenagem do reservatório Itaparica	151
Figura 5.9	Mapa dos pontos de captura de herpetofauna	152
Figura 5.10	Dados de herpetofauna armazenados no SIG-Itaparica	153
Figura 5.11	Mapa dos pontos de captura de avifauna	155
Figura 5.12	Dados de avifauna armazenados no SIG-Itaparica	157
Figura 5.13	Mapa dos pontos de captura de mastofauna	158
Figura 5.14	Dados de mastofauna armazenados no SIG-Itaparica	159
Figura 5.15	Mapa de vegetação e uso e ocupação do solo	161
Figura 5.16	Localização das reservas legais	162
Figura 5.17	Uso e ocupação da APP	163
Figura 5.18	Área de cultura e vegetação de médio porte no município de Rodelas	164

Figura 5.19	Localização das áreas urbanas	165
Figura 5.20	Visualização do projeto de irrigação Apolônio Sales e sua outorga de água	166
Figura 5.21	Visualização do projeto de irrigação Glória e pontos de captação de água	167
Figura 5.22	Localização da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Petrolândia	170
Figura 5.23	Localização dos pontos de amostragem de água para análises de limnologia	172
Figura 5.24	Estatística descritiva para o pH medido em amostras de água do reservatório de Itaparica	173
Figura 5.25	Resultado da consulta realizada na tabela de atributos (pH maior que 9,0)	173
Figura 5.26	Variação temporal do pH	174
Figura 5.27	Variação temporal do pH	175
Figura 5.28	Estatística descritiva para o pH para o período seco	176
Figura 5.29	Estatística descritiva para o pH para o período chuvoso	176
Figura 5.30	Distribuição espacial do pH para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	177
Figura 5.31	Estatística descritiva para a turbidez medida em amostras de água do reservatório de Itaparica	178
Figura 5.32	Variação temporal da turbidez	179
Figura 5.33	Estatística descritiva para a turbidez para o período seco	180
Figura 5.34	Estatística descritiva para a turbidez para o período chuvoso	180
Figura 5.35	Distribuição espacial da turbidez para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	181
Figura 5.36	Estatística descritiva para a condutividade elétrica medida em amostras de água do reservatório de Itaparica	182
Figura 5.37	Variação temporal da condutividade elétrica	183
Figura 5.38	Estatística descritiva para a condutividade elétrica para o período chuvoso	184
Figura 5.39	Estatística descritiva para a condutividade elétrica para o período seco	184
Figura 5.40	Distribuição espacial da condutividade elétrica para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	185
Figura 5.41	Estatística descritiva para a turbidez medida em amostras de água do reservatório de Itaparica	186
Figura 5.42	Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos	187
Figura 5.43	Estatística descritiva para STD para o período chuvoso	188
Figura 5.44	Estatística descritiva para STD para o período seco	188
Figura 5.45	Distribuição espacial dos sólidos totais dissolvidos para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	189
Figura 5.46	Estatística descritiva para o oxigênio dissolvido medido em amostras de água do reservatório de Itaparica	190
Figura 5.47	Variação temporal do oxigênio dissolvido (OD)	191
Figura 5.48	Distribuição espacial do oxigênio dissolvido para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	192
Figura 5.49	Estatística descritiva para o Nitrogênio amoniacal medido em amostras de água do reservatório de Itaparica	193
Figura 5.50	Variação temporal do nitrogênio amoniacal	194
Figura 5.51	Estatística descritiva para Nitrogênio amoniacal para o período seco	195

Figura 5.52	Estatística descritiva para Nitrogênio amoniacal para o período chuvoso	195
Figura 5.53	Distribuição espacial do Nitrogênio amoniacal para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	196
Figura 5.54	Estatística descritiva para o nitrito medido em amostras de água do reservatório de Itaparica	197
Figura 5.55	Variação temporal do nitrito	198
Figura 5.56	Estatística descritiva para o nitrito para o período seco	199
Figura 5.57	Estatística descritiva para o nitrito para o período chuvoso	199
Figura 5.58	Distribuição espacial do Nitrito para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	200
Figura 5.59	Estatística descritiva para o nitrato medido em amostras de água do reservatório de Itaparica	201
Figura 5.60	Variação temporal do nitrato	202
Figura 5.61	Estatística descritiva para o nitrato para o período seco	203
Figura 5.62	Estatística descritiva para o nitrato para o período chuvoso	203
Figura 5.63	Distribuição espacial do Nitrato para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	204
Figura 5.64	Estatística descritiva para Fósforo Total	205
Figura 5.65	Variação temporal para o fósforo total	206
Figura 5.66	Estatística descritiva para o Fósforo Total para o período seco	207
Figura 5.67	Estatística descritiva para o Fósforo Total para o período chuvoso ...	207
Figura 5.68	Distribuição espacial do Fósforo Total para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação	208
Figura 5.69	Localização dos pontos de contaminação por agrotóxicos	209
Figura 5.70	Distribuição espacial dos pontos de amostragem de água para análise de óleos e graxas	211
Figura 5.71	Pontos de amostragem para coleta de água para análise de óleo e graxas	212
Figura 5.72	Valores do IET para o reservatório de Itaparica	213
Figura 5.73	Representação do IQA _B para o reservatório de Itaparica (ITA 01 a ITA 12)	214
Figura 5.74	Índice de qualidade de água de Bascarán para os pontos CA 01 a CA 06	215
Figura 5.75	Localização das pisciculturas em operação no reservatório de Itaparica	217
Figura 5.76	Localização das pisciculturas em operação no município de Itacuruba	218
Figura 5.77	Localização das pisciculturas em operação no município de Petrolândia	218
Figura 5.78	Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação	221
Figura 5.79	Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Itacuruba	222
Figura 5.80	Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Petrolândia	222
Figura 5.81	Localização das pisciculturas em análise pelo Ministério da Pesca e outros órgãos	223

Figura 5.82	Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Itacuruba e os projetos em análise	224
Figura 5.83	Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Petrolândia e os projetos em análise	225

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Fases da conscientização ambiental nas empresas – abordagens	40
Quadro 2.2	Benefícios da gestão ambiental para as diversas organizações	42
Quadro 2.3	Normas da série ISO 14000 direcionadas às organizações	45
Quadro 2.4	Requisitos do SGA conforme estabelece a norma NBR ISO 14001:2004	47
Quadro 2.5	Principais instrumentos legais para gestão ambiental de reservatórios	52
Quadro 2.6	Principais impactos positivos e negativos de reservatórios	60
Quadro 2.7	Aspectos socioambientais relevantes para seleção de locais barráveis	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Tipos de geração de energia elétrica no Brasil	27
Tabela 2.2	Valores de fósforo total e clorofila para identificação do estado trófico	60
Tabela 3.1	Localização dos pontos de amostragem – SIRGAS 2000/UTM ..	90
Tabela 3.2	Definição da constante k de acordo com o aspecto visual das águas	94
Tabela 3.3	Parâmetros utilizados no cálculo do IQA _B com peso correspondente (Pi) e valor percentual (Ci)	94
Tabela 4.1	Participação das unidades da federação na bacia	96
Tabela 4.2	Principais características hidroclimáticas da bacia hidrográfica do rio São Francisco	98
Tabela 4.3	Principais características físicas da bacia hidrográfica do rio São Francisco	98
Tabela 4.4	Reservatórios para geração de energia elétrica na Bacia do Rio São Francisco	102
Tabela 4.5	Principais características dos projetos de irrigação localizados ao longo do reservatório de Itaparica	105
Tabela 4.6	Características do aproveitamento hidrelétrico de Itaparica	106
Tabela 4.7	Principais sub-bacias localizadas nas proximidades do reservatório de Itaparica	114
Tabela 4.8	População residente em 1980 e 2010	118
Tabela 4.9	Infra-estrutura instalada	120
Tabela 4.10	Situação do abastecimento de água	122
Tabela 4.11	Situação dos resíduos sólidos	122
Tabela 4.12	Situação do esgotamento sanitário	122
Tabela 4.13	Investimentos em saneamento ambiental entre 2007 e 2010	123
Tabela 4.14	Informações sobre outorgas de água emitidas pela ANA para os projetos de irrigação localizados no entorno do reservatório de Itaparica	135
Tabela 4.15	Valores cobrados pelos usos dos recursos hídricos na BHRSF	136
Tabela 5.1	Ordem e conteúdos dos planos de informação do SIG-Itaparica .	145
Tabela 5.2	Área das reservas legais dos projetos de irrigação localizados no entorno do reservatório de Itaparica	161
Tabela 5.3	Dados armazenados para outorgas de água	167
Tabela 5.4	Área com piscicultura implantada por município	219
Tabela 5.5	Áreas aprovadas para implantação de pisciculturas por município	223
Tabela 5.6	Áreas em análise para aprovação de projetos de pisciculturas	224

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 4.1	UHE Sobradinho	103
Fotografia 4.2	UHE Itaparica	103
Fotografia 4.3	UHE Paulo Afonso	103
Fotografia 4.4	UHE Xingó	103
Fotografia 4.5	Reservatório e UHE Luiz Gonzaga	106
Fotografia 4.6	Solos rasos (planossolos e neossoloslitolicos), erodidos e degradados, correspondendo à região de Floresta e Cabrobó, com caatinga hiperxerofila muito rala	110
Fotografia 5.1	Espécimes de <i>Pleurodemadiplolister</i> na caatinga do Projeto Glória .	154
Fotografia 5.2	Fêmea de <i>C. ocellifer</i> (calango-bico-doce) grávida, capturada na Área de Reserva Legal Icó Mandantes Bloco -3	154
Fotografia 5.3	<i>Xenopsarisalbinucha</i> jovem (plumagem barrada/amarelada), caatinga do Projeto Barreiras, Petrolândia-PE	156
Fotografia 5.4	Anilha utilizada na marcação das aves (<i>Coerebaflaveola</i>), Glória-BA	156
Fotografia 5.5	Indivíduos de <i>Artibeusplanirostris</i> abrigados em um coqueiro em área antrópica do Projeto de Irrigação Glória	159
Fotografia 5.6	Indivíduo de <i>Peropteryxmacroscapturado</i> na área de Icó Mandantes Bloco-3	160
Fotografia 5.7	Captação próxima à Agrovila G1 – Projeto Glória	168
Fotografia 5.8	Cultivo de manga no projeto Glória	168
Fotografia 5.9	Cultivo de coco no projeto Apolônio Sales	169
Fotografia 5.10	Cultivo de uva no projeto Apolônio Sales	169
Fotografia 5.11	Aterro sanitário do município de Petrolândia	170
Fotografia 5.12	Aterro sanitário do município de Petrolândia	170
Fotografia 5.13	Piscicultura próxima às margens do reservatório de Itaparica	220
Fotografia 5.14	Piscicultura em Petrolândia	220

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BOVESPA	Bolsa de Valores de São Paulo
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CMDS	Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNPE	Conselho Nacional de Políticas Energéticas
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Planejamento Energético
FADURPE	Fundação Apolônio Sales de Desenvolvimento Educacional
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA-BA	Instituto de Meio Ambiente da Bahia
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONG	Organizações Não Governamentais
ONS	Operador Nacional dos Sistemas
ONU	Organização das Nações Unidas
PDMA	Plano Diretor para Conservação e Recuperação do Meio Ambiente
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente
SECTMA	Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

LISTA DE ABREVIATURAS

APP	Área de Preservação Permanente
BEM	Balanço Energético Nacional
BHRSF	Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
BSI	British Standards Institution
CAB	Comissão de Atingidos por Barragens
CBERS 2	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CCEE	Câmara de comercialização de Energia Elétrica
CFC	Clorofluorcarbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COP6	6ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EMS	Environmental Management System
EPE	Empresa de Planejamento Energético
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPS	Global Position System
HTML	Linguagem de Marcação de Hipertexto
ICC	Câmara Internacional do Comércio
IET	Índice do Estado Trófico
IQA _B	Índice da qualidade de água de Bascarán
IMA	Instituto de Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
Landsat	<i>Land Remote SensingSatellite</i>
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
PAC	Plano de Aceleração do Crescimento
PBHSF	Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i> (Planejar-Executar-Verificar-Agir)
PI	Planos de Informações
PTDRS	Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RH	Região Hidrográfica
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SADE	Sistemas de Apoio à Decisão Espacial
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SGBD	Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar TopographyMission
STD	Sólidos Dissolvidos Totais

UHE	Usina Hidro Elétrica
ZAPE	Zoneamento Agro-ecológico do Estado de Pernambuco
ZEE-	Zoneamento Ecológico Econômico da Bacia do São Francisco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA	21
1.2	OBJETIVOS	24
1.2.1	Objetivo geral	24
1.2.2	Objetivos específicos	24
1.3	ESTRUTURA DA TESE	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1	O SETOR ELÉTRICO E O MEIO AMBIENTE	26
2.2	GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL	30
2.2.1	Evolução da questão ambiental	30
2.2.2	Conceitos e modelos de gestão ambiental empresarial	34
2.2.3	Sistemas de gestão ambiental	41
2.3	ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS	48
2.3.1	Política e instrumentos de gestão ambiental	48
2.3.2	Política e instrumentos de gestão de recursos hídricos	52
2.4	RESERVATÓRIOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	56
2.4.1	Reservatórios como instrumento de desenvolvimento econômico	56
2.4.2	Principais impactos ambientais	58
2.4.3	Desafios e perspectivas futuras	62
2.5	GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À GESTÃO AMBIENTAL	66
2.5.1	Sistemas de informações geográficas	66
<i>2.5.1.1</i>	<i>Banco de dados geográficos e sistemas de informações geográficas</i>	68
<i>2.5.1.2</i>	<i>Análise espacial de dados</i>	70
<i>2.5.1.3</i>	<i>SIG como Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SADE)</i>	72
2.5.2	Exemplos de aplicações de geotecnologias em gestão ambiental	75
3	METODOLOGIA	79
3.1	CRITÉRIOS DE ESCOLHA E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ..	79
3.2	ASPECTOS METODOLÓGICOS	82
3.2.1	Levantamento bibliográfico, documental, cartográfico e arcabouço legal	83
3.2.2	Coleta de dados primários	84
3.2.3	Projeto conceitual de banco de dados geográfico	85

3.2.4	Etapas para construção do Sistema de Informações Geográficas	85
3.2.5	Análises espaciais	88
3.2.6	Aplicações de Sistemas de Apoio à Decisão Espacial	95
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	96
4.1	O RIO SÃO FRANCISCO E O SISTEMA HIDRELÉTRICO	96
4.2	RESERVATÓRIO DE ITAPARICA E SUA ÁREA DE INFLUÊNCIA	104
4.2.1	Caracterização ambiental	108
4.2.1.1	<i>Meio físico</i>	108
4.2.1.2	<i>Meio biótico</i>	115
4.2.1.3	<i>Meio antrópico</i>	117
4.3	A GESTÃO AMBIENTAL DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA	123
4.3.1	Instrumentos de Ordenamento Territorial	124
4.3.1.1	<i>Plano Nacional de Recursos Hídricos</i>	124
4.3.1.2	<i>Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco</i>	125
4.3.1.3	<i>Projeto de Conservação e Revitalização da Bacia do São Francisco</i>	126
4.3.1.4	<i>Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Integrado – Território Itaparica</i>	126
4.3.1.5	<i>Zoneamento Ecológico Econômico da Bacia do São Francisco</i>	128
4.3.1.6	<i>Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais</i>	129
4.3.2	Instrumentos de comando e controle	132
4.3.2.1	<i>Licenciamento ambiental</i>	132
4.3.2.2	<i>Fiscalização ambiental</i>	134
4.3.2.3	<i>Outorga de uso da água</i>	135
4.3.2.4	<i>Cobrança pelo uso da água</i>	136
4.3.2.5	<i>Compensação ambiental</i>	136
4.3.3	Instrumentos para tomada de decisão	137
4.3.3.1	<i>Enquadramento dos corpos d' água</i>	137
4.3.3.2	<i>Monitoramento ambiental</i>	137
4.3.3.3	<i>Sistemas de informações ambientais e de recursos hídricos</i>	138
4.3.3.4	<i>Instâncias de decisão colegiada</i>	138
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	141
5.1	ESTRUTURAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO	141
5.2	DESENVOLVIMENTO DO SIG-ITAPARICA	143

5.3	ANÁLISES ESPACIAIS INTEGRADAS PARA O RESERVATÓRIO DE ITAPARICA UTILIZANDO O SIG-ITAPARICA	147
5.3.1	Caracterização ambiental	147
5.3.1.1	<i>Meio físico</i>	147
5.3.1.2	<i>Meio biótico.....</i>	151
5.3.1.3	<i>Meio antrópico.....</i>	164
5.3.2	Análise de qualidade de água	171
5.3.2.1	<i>Parâmetros físico-químicos.....</i>	171
5.3.2.2	<i>Análise espaço temporal para resíduos de agrotóxicos e óleos e graxas</i>	209
5.3.2.3	<i>Indicadores de qualidade de água</i>	212
5.4	DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS PARA AUXILIAR O GESTOR NA TOMADA DE DECISÃO	216
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	226
6.1	CONCLUSÕES.....	226
6.2	RECOMENDAÇÕES	227
	REFERÊNCIAS	229

1 INTRODUÇÃO

Esta tese trata da aplicação de geotecnologias para auxiliar na gestão ambiental de reservatórios construídos e operados pelo setor elétrico. O presente capítulo destaca a motivação e relevância do tema estudado, bem como a hipótese, os objetivos e a estrutura do trabalho.

1.1 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA

O acesso à energia elétrica é requisito básico de cidadania, sem o qual o indivíduo fica marginalizado do que se entende por desenvolvimento. Para ser oferecida nas formas e nos momentos em que se deseja sua utilização, a eletricidade demanda uma grande indústria, que envolve atores e componentes, em uma cadeia que vai desde a captura dos recursos naturais necessários para sua produção até a destinação final dos diversos componentes que fornecem os serviços elétricos. É uma enorme cadeia, que gera emprego e desenvolvimento, mas que afeta o meio ambiente das mais diversas formas. A interação ambiental, além dos aspectos sociais, ressalta a grande importância da energia elétrica na construção do desenvolvimento sustentável (REIS, CUNHA; 2006).

Com as discussões recentes sobre desenvolvimento sustentável, a geração de energia assume preocupação estratégica no mundo, já que a matriz energética mundial depende fortemente (cerca de 80%) de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, óleo e gás), que contribuem para aumentar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Assim, surgem discussões sobre utilização de tecnologias e fontes energéticas ambientalmente benéficas ou que gerem impactos ambientais e sociais de menor proporção, tais como: energia hidráulica, solar, eólica, biomassa entre outras.

O Brasil vem se destacando no campo das fontes renováveis de energia, apresentando um elevado potencial hidráulico. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) este tipo de energia é responsável por cerca 76,6% da capacidade instalada de geração elétrica no país, e por 82,8% da eletricidade consumida (ANEEL, 2009).

Dessa forma, observa-se no Brasil a presença de inúmeros reservatórios construídos com o objetivo principal de geração de energia elétrica. Esses reservatórios são empreendimentos de

alto investimento que proporcionam inúmeras oportunidades de trabalho, além de favorecer a economia local e regional. Apesar de ser considerada uma fonte renovável, a geração de energia elétrica através da construção e operação de reservatórios causa diversos impactos negativos de caráter socioambiental no seu entorno, tornando a vertente ambiental um grande desafio para o setor elétrico, sobretudo para a gestão de reservatórios.

Até a década de 1970, os aspectos socioambientais quase não eram considerados durante o planejamento, implantação e operação de empreendimentos energéticos. Entretanto, com a evolução da legislação ambiental e da consciência ambiental da sociedade, o mercado passa a exigir das empresas uma atitude ambientalmente correta, que se reflete na aceitação de seus produtos e serviços em negócios nacionais e internacionais.

Dessa forma, as empresas começam a criar suas políticas ambientais, bem como seus sistemas de gestão ambiental, que consistem de procedimentos bem definidos, que implantados de forma adequada, permitem gerir os impactos ambientais produzidos pelos empreendimentos. A gestão ambiental deve ser planejada para atuar desde a fase de concepção do empreendimento, passando pela implantação e durante todo o período de operação. Em empreendimentos já em operação, para que a gestão seja bem sucedida, é necessária uma avaliação ambiental inicial para identificar particularidades e atuar de forma eficiente.

Os maiores desafios dos gestores ambientais que atuam com reservatórios para geração de energia elétrica estão em adotar as melhores decisões em uma área que envolve: conflitos sociais, conflitos de uso e ocupação do solo e de uso da água, altos investimentos e participação de diversos grupos no processo decisório, como ministério público, órgãos ambientais, população do entorno, entre outros.

Diante do avanço tecnológico observado atualmente, é necessário investir em novos instrumentos de gestão. As geotecnologias, com ênfase aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), colocam-se como recursos capazes de gerenciar, espacializar e integrar dados de diferentes fontes, transformando-os em informações relevantes que permitem a realização de análises espaciais, facilitando a tomada de decisão do gestor ambiental. Nesse sentido, as informações tratadas com auxílio de SIG possibilitam ao gestor a representação do mundo real, constituindo um sistema de apoio à decisão.

Assim, o presente trabalho refere-se ao desenvolvimento de um SIG para o reservatório de Itaparica, denominado SIG-Itaparica, o qual unificará e integrará informações dispersas em diversas fontes de dados (mapas, planilhas, banco de dados, licenças ambientais, entre outros).

O referido SIG será composto por uma série de módulos integrados (meio físico, meio biótico, meio socioeconômico, entre outros), possibilitando a aquisição, manutenção, atualização e disponibilização dos dados. Além disso, o SIG-Itaparica pode ser utilizado como uma eficiente ferramenta de apoio à decisão através da utilização de indicadores ambientais e criação de cenários que retratem o mundo real, agilizando a tomada de decisão dos gestores ambientais e o fluxo de informação entre a empresa gestora do reservatório e demais instituições e sociedade civil relacionadas à gestão do reservatório.

O Reservatório de Itaparica foi escolhido para estudo de caso desta pesquisa por possuir um acervo de informações ambientais, em sua maioria decorrentes das condicionantes da licença de operação N° 510/2005, emitida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e por apresentar múltiplos usos, ou seja: (i) geração de energia elétrica; (ii) irrigação; (iii) abastecimento doméstico e industrial; (iv) piscicultura; (v) lazer; (vii) navegação.

Além disso, o reservatório de Itaparica está localizado na região semiárida brasileira, a qual ocupa uma área de cerca de 1.000.000 km², caracterizada por apresentar índice de precipitação pluviométrica inferior a 800 mm/ano e índice de aridez até 0,5 (cálculo realizado através do balanço hídrico da região, razão entre a evapotranspiração potencial e a precipitação). Sendo uma região que sofre com problemas de escassez periódica de água, observa-se a necessidade de intensificar os esforços na gestão de recursos hídricos para assegurar a disponibilidade de água, assim como reduzir as perdas. Tornando-se necessária a integração com a gestão ambiental dos ecossistemas aquáticos para atender aos padrões de qualidade e garantir à população atual e futura o acesso à água de boa qualidade.

Ainda nesta região, está em desenvolvimento o Projeto de Integração do Rio São Francisco, com o objetivo de assegurar a oferta de água, em 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de pequenas, médias e grandes cidades da região semiárida. Para isso foram planejados dois canais: o Eixo Norte que levará água para os sertões de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte e o Eixo Leste que beneficiará parte do sertão e as regiões do agreste de

Pernambuco e da Paraíba. A captação do Eixo Leste será feita no reservatório de Itaparica, no município de Floresta e a do Eixo Norte no rio São Francisco próximo ao município de Cabrobó-PE. Portanto, é fundamental assegurar que a água a ser bombeada seja de boa qualidade.

Diante do exposto, observa-se que o reservatório de Itaparica, localizado em uma região com escassez de água, é um importante vetor de inserção regional, justificando-se sua escolha como estudo de caso para utilização de ferramentas de geoprocessamento e apoio à decisão espacial.

O ineditismo desse tema está reportado na inexistência de ferramentas simplificadas disponíveis ao tomador de decisão no processo de gestão ambiental de reservatórios de múltiplos usos destinados, principalmente, à geração de energia elétrica. Uma gestão ambiental corretamente implementada nos reservatórios do semiárido do Brasil, aliada às geotecnologias baseadas na análise integrada e espacial de dados, vem a contribuir para a melhoria do processo de tomada de decisão, proporcionando um melhor gerenciamento desses ecossistemas artificiais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Aplicar ferramentas de geoprocessamento à gestão ambiental de reservatórios construídos e operados para geração de energia elétrica, visando o apoio à tomada de decisão, tendo como objeto de estudo o reservatório de Itaparica, localizado no trecho do submédio do rio São Francisco.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos citados abaixo se articulam com o tema formulado na pesquisa. Com vista à construção progressiva dos resultados que atendam ao objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um sistema de informação geográfica para auxiliar na gestão ambiental do reservatório em estudo;

- Realizar análises espaciais integradas para o reservatório de Itaparica, no que diz respeito a qualidade da água;
- Desenvolver cenários futuros, como exemplo a piscicultura, para subsidiar os gestores, buscando avaliar o desempenho do SIG como ferramenta de apoio à decisão.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

Este documento é composto por 6 (seis) capítulos, sendo o presente o capítulo de introdução, contendo a motivação e relevância do tema, e os objetivos da pesquisa. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica de temas estudados nesta tese como gestão e planejamento ambiental, aspectos legais e institucionais, explanando-se sobre reservatórios, seus múltiplos usos e principais impactos, finalizando geotecnologias como ferramenta para gestão ambiental. O terceiro capítulo apresenta a metodologia da pesquisa, iniciando com a natureza da pesquisa, critérios para seleção da área de estudo e os aspectos metodológicos. O quarto capítulo se refere à caracterização da área de estudo, inicialmente apresenta o rio São Francisco e suas principais características e em seguida os instrumentos de gestão ambiental aplicados ao reservatório de Itaparica. O quinto capítulo apresenta os Resultados e Discussão da pesquisa, obtidos na forma de banco de dados, mapas, tabelas, gráficos e figuras, assim como a discussão destes, abrangendo a estruturação de um banco de dados geográfico, o desenvolvimento do SIG-Itaparica, análises espaciais integradas para o reservatório de Itaparica e criação de cenários para auxiliar o gestor na tomada de decisão. O sexto capítulo refere-se às conclusões e recomendações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta conceitos teóricos sobre os temas abordados nesta tese, visando subsidiar as discussões para a gestão ambiental de reservatórios. Inicia apresentando o setor elétrico no Brasil e sua relação com o meio ambiente, em seguida descreve o planejamento e a gestão ambiental, bem como os principais instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos. Apresenta definições e principais impactos ambientais de reservatórios, além de perspectivas e desafios futuros, com destaque aos reservatórios construídos e operados para geração de energia elétrica. Finaliza com conceitos sobre os sistemas de informações geográficas, considerado nesta tese como uma importante ferramenta para auxiliar os gestores ambientais na tomada de decisão.

2.1 O SETOR ELÉTRICO E O MEIO AMBIENTE

A energia elétrica tem participação de forma preponderante na organização da vida do ser humano, sendo uma das bases de sustentação do denominado desenvolvimento, principalmente após a Revolução Industrial. As cadeias energéticas, da produção ao consumo, envolvem transformações de recursos naturais e tecnologias de transporte e utilização que interagem dos mais diversos modos com o meio ambiente, resultando em impactos socioambientais. Como consequência, a energia é um dos principais vetores na questão ambiental e está no cerne das discussões globais que originaram o conceito de desenvolvimento sustentável, cuja implementação tem sido talvez o maior desafio da humanidade (REIS & CUNHA, 2006).

A geração de energia elétrica depende da tecnologia utilizada e das fontes primárias, podendo ser renovável ou não renovável. São consideradas fontes não-renováveis aquelas passíveis de se esgotar por serem utilizadas com velocidade bem maior que os milhares de anos necessários para sua formação. Nessa categoria, estão os derivados de petróleo, os combustíveis radioativos e a energia geotérmica. Já as fontes renováveis são aquelas cuja reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética - como as águas dos rios, marés, sol, ventos - ou cujo manejo pelo homem pode ser efetuado de forma compatível com as necessidades de sua utilização energética - como a biomassa: cana-de-açúcar, florestas energéticas, resíduos animais, humanos e industriais.

A matriz energética mundial, atualmente, é composta em sua maioria por fontes energéticas não renováveis, sendo os combustíveis fósseis responsáveis por grande parte das emissões gasosas que provocam o aquecimento global, os denominados gases de efeito estufa (GEE).

No Brasil, a maior utilização das fontes não-renováveis se dá no setor de transportes, fortemente baseado na utilização dos derivados de petróleo, embora o país apresente a experiência precursora e bem-sucedida de utilização do álcool – fonte renovável, a partir da cana-de-açúcar (biomassa). O setor industrial também apresenta uma razoável utilização de fontes não-renováveis. Por outro lado, a grande fonte de energia elétrica no início do século XXI é a geração hidrelétrica, o que deve ainda perdurar por um longo tempo graças ao grande potencial ainda disponível (REIS et al., 2005). A Tabela 2.1 apresenta os tipos de geração de energia elétrica no Brasil.

Tabela 2.1 – Tipos de geração de energia elétrica no Brasil.

Tipo		Nº de Usinas	(kW)	%
Hidro		787	77.724.549	69,5
Gás	Natural	89	10.598.502	10,6
	Processado	31	1.244.483	
Petróleo	Óleo diesel	762	3.715.894	4,5
	Óleo residual	20	1.265.194	
Biomassa	Bagaço de cana	268	3.832.278	4,7
	Licor negro	14	1.023.798	
	Madeira	32	265.017	
	Biogás	8	41.874	
	Casca de arroz	7	31.408	
Nuclear		2	2.007.000	1,8
Carvão mineral		8	1.455.104	1,3
Eólica		33	414.480	0,4
Importação			8.170.000	7,3
TOTAL		2.061	111.789.581	100,0

Fonte: ANEEL (2009)

O consumo de energia no mundo cresce cerca de 2% ao ano e deverá duplicar em 30 anos se prosseguirem as tendências atuais. O crescimento não é uniforme: nos países industrializados é de apenas cerca de 1% ao ano, mas chega a 4% ao ano nos países em desenvolvimento, que estão crescendo rapidamente e que vão dominar o cenário mundial no que se refere ao consumo de energia dentro de 15 anos. Cerca de 400 bilhões de dólares são investidos, por ano, neste setor. As principais consequências desta evolução são o aumento do consumo de combustíveis fósseis e a resultante poluição ambiental em todos os níveis – local, regional e global. Cerca de 85% do enxofre lançado na atmosfera (principal responsável pela poluição urbana e pela chuva

ácida) origina-se na queima de carvão e petróleo, bem como 75% das emissões de carbono, responsável pelo “efeito estufa” (GOLDEMBERG, 2000).

No Brasil, o setor elétrico, nos últimos anos, tem passado por importantes alterações de cunho estrutural e institucional, migrando de uma configuração centrada no monopólio estatal como provedor dos serviços e único investidor para um modelo de mercado, com a participação de múltiplos agentes e investimentos partilhados com o capital privado. Esta reestruturação foi estabelecida no bojo da reforma do papel do Estado, iniciada em meados da década de 90, possibilitada, por sua vez, pela disposição constitucional de 1988. Esta possibilidade sustentou também a execução da privatização de ativos de serviços de energia elétrica sob controle estadual e federal, onde se inserem as empresas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2008).

Dentre as principais adequações de caráter estrutural ressalta-se: (i) exploração dos serviços de energia elétrica por terceiros, mediante licitação, (ii) controle e operação dos sistemas elétricos de forma centralizada, (iii) livre acesso e uso das redes elétricas, (iv) sementação das atividades setoriais (geração, transmissão, distribuição e comercialização), (v) criação e regulamentação da comercialização de energia elétrica e a criação da figura do consumidor livre.

De cunho institucional ressalta-se: criação do órgão regulador e fiscalizador dos serviços, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), do Operador Nacional do Sistema Interligado (ONS), da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e da Empresa de Planejamento Energético (EPE).

No quadro atual, consolidado pelas Leis Federais n.º 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004, compete:

- ao Poder Executivo a formulação de políticas e diretrizes para o setor elétrico, subsidiadas pelo Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE), formado por ministros de Estado, sob coordenação do Ministro de Estado de Minas e Energia;
- ao Poder concedente, exercido também pelo Poder Executivo, os atos de outorga de direito de exploração dos serviços de energia elétrica;
- ao regulador, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a normatização das políticas e diretrizes estabelecidas e a fiscalização dos serviços prestados;

- ao Operador Nacional dos Sistemas (ONS) a coordenação e a supervisão da operação centralizada do sistema interligado;
- à Câmara de comercialização de Energia Elétrica (CCEE), substituto do Mercado Atacadista de Energia (MAE) no exercício da comercialização de energia elétrica;
- à Empresa de Planejamento Energético (EPE) a realização dos estudos necessários ao planejamento da expansão do sistema elétrico, de responsabilidade do Poder Executivo, conduzido pelo Ministério de Minas e Energia (MME); e
- aos agentes setoriais (geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores) a prestação dos serviços de energia elétrica aos consumidores.

A observação do conjunto de mudanças ocorridas no setor elétrico brasileiro no sentido de introduzir a questão ambiental como uma das variáveis a serem contempladas no processo de tomada de decisão e planejamento de seus empreendimentos, deve, necessariamente, considerar as repercussões do processo de organização de alguns setores da sociedade civil, tais como: (i) o movimento de organização das comunidades rurais que questionavam os procedimentos adotados pelo setor elétrico, quando do reassentamento da população para a implantação da Usina Hidrelétrica de Itaipu (1978); (ii) a consolidação da Comissão de Atingidos por Barragens (CAB) (1979), organizada para acompanhar a intenção das Centrais Elétricas S.A. (ELETROSUL) de construir cerca de 22 usinas hidrelétricas no rio Uruguai; e (iii) o acentuado processo de democratização da sociedade brasileira, marcado, principalmente, pela emergência e consolidação de inúmeros movimentos sociais (BARBOSA, 2001).

Nesse contexto, as primeiras mudanças observadas no setor elétrico para atender às novas demandas foram (ELETROBRAS, 1990):

- Elaboração do Manual de Estudos de Efeitos Ambientais dos Sistemas Elétricos (MEASE), em julho de 1986;
- Elaboração do I Plano Diretor para Conservação e Recuperação do Meio Ambiente nas Obras e Serviços do Setor Elétrico (I PDMA), em novembro de 1986;
- Criação, na ELETROBRAS, em 1987, do Departamento de Planejamento de Meio Ambiente (DPA), estimulando, a partir do ano seguinte, a criação, nas concessionárias, de departamentos destinados ao meio ambiente;

- Elaboração, no início da década de 90, do II Plano Diretor de Meio Ambiente (II PDMA), que deu continuidade às propostas presentes no I PDMA.

A inserção das questões ambientais no planejamento do setor elétrico brasileiro tem crescido gradualmente nos últimos anos, podendo-se identificar três grandes fases de evolução: (i) a primeira fase, que vai do início da atuação do setor elétrico até a publicação da Lei nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), onde a proteção do meio ambiente era focada na proteção dos recursos naturais; (ii) a segunda fase, que compreende o período entre a Lei Federal nº 6.938/81 e a Lei Federal nº 9.605/98, também conhecida como Lei dos Crimes Ambientais, onde surgiram as bases para a gestão ambiental; e (iii) a terceira fase que se iniciou após essa última lei e perdura até os dias atuais, onde há predominância de uma gestão ambiental pressionada por uma base jurídica consolidada e uma pressão da sociedade.

Para que o setor energético se torne sustentável, é necessário que seus problemas sejam abordados de forma compreensiva, incluindo não apenas o desenvolvimento e adoção de inovações e incrementos tecnológicos, mas também importantes mudanças que vêm sendo implementadas em todo o mundo. Essas mudanças envolvem, por um lado, políticas que tendam redirecionar as escolhas tecnológicas e os investimentos no setor, tanto no suprimento como na demanda, bem como o comportamento dos consumidores, quando se trata daqueles consumidores que tem acesso à energia (REIS et al., 2005).

2.2 GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

2.2.1 Evolução da questão ambiental

A questão ambiental ganhou peso após a Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945), quando a humanidade se deu conta de que os recursos naturais são finitos e que seu inadequado uso poderia representar o fim de sua própria existência. Diversos atores se manifestaram em busca da melhoria ambiental, visando diminuir, mitigar ou interromper os danos ao meio ambiente. Com base nesta preocupação, manifestações surgiram ao longo do tempo e, pela primeira vez, em 1949, a Conferência Científica das Nações Unidas sobre Conservação e Utilização dos Recursos Naturais reuniu cientistas do mundo todo com o objetivo de analisar a gestão dos recursos naturais no pós II Guerra Mundial. Porém, não foram abordados temas fundamentais

como a contaminação industrial, o desenvolvimento nuclear e a migração do ambiente rural para o espaço urbano (BERNARDES & FERREIRA, 2003; CAPRILES, 2008).

Na década de 1960, a poluição ambiental cresceu rapidamente, tendo início uma maior discussão acerca das questões ambientais. A publicação do livro *Silent Spring* da bióloga Rachel Carson, em 1962, despertou na população o desejo e a necessidade de viver em um ambiente saudável, com respeito pela natureza. Nesse livro, Rachel Carson alertava para os perigos da disseminação de pesticidas persistentes no ambiente, que ao entrarem nas cadeias alimentares, provocam efeitos cada vez mais graves provocados pela bioacumulação. Pode-se dizer, então, que a partir dessa época a preocupação com a proteção do ambiente tornou-se um fenômeno de massas e uma questão de opinião pública (NOVOTNY & OLEM, 2008).

O Clube de Roma, grupo de discussão fundado em 1968, para discutir assuntos relacionados à economia, política e meio ambiente, publicou em 1971 “Os Limites do Crescimento”, onde através de modelos matemáticos demonstraram que o Planeta Terra não suportaria mais o crescimento populacional devido à pressão sobre os recursos naturais e energéticos e o aumento da poluição, mesmo considerando o avanço das tecnologias.

Em 1972, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em Estocolmo, Suécia. Essa conferência contou com representantes de 113 países, 250 organizações não governamentais e vários organismos da ONU. Os países desenvolvidos, nessa conferência, defendiam um programa internacional voltado para a conservação dos recursos naturais e genéticos do planeta, pregando que medidas preventivas teriam que ser implementadas imediatamente, o que evitaria um grande desastre no futuro. Os países em desenvolvimento argumentavam que se encontravam assolados pela miséria, graves problemas de moradia, saneamento básico, enfermidades infecciosas e que necessitavam desenvolver-se economicamente (TINOCO & KRAEMER, 2004 apud SEIFFERT, 2008).

A Conferência de Estocolmo foi considerada um marco histórico-político-internacional, decisivo para o surgimento de políticas de gerenciamento ambiental, gerou a Declaração sobre o Ambiente Humano e produziu um Plano de Ação Mundial, com o objetivo de orientar o uso racional dos recursos naturais e a melhoria no ambiente humano. Outro importante resultado do evento foi a criação do Programa das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (PNUMA), encarregado de monitorar o avanço dos problemas no mundo (DIAS, 2006).

As consequências da Conferência chegariam ao Brasil acompanhadas das pressões do Banco Mundial e de instituições ambientalistas, que já atuavam no país. Em 1973, a Presidência da República criaria, no âmbito do Ministério do Interior, a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), primeiro organismo brasileiro de ação nacional, orientado para a gestão integrada do ambiente (DIAS, 2000).

Um dos fatos importantes de Estocolmo foi a série de eventos que ocorreram em paralelo às reuniões oficiais e que ofereceram às ONGs um espaço extraordinário na mídia mundial. Pela primeira vez vivenciou-se a afirmação e reconhecimento da sociedade civil no que diz respeito às questões globais do meio ambiente (SANTILLI, 2005)

A década de 80 foi marcada como sendo aquela em que surgiram em grande parte dos países, leis regulamentando a atividade industrial no tocante à poluição. Também nessa década teve impulso a formalização e obrigatoriedade da realização de Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto sobre o Meio Ambiente (EIA-RIMA), com audiências públicas e aprovações dos licenciamentos ambientais em diversos níveis de organizações do governo (DIAS, 2006).

O conceito de desenvolvimento sustentável foi fundamentado e amplamente divulgado através do relatório “Nosso Futuro Comum”, elaborado pela Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas, em 1987. Mais conhecido como o relatório Bruntland, define desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras”.

Os impactos transfronteiriços passam a ser contemplados a partir dessa década mediante acordos internacionais específicos. Em setembro de 1987, foi assinado por 24 países e pela Comunidade Européia o Protocolo de Montreal sobre substâncias que reduzem a camada de ozônio, do qual o Brasil foi signatário. O tratado estabeleceu restrições amplas à produção e ao uso dos CFCs, como também dos halons, outro grupo de produtos químicos destruidores do ozônio. Cabe ressaltar que o problema da destruição da camada de ozônio foi identificado já na década de 1970. Em alguns países ricos, os CFC foram abolidos antes do prazo fixado, ou seja, 2001 (SEIFFERT, 2008).

A década de 1990 colocou em evidência os problemas relacionados ao clima e como isso poderia comprometer a sobrevivência dos ecossistemas. Em outubro de 1990, em Genebra,

ocorre a Conferência Mundial sobre o Clima, promovida pela Organização Mundial de Meteorologia, em que se discutiu a questão dos desequilíbrios climáticos globais.

Em 1992 foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), oficialmente denominada “Cúpula da Terra”, Eco 92 ou Rio 92. Reuniu 103 chefes de Estado, de um total de 182 países, aprovando cinco acordos oficiais internacionais:

- Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento;
- Agenda 21 e os meios para sua implementação;
- Convenção Quadro sobre Mudanças Climáticas;
- Convenção sobre Diversidade Biológica;
- Declaração de Florestas.

Um importante resultado dessa Conferência foi a Agenda 21, valioso instrumento de gestão ambiental que permite uma atuação em nível macro, através do estabelecimento de diretrizes gerais, para processos em nível federal, estadual e municipal.

Em junho de 1997, líderes dos oito países mais ricos do planeta (G8), responsáveis por metade da emissão de gases causadores do efeito estufa, reuniram-se em Denver (Colorado) para formular um acordo. Representantes da União Européia e ambientalistas declaram-se decepcionados com a decisão dos Estados Unidos de não oferecer objetivos numéricos para a redução de emissões (DIAS, 2003 apud SEIFFERT, 2008).

O Protocolo de Kyoto foi assinado na 6ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP6), realizada no Japão, em 1997, após discussões que se estendiam desde 1990. A conferência reuniu representantes de 166 países para discutir providências em relação ao aquecimento global. O Protocolo funciona como uma espécie de adendo à Convenção do Clima e estabeleceu como meta para 38 países industrializados reduzir as emissões de gases que contribuem para o efeito em 5,2%, no período de 2008 até 2012, em relação aos níveis existentes em 1990 (SEIFFERT, 2008).

Em 04 de setembro de 2002 aconteceu em Johannesburgo a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável (CMDS), conhecida como Rio + 10, que tinha como objetivo avaliar a situação do meio ambiente global em função das medidas adotadas na CNUMAD. Desse evento resultaram dois documentos: a Declaração Política e o Plano de Implementação.

Em 2005, o presidente da Rússia Vladimir Putin, finalmente, ratificou o Protocolo de Kyoto, após sete anos de espera para sua efetiva implantação desde sua assinatura em 1997 por 180 países. Os signatários do Protocolo de Kyoto estarão sujeitos a punições se não cumprirem suas metas de corte de emissão de poluentes. Para entrar em vigor, o Protocolo requeria a ratificação de um número total de países que representassem 55% do total de emissões no mundo.

Recentemente, no período de 29 de janeiro a 3 de fevereiro de 2007 se desenrolou o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel of Climatic Changes – IPCC*), em Paris, com a participação de 500 especialistas. Após divulgação do relatório do Grupo de Trabalho do IPCC, 46 países pediram a criação de uma agência ambiental nas Nações Unidas mais atuante e com poderes mais abrangentes que o PNUMA, algo similar à Organização Mundial de Saúde (OMS). O IPCC foi criado em 1988 pela ONU e pela Organização Meteorológica Mundial, com o objetivo de estabelecer um elo entre a pesquisa e os governantes. A proposta foi feita no encerramento da conferência “Cidadãos da Terra”, da qual discordaram os Estados Unidos, assim como China e Índia. As informações contidas no relatório divulgado pelo IPCC confirmam várias previsões alarmantes sobre as consequências do aquecimento global sobre os ecossistemas e a qualidade de vida do homem (SEIFFERT, 2008).

2.2.2 Conceitos e modelos de gestão ambiental empresarial

A preocupação com o esgotamento dos recursos naturais surgiu, com a percepção, após a Revolução Industrial, de que a capacidade do ser humano de alterar o meio ambiente aumentou significativamente, levando a consequências positivas e negativas e evidenciando uma interdependência entre a economia e o meio ambiente. A constatação da existência de limites ambientais ao crescimento econômico vem levando a uma preocupação crescente com a elaboração de políticas que permitam a conciliação da atividade econômica com a proteção ambiental, ainda que em um primeiro momento pareça inviável conciliar essa dualidade (SEIFFERT, 2008).

Desde que o processo de formação de consciência ambiental começou a ganhar destaque, na segunda metade do século XX, com encontros mundiais sobre o futuro da humanidade, as empresas começaram a sentir as pressões da sociedade. Com a globalização do mercado, essas pressões aumentaram e passaram a vir dos investidores, que queriam diminuir os riscos de seus investimentos. As questões ambientais passaram a conduzir a competitividade dos países e de suas empresas.

Donaire (1995) ressalta que, em curto espaço de tempo, a noção de mercados e recursos ilimitados da década de 60 revelou-se equivocada, porque ficou evidente que o contexto de atuação das empresas tornava-se cada dia mais complexo e que o processo decisório sofreria restrições cada vez mais severas. Um dos motivos dessa mudança no modo de pensar foi o crescimento da consciência ecológica, na sociedade, no governo e nas próprias empresas, que passaram a incorporar essa orientação em suas estratégias.

Na década de 1970, surgem os primeiros modelos mais estruturados de gestão ambiental em corporações transnacionais, diante da crescente demanda por melhores desempenhos ambientais. Estes constituíam-se de manuais de procedimentos aplicados às unidades ao redor do mundo, verificados quanto ao cumprimento por auditorias ambientais corporativas. No entanto, o foco vislumbrado desses modelos, até meados da década de 1980, concentrava-se nos aspectos tecnológicos e legais, basicamente vinculado ao controle ambiental de fim-de-linha. Um dos primeiros modelos de gestão ambiental a ultrapassar esse conceito foi o adotado pelo setor químico, estabelecido a partir de 1986 em vários países (EPELBAUM, 2006).

A Carta Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, elaborada pela *International Chamber of Commerce* (ICC) e lançada no dia 10 de abril de 1991, representa grande avanço no gerenciamento ambiental na indústria desde os primórdios da industrialização. Considera a preservação do meio ambiente uma das prioridades de qualquer organização, considera que as empresas precisam ter consciência de que deve existir um objetivo comum, e não um conflito, entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental, tanto para o momento presente como para as gerações futuras. Esse documento registra 16 princípios de gestão que implicam compromissos a serem assumidos pelas empresas, no estabelecimento de um sistema de gestão ambiental. Estes princípios são os seguintes (ICC, 1991):

- Reconhecer a gestão ambiental entre as mais altas prioridades das corporações e como um determinante-chave do desenvolvimento sustentável, do estabelecimento de políticas, programas e práticas para conduzir operações de uma maneira ecologicamente saudável;
- integrar plenamente estas políticas, programas e práticas em cada negócio como um elemento essencial da administração em todos os níveis funcionais;
- continuar melhorando as políticas, programas e o desempenho ambiental, tendo em vista os futuros desenvolvimentos tecnológicos, um maior entendimento científico, as necessidades dos consumidores e aspirações legais como ponto de partida, aplicando-se os mesmos critérios internacionalmente;
- educar, treinar e motivar os empregados a conduzir suas atividades de uma maneira ecologicamente responsável;
- avaliar os impactos ambientais antes de iniciar uma nova atividade ou projeto e antes de desativar uma instalação ou deixar um local;
- desenvolver e fornecer produtos e serviços que não provoquem impactos ambientais indevidos, que sejam seguros no seu uso intencional, que sejam eficientes no consumo de energia e recursos naturais, e que possam ser reciclados, reutilizados ou seguramente depositados;
- aconselhar, e quando necessário for, educar clientes, distribuidores e o público em geral sobre o uso, transporte, estocagem e disposição final segura dos produtos fornecidos, aplicando considerações similares ao fornecimento de serviços;
- desenvolver, conceber e operar instalações, bem como conduzir atividades tendo em vista o uso sustentável dos recursos renováveis e a disposição final responsável e segura dos resíduos;
- conduzir ou financiar pesquisas sobre o impacto ambiental da matéria-prima, produtos, processos, emissões e outros resíduos associados ao empreendimento, assim como sobre os meios de minimizar seus impactos negativos;
- modificar a manufatura, a comercialização e/ou o uso de produtos e conduzir atividades, no sentido de prevenir degradações sérias e irreversíveis do meio ambiente, de acordo com o entendimento técnico-científico;
- promover a adoção destes princípios pelos prestadores de serviços e fornecedores da empresa. Quando necessário, requerer melhorias nos seus procedimentos, a fim de torná-los consistentes com os princípios da empresa, encorajando sua plena adoção;

- desenvolver e manter, onde existir perigo significativo, planos emergenciais em parceria com os serviços de socorro, autoridades competentes e comunidade local, reconhecendo o potencial dos impactos além dos limites da própria instalação;
- contribuir na transferência de tecnologias ecologicamente saudáveis e de métodos gerenciais entre os setores públicos e privados;
- contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas, programas intergovernamentais e comerciais e iniciativas educacionais que garantam a proteção e a consciência ecológica;
- fomentar a transparência e o diálogo com os empregados e o público, antecipando e respondendo suas preocupações quanto aos impactos e ameaças potenciais de operações, produtos, detritos e serviços, incluindo aqueles de significação global e regional;
- medir o desempenho ambiental; conduzir auditorias ambientais e avaliações de acordo com as exigências e princípios legais e da própria empresa. Fornecer periodicamente, para a direção, acionistas, empregados, autoridades e o público em geral, informações apropriadas sobre o desempenho ambiental.

No Brasil, a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM) implementou o modelo chamado de Atuação Responsável. Em 1992, quando foi implantado, era um programa de adesão voluntária, mas a partir de 1998, tornou-se obrigatório para todas as empresas associadas à ABIQUIM, como ocorre em outros países que o adotaram. A seguir, as principais diretrizes da Atuação Responsável (ABIQUIM, 2008):

- Respeitar as pessoas, trabalhando e convivendo em um ambiente de diálogo, participação, honestidade, justiça e integridade;
- desenvolver adequadamente suas atividades, gerando valor para todas as partes interessadas;
- gerenciar os riscos inerentes às suas atividades e produtos, adotando as melhores práticas, disponíveis, com o objetivo de eliminar acidentes e controlar os aspectos que possam impactar negativamente a sociedade e o meio ambiente;
- solucionar os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana decorrentes da produção e do uso do produto, do lançamento de emissões e efluentes e do descarte de resíduos;
- fornecer produtos e serviços seguros, social e ambientalmente corretos;
- buscar sistematicamente o aprendizado como base para o aprimoramento das pessoas e da inovação dos processos, produtos e serviços;

- melhorar continuamente o desempenho de toda a cadeia de valor por meio da cooperação entre as empresas do setor químico e do estabelecimento de parcerias;
- dialogar com todas as partes interessadas de forma permanente e transparente;
- cumprir a legislação brasileira e os compromissos assumidos voluntariamente pelo setor químico;
- trabalhar com as comunidades com as quais mantenham relações de interesse recíproco, atuando como cidadãos em prol do bem comum;
- utilizar mecanismos de verificação externa como meio de comprovação de seus compromissos e da transparência de seus propósitos;
- disseminar e divulgar a Atuação Responsável para a indústria química, sua cadeia de valor e sociedade.

As questões ambientais passaram a ter impactos importantes sobre a competitividade dos países e de suas empresas. Atualmente essa questão tem sido tão decisiva para os investimentos que já foram criados diversos indicadores para informar os investidores sobre a situação da empresa em relação ao meio ambiente, como o Dow Jones Sustainability Indexes, criado pela Dow Jones e SAM Group em 1999. Dados da Dow Jones mostram que as empresas incluídas nesse indicador apresentam rentabilidade superior às não incluídas. No Brasil, a Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA) lançou em 2005 o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), com base em metodologia desenvolvida pela Fundação Getúlio Vargas, que procura refletir o retorno de uma carteira composta por ações de empresas com os melhores desempenhos em termos econômicos, sociais e ambientais, bem como em governança corporativa (BARBIERI, 2007).

A adoção de qualquer modelo de gestão requer o uso de instrumentos, entendidos como meios ou ferramentas para alcançar objetivos específicos em matéria ambiental. Auditoria ambiental, avaliação do ciclo de vida, estudos de impactos ambientais, sistemas de gestão ambiental, relatórios ambientais, rotulagem ambiental, gerenciamento de riscos ambientais, educação ambiental empresarial são alguns entre muitos instrumentos que as empresas podem utilizar para alcançar objetivos ambientais.

Para Elkington e Burque (1989) apud Donaire (1995) os dez passos necessários para a excelência ambiental são os seguintes:

- Desenvolva e publique uma política ambiental;
- Estabeleça metas e continue a avaliar os ganhos;
- Defina claramente as responsabilidades ambientais de cada uma das áreas e do pessoal administrativo;
- Divulgue interna e externamente a política, os objetivos e metas e as responsabilidades;
- Obtenha recursos adequados;
- Eduque e treine seu pessoal e informe os consumidores e a comunidade;
- Acompanhe a situação ambiental da empresa e faça auditorias e relatórios;
- Acompanhe a evolução da discussão sobre a questão ambiental;
- Contribua para os programas ambientais da comunidade e invista em pesquisa e desenvolvimento aplicada à área ambiental;
- Ajude a conciliar os diferentes interesses existentes entre todos os envolvidos: empresa, consumidores, comunidade, acionistas etc.

Assim, a gestão ambiental pode ser entendida como o conjunto de procedimentos que visam à conciliação entre desenvolvimento e qualidade ambiental. Essa conciliação acontece a partir da observância da capacidade de suporte do meio ambiente e das necessidades identificadas pela sociedade civil ou pelo governo (situação mais comum) ou ainda por ambos (situação mais desejável). A gestão ambiental encontra na legislação, na política ambiental e em seus instrumentos e na participação da sociedade suas ferramentas de ação (SOUZA, 2000).

Para Ribeiro (2000) a gestão ambiental é essencialmente a gestão de interesses distintos e a mediação entre tais interesses. Cada ator social e institucional que atua na arena do meio ambiente tem papéis, atribuições, competências e responsabilidades; tem interesses convergentes em certas circunstâncias e que se opõem e conflitam em outros momentos. Cada um mantém com os demais, relações qualitativamente diversas: do apoio e aliança mútua até o confronto e a oposição explícita ou velada. Podem compartilhar informações, estabelecer cooperação ou deflagrar denúncias e cobranças, quando não confiam ou discordam dos comportamentos dos demais atores.

Dentre esses atores, destacam-se: (i) o Legislativo; (ii) o Executivo; (iii) o Judiciário; (iv) os órgãos ambientais; (v) as comunidades afetadas; (vi) os empreendedores ou proponentes de novas atividades; (vii) os empregados e trabalhadores; (viii) as empresas de consultoria

ambiental; (ix) as organizações não-governamentais (ONGs) movimentos ambientalistas da sociedade civil; (x) a imprensa e a mídia que vocaliza a opinião pública; e (xi) o Ministério Público, por meio de promotores.

A gestão ambiental algumas vezes é entendida como planejamento, outras como gerenciamento, e outras como a soma de ambos. A proposta é que gestão ambiental seja interpretada como a integração entre o planejamento, o gerenciamento e a política ambiental. De acordo com Moreira (2006), as preocupações ambientais não surgiram todas de uma só vez, mudaram de foco à medida que evoluía o conhecimento científico e a tecnologia, bem como as atividades produtivas que se desenvolviam ao longo do tempo, gerando problemas de diferentes características.

Assim, verifica-se que as respostas das empresas ao novo desafio ocorrem em três fases, muitas vezes superpostas, dependendo do grau de conscientização da questão ambiental dentro da empresa: controle da poluição, prevenção da poluição e incorporação dessas questões na estratégia empresarial. O Quadro 2.1 apresenta um resumo dessas três formas de abordar os problemas ambientais, embora os limites entre elas nem sempre sejam nítidos (BARBIERI, 2007).

Quadro 2.1 – Fases da conscientização ambiental nas empresas – abordagens

Características	Abordagens		
	Controle da poluição	Prevenção da poluição	Estratégica
Preocupação básica	cumprimento da legislação e respostas às pressões da comunidade	uso eficiente de insumos	competitividade
Postura típica	Reativa	reativa e proativa	reativa e proativa
Ações típicas	corretivas; uso de tecnologias de remediação e de controle no final do processo; aplicação de normas de segurança	Corretivas e preventivas; Conservação e substituição de insumos; Uso de tecnologias limpas.	Corretivas, preventivas e antecipatórias; Antecipação de problemas e captura de oportunidades utilizando soluções de médio e longo prazos; Uso de tecnologias limpas.
Percepção dos empresários e administradores	Custo adicional	Redução de custo e aumento da produtividade	Vantagens competitivas
Envolvimento da alta administração	Esporádico	Periódico	Permanente e sistemático
Áreas envolvidas	Ações ambientais confinadas nas áreas geradoras de poluição	Crescente envolvimento de outras áreas como produção, compras, desenvolvimento de produto e marketing	Atividades ambientais disseminadas pela organização; Ampliação das ações ambientais para toda a cadeia produtiva.

Fonte: BARBIERI, 2007

Assim, a gestão ambiental começa a ganhar importância estratégica na administração empresarial, de forma a proporcionar uma atuação ambiental responsável e garantir concorrência no mercado internacional.

Para Almeida (2009), gestão ambiental é o processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que interagem em um dado espaço com vistas a garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos ambientais – naturais, econômicos e socioculturais – às especificações do meio ambiente, com base em princípios e diretrizes previamente acordados e definidos.

2.2.3 Sistemas de gestão ambiental

Um sistema de gestão ambiental (SGA) ou Environmental Management System (EMS) é definido como um conjunto de procedimentos que irão ajudar a organização a entender, controlar e diminuir os impactos ambientais negativos de suas atividades, produtos e/ou serviços. Tem como suporte o cumprimento da legislação ambiental vigente e a melhoria contínua com análise crítica (AQUINO et al., 2008).

De acordo com Barbieri (2007) um sistema de gestão ambiental é um conjunto de atividades administrativas e operacionais inter-relacionadas para abordar os problemas ambientais atuais ou para evitar o seu surgimento. A realização de ações ambientais pontuais, episódicas ou isoladas não configura um sistema de gestão ambiental propriamente dito, mesmo quando elas exigem recursos vultosos, por exemplo, a instalação e manutenção de equipamentos para controlar emissões hídricas e atmosféricas.

Um SGA requer a formulação de diretrizes, definição de objetivos, coordenação de atividades e avaliação de resultados. Também é necessário o envolvimento de diferentes segmentos da empresa para tratar das questões ambientais de modo integrado com as demais atividades empresariais. Um dos benefícios da criação de um SGA é a possibilidade de obter melhores resultados com menos recursos, em decorrência de ações planejadas e coordenadas. O Quadro 2.2 apresenta os benefícios da gestão ambiental para as organizações.

Quadro 2.2 – Benefícios da gestão ambiental para as diversas organizações

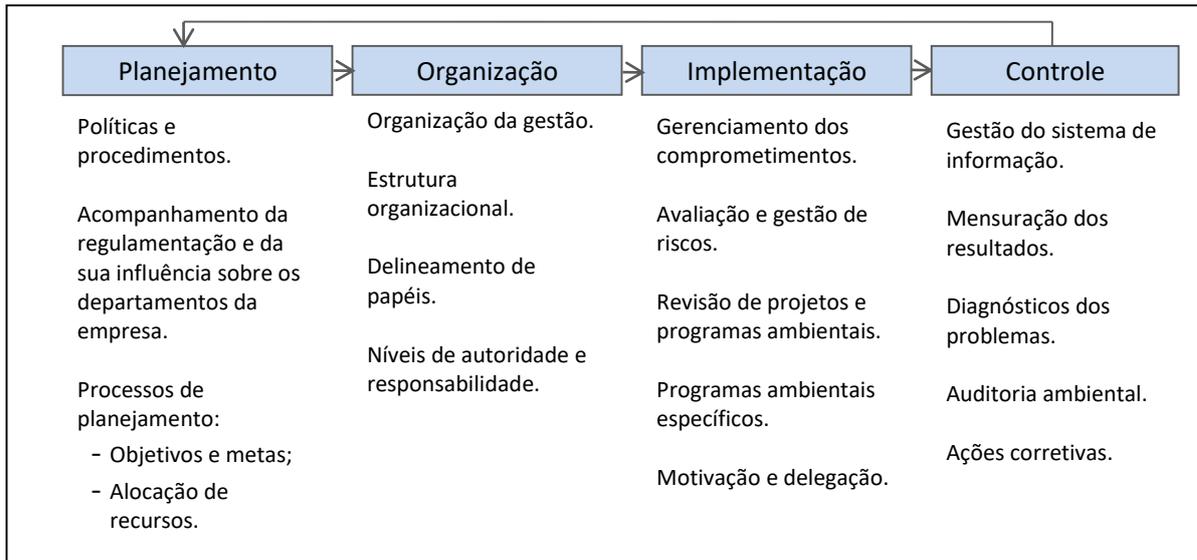
Benefícios econômicos
<p>Economia de custos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Economias devido à redução do consumo de água, energia e outros insumos. - Economia devido à reciclagem, venda e aproveitamento de resíduos e diminuição de agluentes. - Redução de multas e penalidades por poluição.
<p>Incremento de receita</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento da contribuição marginal de “poluentes verdes” que podem ser vendidos a preços mais altos. - Maior participação do mercado devido à inovação dos produtos e menos concorrência. - Linhas de novos produtos para novos mercados. - Aumentos da demanda para produtos que contribuam para a diminuição da poluição.
Benefícios estratégicos
<ul style="list-style-type: none"> - Melhoria da imagem institucional. - Renovação do “portfólio” de produtos. - Aumento da produtividade. - Alto comprometimento do pessoal. - Melhoria nas relações de trabalho. - Melhoria e criatividade para novos desafios. - Melhores relações com órgão governamentais, comunidade e grupos ambientalistas. - Melhor adequação aos padrões ambientais. - Acesso assegurado ao mercado externo.

Fonte: Adaptado de North, K. Environmental Business Management, 1992 apud DONAIRE, 1995.

O conceito de sistema de gestão ambiental foi formalizado pela British Standards Institution (BSI), instituição britânica de normalização, através da norma BS 7750, tendo sua primeira publicação em 1992. Esta norma especifica os requisitos para o desenvolvimento, implantação e manutenção de sistemas de gestão ambiental que visem garantir o cumprimento de políticas e objetivos ambientais definidos e declarados. A norma não estabelece critérios de desempenho ambiental específicos, mas exige que as organizações formulem políticas e estabeleçam objetivos, levando em consideração a disponibilização das informações sobre efeitos ambientais significativos.

Outro modelo de SGA e de auditoria ambiental de adesão voluntária foi o proposto pela Câmara de Comércio Internacional, em resposta às preocupações com o efeito das questões ambientais sobre a competitividade das empresas no mercado internacional. São objetivos desse SGA: (i) assegurar a conformidade com as leis locais, regionais, nacionais e internacionais; (ii) estabelecer políticas internas e procedimentos para que a organização alcance os objetivos ambientais propostos; (iii) identificar e administrar os riscos empresariais resultantes dos riscos ambientais e; (iv) identificar o nível de recursos e de pessoal apropriado aos riscos e aos objetivos ambientais, garantindo sua disponibilidade quando e onde forem necessários. A Figura 2.1 mostra os elementos de um SGA genérico proposto pela Câmara de Comércio Internacional.

Figura 2.1 – Elementos de um sistema de gestão ambiental.



Fonte: ICC (1991)

O Conselho da Comunidade Econômica Européia estabeleceu uma proposta de SGA, através do regulamento CEE 1836, de 1993, que instituiu o Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria, conhecido pela sigla EMAS (*Eco Management and Audit Scheme*), inicialmente aberto à participação apenas para empresas industriais. Este regulamento foi revogado pelo Regulamento da Comunidade Européia (CE) nº 761/2001, tornando o EMAS acessível a qualquer organização, de qualquer setor da economia, pública ou privada, interessada em melhorar o seu comportamento ambiental global. Atualmente está em vigor o Regulamento (CE) nº 1221, de 25 de novembro de 2009.

O objetivo do EMAS, enquanto instrumento importante do Plano de Ação para um Consumo e Produção Sustentáveis e uma Política Industrial Sustentável, é promover a melhoria contínua do desempenho ambiental das organizações mediante o estabelecimento e a implementação pelas mesmas de sistemas de gestão ambiental, da avaliação sistemática, objetiva e periódica do desempenho de tais sistemas, da comunicação de informações sobre o desempenho ambiental e um diálogo aberto com o público e com outras partes interessadas, bem como a participação ativa do pessoal das organizações e a sua formação adequada.

Com a promulgação do novo Regulamento (CE) nº 1221/2009, o EMAS continua voluntário. Entretanto visa tornar o sistema mais atrativo, deixando mais claro os seus benefícios para o meio ambiente e para as organizações. Pretende aumentar a participação das empresas e reduzir

os encargos administrativos e custos. As medidas tomadas para melhorar o EMAS prevêem, desde logo, uma maior promoção e apoio por parte dos Estados-Membros e das instituições da União Europeia, o que pode incluir: o acesso ao financiamento ou a incentivos fiscais no âmbito de regimes de apoio ao desempenho ambiental da indústria; a previsão de medidas de assistência técnica; a razoabilidade das despesas de registo, etc.

O novo Regulamento assegura ainda: (i) o acesso ao EMAS por todas as organizações, dentro e fora da Comunidade, cujas atividades tenham impacto ambiental; (ii) a harmonização dos sistemas de registo em toda a União Europeia; (iii) a possibilidade de as organizações situadas em vários Estados-Membros ou países terceiros poderem registar todos ou alguns dos seus locais de atividade num único registo; (iv) a simplificação das regras para a utilização do logótipo EMAS, através da utilização de um logotipo único. Os Estados-Membros devem agora alterar os procedimentos aplicados pelos sistemas de acreditação e organismos competentes.

Antecipando os problemas decorrentes de várias normas para implantação de SGA, que poderiam funcionar como obstáculos ao comércio internacional, a *International Organization for Standardization* (ISO) criou em 1991 um grupo de assessoria denominado *Strategic Advisory Group on the Environment* (SAGE), para estudar os impactos dessas normas sobre o comércio internacional. Ao final de 1992, o SAGE recomendou a criação de um comitê específico para a elaboração de normas sobre gestão ambiental (BARBIERI, 2007).

Em 1996 foi lançada a série de normas ISO 14.000. De acordo com Freitas (2002) trata-se de um conjunto de normas técnicas, procedimentos e medidas que devem ser adotados para reduzir ao máximo os danos ao meio ambiente. Segundo este conjunto de Normas, estabelece-se que, do início ao fim da produção industrial, deve-se buscar a redução dos riscos ambientais, o aproveitamento do lixo reciclável, a gestão da qualidade da água, o controle da qualidade do ar, o atendimento da legislação ambiental, o uso correto dos materiais. Tais procedimentos devem envolver todos os funcionários, da diretoria aos empregados.

Algumas empresas utilizam, de forma voluntária, as normas da série ISO 14000 para demonstrar que possuem um sistema eficiente de gestão ambiental. Essas normas consistem de padrões de gerenciamento ambiental de caráter voluntário e focam os seguintes aspectos da gestão ambiental: sistemas de gerenciamento ambiental, auditoria ambiental, rotulagem e declarações ambientais, avaliação de desempenho ambiental, termos e definições.

As Normas de número 14001 e 14004 referem-se ao SGA, processo que integra diferentes áreas empresariais e acompanha os fluxos operacionais, confere uniformidade a rotinas e procedimentos, facilita a gestão e subsidia a tomada de decisões.

Para Reis e Queiroz (2002) a norma de gestão ambiental, é, portanto, um instrumento de gerenciamento que proporciona as empresas que a utiliza os elementos de um sistema de gestão ambiental eficaz, passível de integração com outros elementos de gestão (por exemplo, com a norma ISO 9000), de forma a auxiliá-la a alcançar suas metas ambientais e econômicas. Desta forma, um sistema de gestão ambiental estabelece a adoção de ações preventivas, privilegiando a não ocorrência de impactos ambientais adversos ou, quando tal não for possível, a minimização desses impactos. O meio ambiente aqui considerado é aquele no qual a entidade atua, desde o seu próprio local físico interno até ao local onde os produtos serão consumidos.

A ISO série 14000 pode ser visualizada em dois grandes blocos, um direcionado para a organização e outro para o produto. O Quadro 2.3 apresenta as normas dessa série direcionadas às organizações.

Quadro 2.3 – Normas da série ISO 14000 direcionadas às organizações:

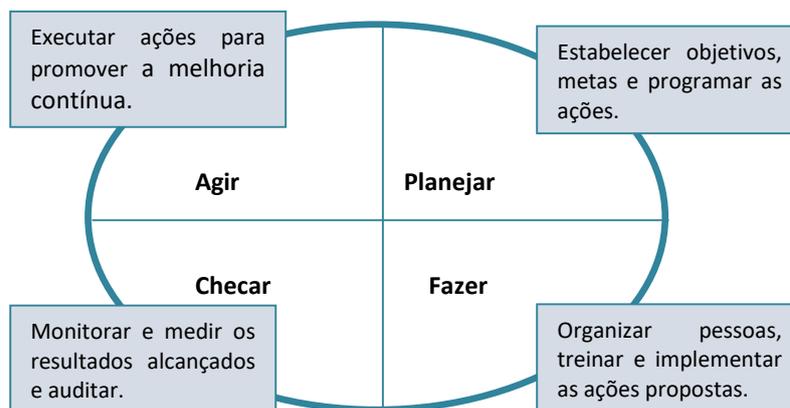
Número: ano da última publicação	Título da norma
ISO 14001:2004	Sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso.
ISO 14004:2004	Sistema de gestão ambiental – diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio.
ISO 14061:1998	Informações para auxiliar as organizações florestais no uso das normas ISO 14001 e ISO 14004.
ISO 14063:2006	Gestão ambiental – comunicação ambiental – diretrizes e exemplos.
ISO 14064-1:2006	Gases de efeito estufa – parte 1: especificações com guia para quantificar e relatar as emissões e remoções de gases de efeito estufa no nível da organização.
ISO 14064-2:2006	Gases de efeito estufa – parte 2: especificações com guia para quantificar e relatar as emissões e remoções de gases de efeito estufa no nível do projeto.
ISO 14064-3:2006	Gases de efeito estufa – parte 3: especificações com guia para validação e verificação de afirmações sobre gases de efeito estufa.
ISO 14010:1996	Diretrizes para auditoria ambiental – princípios gerais.
ISO 14011:1996	Diretrizes para auditoria ambiental – procedimentos de auditoria – auditoria de sistemas.
ISO 14012:1996	Diretrizes para auditoria ambiental – critérios de qualificação para auditores ambientais.
ISO 19011:2002	Diretrizes para auditoria de sistemas de gestão da qualidade e/ou ambiental (substitui as normas ISO 14010, 14011 e 14012).
ISO 14015:2001	Gestão ambiental – avaliação ambiental de locais e organizações (AALO).
ISO 14031:1999	Gestão ambiental – avaliação do desempenho ambiental – diretrizes.
ISO 14032:1999	Gestão ambiental – exemplos de avaliação do desempenho ambiental.

Fonte: Elaborado pelo autor

A Norma ISO 14001 é uma ferramenta criada para auxiliar as organizações na implantação, desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de um SGA sujeito à certificação. Para a certificação, é necessário o cumprimento de três exigências básicas: ter implantado um SGA, cumprir a legislação ambiental aplicável ao local da instalação e assumir um compromisso com a melhoria contínua de seu desempenho ambiental, que é o aperfeiçoamento do SGA após sua implementação.

A referida é baseada na metodologia conhecida como PDCA – *Plan-Do-Check-Act* (Planejar-Fazer-Checar-Agir), tendo como ponto de partida o comprometimento da alta administração e a formulação de uma política ambiental. Conforme a NBR ISO 14001, o SGA é parte de um sistema de gestão de uma organização utilizada para desenvolver e implementar sua política ambiental e para gerenciar seus aspectos ambientais. É um conjunto de elementos inter-relacionados utilizados para estabelecer a política ambiental e para atingir esses objetivos. Um SGA inclui a estrutura organizacional, atividades planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos. A Figura 2.2 apresenta uma representação esquemática das etapas do Ciclo PDCA.

Figura 2.2 – Representação esquemática das etapas do Ciclo PDCA



Fonte: Adaptados de Aquino et al., 2008

De acordo a NBR ISO 14001 a empresa tem liberdade e flexibilidade para implementar o SGA para toda a organização ou para unidades operacionais ou atividades específicas. Embora seja essa uma norma aplicável a qualquer tipo de organização, o nível de detalhamento e complexidade do SGA, a amplitude da documentação e a quantidade de recursos alocados dependem do porte e da natureza da atividade da organização. O Anexo A da norma ISO 14001

estabelece que a organização:

- Estabeleça uma política ambiental apropriada;
- Descubra os aspectos ambientais decorrentes de suas atividades, produtos e serviços passados, existentes ou planejados, para determinar os impactos ambientais significativos;
- Identifique os requisitos legais aplicáveis e outros subscritos;
- Estabeleça uma estrutura e programas para implementar a política e atingir objetivos e metas;
- Facilite as atividades de planejamento, controle, monitoramento, ação preventiva e corretiva, auditoria e análise, para assegurar que a política seja obedecida e que o SGA permaneça apropriado; e
- Seja capaz de adaptar-se às mudanças de circunstâncias.

O Quadro 2.4 apresenta os requisitos do SGA conforme estabelece a norma NBR ISO 14001:2004.

Quadro 2.4 – Requisitos do SGA conforme estabelece a norma NBR ISO 14001:2004

4.1	Requisitos gerais
4.2	Política ambiental
4.3	Planejamento
	4.3.1 Aspectos ambientais
	4.3.2 Requisitos legais e outros
	4.3.3 Objetivos, metas e programa(s)
4.4	Implementação e operação
	4.4.1 Recursos, funções, responsabilidades e autoridades
	4.4.2 Competência, treinamento e conscientização
	4.4.3 Comunicação
	4.4.4 Documentação
	4.4.5 Controle de documentos
	4.4.6 Controle operacional
	4.4.7 Preparação e resposta às emergências
4.5	Verificação
	4.5.1 Monitoramento e medição
	4.5.2 Avaliação do atendimento a requisitos legais e outros
	4.5.3 Não-conformidade, ação corretiva e ação preventiva
	4.5.4 Controle de registros
	4.5.5 Auditoria interna
4.6	Análise pela administração

Fonte: NBR ISO 14001 (2004)

A auditoria ambiental e a avaliação do desempenho ambiental são dois tipos de instrumentos de gestão ambiental que permitem à administração avaliar o *status* da atuação ambiental da organização e identificar as áreas ou funções que necessitem de melhorias. A auditoria ambiental tratada pelas normas ISO 14000 é uma avaliação periódica para verificar o funcionamento do SGA. A avaliação do desempenho ambiental é um processo permanente de

coleta e análise de dados e informações para verificar a situação atual das questões ambientais pertinentes à organização e prever as tendências futuras com base em indicadores previamente estabelecidos. São duas as normas relativas aos indicadores de desempenho ambiental. A ISO 14031 apresenta diretrizes para selecionar e utilizar indicadores ambientais para avaliar o desempenho ambiental de organizações, enquanto a ISO 14032 apresenta exemplos de aplicação desse instrumento (BARBIERI, 2007).

2.3 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS

2.3.1 Política e instrumentos de gestão ambiental

O Brasil possui um extenso arcabouço legal para a gestão ambiental de reservatórios, os mais importantes serão relatados a seguir. O Código Florestal foi um dos primeiros instrumentos legais de defesa do meio ambiente, a Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, criou a classificação de áreas de preservação permanente (APP), consideradas de extrema importância para a proteção de corpos d'água. Para reservatórios, a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 302/2002 dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de APP e o regime de uso do entorno.

Ainda de acordo com o Código Florestal, é considerada Reserva Legal uma área mínima de vegetação nativa que cumpra a função ecológica de habitat para a biodiversidade e/ou de fornecedora de serviços ambientais, como estoque de produtos florestais, proteção do solo e corpos d'água, controle de pragas e incêndios e captação de carbono da atmosfera, entre outros. O limite a ser respeitado para o nordeste brasileiro é de uma área mínima de 20% da área total da propriedade rural.

Em 1981, a gestão ambiental no Brasil teve um avanço significativo, através da promulgação da Lei nº 6.938, que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), pela qual foi criado o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). O SISNAMA é composto pelos seguintes órgãos:

- Órgão Superior: o Conselho de Governo;
- Órgão Consultivo e Deliberativo: o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA);
- Órgão Central: o Ministério do Meio Ambiente (MMA);

- Órgão Executor: o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA);
- Órgão Seccionais: os órgãos ou entidades da Administração Pública Federal Direta e Indireta, as fundações instituídas pelo Poder Público cujas atividades estejam associadas às de proteção ambiental ou àquelas de disciplinamento do uso de recursos ambientais; e
- Órgãos Locais: os órgãos ou entidades municipais responsáveis pelo controle e fiscalização das atividades referidas nas suas respectivas jurisdições.

Segundo Carvalho (2003), esta Lei foi uma iniciativa profundamente transformadora no que diz respeito ao papel do Estado, uma vez que pela primeira vez no Brasil foram introduzidos mecanismos de gestão colegiada e participativa, através da criação do CONAMA, cuja composição teve a participação da sociedade civil. Conforme Milaré (2007), a partir da vigência da PNMA e de suas posteriores regulamentações, são incontáveis os benefícios ambientais auferidos, incalculável tem sido sua influência na definição de políticas públicas e na estruturação dos Sistemas de Gestão Ambiental.

Os instrumentos de gestão ambiental, definidos na PNMA são ferramentas eficientes para alcançar um desempenho ambiental satisfatório, sendo estes:

- o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
- o zoneamento ambiental;
- a avaliação de impactos ambientais;
- o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;
- os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental;
- a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público Federal, Estadual e Municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas;
- o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SISNIMA);
- o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
- as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental;
- a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA

- a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes;
- o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais.

A exigência da realização de Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e o respectivo Relatório de Impacto do Meio Ambiente (RIMA) para concessão do licenciamento ambiental para empreendimentos potencialmente poluidores, incluindo reservatórios de acumulação, vem sendo feita desde 1986 a partir da promulgação da Resolução CONAMA 001/1986 e complementada, posteriormente, pela Resolução CONAMA 237/1997. O EIA estabelece as medidas mitigadoras e os programas de monitoramento ambiental a serem implementados ao longo da construção e operação dos reservatórios.

Em 1988, a Constituição Federal foi promulgada, contando com um capítulo exclusivo para a defesa do meio ambiente, estabelecendo em seu art. 225, competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.

Conforme Milaré (2007), a Constituição captou com indisputável oportunidade o que está na alma nacional – a consciência de que é preciso aprender a conviver harmoniosamente com a natureza – traduzindo em vários dispositivos aquilo que pode ser considerado um dos sistemas mais abrangentes e atuais do mundo sobre a tutela do meio ambiente.

Após 10 anos da Constituição, o Brasil foi incluído no seleto grupo de países que criminalizou o dano ambiental, com a promulgação da Lei Federal de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98). Esta fase da política ambiental só não atingiu a sua plenitude porque falta, ainda, dar ao SISNAMA, através do fortalecimento institucional de seus órgãos, a capacidade operacional indispensável para aplicação eficiente das leis, normas e padrões de qualidade ambiental que estão em vigor (CARVALHO, 2003).

A Constituição de 1988 lançou um desafio para regulamentar espaços territoriais especialmente protegidos. Assim, foi criada a Lei Federal nº. 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Entre os objetivos dessa lei estão: (i) contribuir para a manutenção da diversidade biológica; (ii) preservar e restaurar a

diversidade de ecossistemas naturais; (iii) proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos, entre outros. Esta lei define as diferentes categorias de unidades de conservação existentes no território nacional (proteção integral e unidades de uso sustentável).

A Lei Federal nº 9.985/2000 estabeleceu em seu art. 36, § 1, que nos casos de licenciamento de empreendimentos de significativo impacto negativo, assim considerado pelo órgão de controle ambiental competente, com fundamento no EIA/RIMA do projeto, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do grupo de proteção integral. O montante de recursos a ser destinado para esta finalidade será fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento.

Em 2005, foi promulgada a Resolução CONAMA nº 357, que estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos hídricos, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na Resolução e em outras normas aplicáveis (art. 24). O lançamento de efluentes deverá, simultaneamente, atender às condições e padrões de lançamento de efluentes e não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência (art. 32, §1º).

Também em 2005, foi publicada a Resolução CONAMA nº 359, que dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó, em todo território nacional. Estabeleceu metas progressivas para redução da concentração máxima de fósforo por produto e grupo de fabricante, representando um passo importante para o controle da eutrofização artificial. Além destes instrumentos, o Quadro 2.5 mostra os principais instrumentos legais na gestão ambiental de reservatórios.

Quadro 2.5 – Principais instrumentos legais para gestão ambiental de reservatórios

Instrumento legal	Assunto
Resolução CONAMA 01/86	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o EIA/RIMA.
Resolução CONAMA 237/97	Dispõe sobre o licenciamento ambiental.
Lei 9.795/99	Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.
Lei 9.966/2000	Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional.
Resolução ANA 193/2002	Dispõe sobre a regularização do uso dos recursos hídricos com finalidade de piscicultura em tanques-rede ou gaiolas em reservatórios públicos federais, em conjunto com as autoridades outorgantes dos Estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.
Resolução CONAMA 303/2002	Dispõe sobre limites e conceitos de Área de Preservação Permanente (APP).
Decreto 4.895/2003	Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura.
Resolução CONAMA 357/2005	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.
Resolução CONAMA 369/2006	Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APP.
Resolução CONAMA 378/2006	Define quais os empreendimentos considerados potencialmente causadores de impacto ambiental nacional ou regional envolvendo a exploração ou supressão de vegetação.
Lei 11.959/09	Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, formulada, coordenada e executada com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável da pesca e da aquicultura como fonte de alimentação, emprego, renda e lazer, garantindo-se o uso sustentável dos recursos pesqueiros.
Lei Complementar 140/2011	Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Fonte: Elaborado pelo autor

2.3.2 Política e instrumentos de gestão de recursos hídricos

Em 1934, o Brasil publica o Código das Águas, documento que estabelecia que as águas do país se destinassem principalmente à geração de energia elétrica. Assim o gerenciamento dos recursos hídricos era realizado pelo próprio setor elétrico.

De acordo com a Constituição Federal, em 1988, teve-se a indicação de que seria criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Sua efetivação, contudo, só veio após nove anos, com a sanção da Lei Federal nº 9433/1997 que institui o referido sistema. Não

obstante, logo após a Constituição do Brasil vieram as constituições estaduais, que, em sua maioria, também abordaram o tema recursos hídricos. Em seguida, alguns estados brasileiros começaram a criar as leis estaduais de recursos hídricos. É o caso de São Paulo, cuja lei estadual é de 1991, e do Rio Grande do Sul, de 1992. A Bahia publicou sua lei estadual em 1995, enquanto que Pernambuco publicou em 1997 a Lei Estadual n.º 11426 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos. Em 1995, o Governo Federal sinaliza a importância do gerenciamento de recursos hídricos a partir do momento em que cria a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), dentro da estrutura do MMA com a atribuição de gerenciar as águas (FELICIDADE et al., 2004).

Como um marco de significativa importância para a construção de um estilo de desenvolvimento sustentável no Brasil, foi sancionada, em 08 de janeiro de 1997, a Lei Federal n.º 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Essa lei tem um caráter inovador, institucionaliza a gestão participativa não só entre os níveis estadual e federal, também, em nível de base. É uma lei que apresenta muitos desafios para sua implementação, no sentido de introduzir mecanismos de democracia participativa num sistema administrativo pautado nos mecanismos da democracia representativa. Trata-se, entretanto, de desafios que se constituem numa oportunidade de caminhar na construção de um estilo de desenvolvimento sustentável para o Brasil.

A Política Nacional de Recursos Hídricos reúne eficientes princípios e instrumentos de gestão de águas, muitos já em uso em países desenvolvidos. São fundamentos estabelecidos no art. 1º:

- a água é um bem de domínio público;
- a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação dos animais;
- a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;
- a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e conta com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

O SNGRH foi criado com o objetivo de coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos. Para a execução dessas atividades, integram o SNGRH: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas, os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, os Comitês de Bacias Hidrográficas, os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos e as Agências de Água.

A Agência Nacional de Águas foi criada pela Lei n.º 9.984/2000 e regulamentada pelo Decreto n.º 3.692/2000. Consiste de uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de implementar, em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos, integrando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos: (i) os Planos de Recursos Hídricos; (ii) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; (iii) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; (iv) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; (v) a compensação a Municípios; e (vi) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Para Granziera (2006) os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos são divididos em dois grupos: o primeiro relativo ao planejamento e o segundo voltado ao controle administrativo do uso. Como instrumentos de planejamento estão os planos de bacia hidrográfica, a classificação, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes e o sistema de informações sobre recursos hídricos. Sua função precípua é organizar e definir a utilização da água, solucionando ou minimizando, a priori, os efeitos dos conflitos de interesse sobre esse bem. Como instrumentos de controle têm-se: o instrumento direto de controle do uso que consiste na outorga. Todavia, o licenciamento ambiental, instrumento estabelecido na Política Nacional do Meio Ambiente, exerce o controle sobre os despejos de efluente e águas servidas nos corpos hídricos. Indiretamente, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (instrumento econômico) tem por finalidade exercer também um controle de uso.

O enquadramento dos recursos hídricos é um instrumento de planejamento que foi implementado através da resolução CONAMA 357/2005, alterando a Resolução CONAMA 20/1986, que classifica os corpos de água e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A resolução define as águas doces, salobras e salinas de todo território nacional, de acordo com a concentração de sais dissolvidos presentes na água. Classifica essas águas em treze classes, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes.

As águas doces podem ser subdivididas em cinco classes, as salobras e as salinas em quatro classes. Entretanto, apesar desta legislação já estar em vigor desde 2005, a grande maioria dos corpos de água brasileiros ainda necessitam de estudos para enquadramento, os quais devem ser vinculados aos planos diretores das respectivas bacias hidrográficas.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) foi regulamentado pelo Ministério de Meio Ambiente para desempenhar importante papel no estabelecimento de diretrizes complementares para a implementação da política e dos instrumentos de gestão nela previstos. Uma das atribuições de grande importância desse Órgão é o de desempenhar a função de agente integrador e articulador das políticas públicas que apresentaram interfaces com a gestão de recursos hídricos, particularmente quanto à harmonização do gerenciamento de águas de diferentes domínios.

Destacam-se, entre suas outras competências: (i) a promoção da articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional, estadual e dos setores usuários; (ii) o acompanhamento da execução e aprovação do Plano Nacional de Recursos Hídricos; (iii) o estabelecimento de critérios gerais para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos e para a cobrança pelo seu uso; (iv) a tomada de decisão sobre as grandes questões da área de recursos hídricos; (v) o arbítrio, em última instância administrativa, dos conflitos existentes entre Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, e decisão sobre a criação de Comitês de Bacias Hidrográficas.

2.4 RESERVATÓRIOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.4.1 Reservatórios como instrumento de desenvolvimento econômico

Para Sperling (1999), reservatórios são ambientes lacustres provenientes do barramento artificial de cursos d'água. O objetivo de construção de um reservatório é o armazenamento de água, seja para obtenção de um volume adequado às diversas utilizações, seja para garantir uma altura de queda d'água suficiente para a geração de energia.

Conforme Tundisi & Tundisi (2008) reservatórios são ecossistemas aquáticos de extrema importância, são utilizados para diversos e variados usos que interferem com a qualidade da água, os mecanismos de funcionamento e a sucessão das comunidades aquáticas nos rios e bacias hidrográficas. De importância fundamental no funcionamento de reservatórios e nas suas características físicas, químicas e biológicas são o tipo de construção, o tempo de retenção, o período de enchimento e os impactos dos usos múltiplos na qualidade da água desses ecossistemas.

Independentemente do tamanho do reservatório, da finalidade da água nele acumulada ou do volume livre para atenuação de enchentes, sua principal função é a de regulador da vazão ou dos níveis dos cursos de água, para o atendimento das variações da demanda dos usuários, compatibilizando-as com a aleatoriedade natural da oferta de água. Entre as principais características físicas dos reservatórios estão (SILVA, 2002):

- Profundidade, comprimento, largura, área da superfície líquida (espelho d'água), área de drenagem, volume e comprimento das margens;
- Capacidade de armazenamento, calculada a partir de levantamentos topográficos ou batimétricos;
- Caudabilidade, quantidade de água que pode ser regularizada pelo reservatório em um determinado período de tempo;
- Perdas d'água, devido, principalmente, à infiltração e à evaporação.

Segundo Kelman (1999), desde a década de 50, os grandes rios do Brasil, praticamente, “pertenceram” ao setor elétrico, o qual decidia onde, quando e como construir as grandes

barragens e como operar os reservatórios. O setor elétrico sempre realizava uma análise de viabilidade econômica e social de um projeto específico, sem levar em conta as eventuais externalidades causadas a outros setores usuários da água e ao meio ambiente.

Tendo sido concebidos com um fim único, os reservatórios hidrelétricos constituem um exemplo de centralização do controle dos recursos hídricos. O conjunto de reservatórios do setor elétrico do Brasil foi planejado e construído quase que exclusivamente para manutenção de volumes e vazões mínimas para geração de energia (SILVA, 2002).

Esse monopólio dos recursos hídricos pelo setor elétrico aconteceu devido ao Código de Águas de 1934, que estabelecia que as águas do país se destinavam principalmente à geração de energia elétrica, sendo o gerenciamento desse recurso realizado pelo próprio setor elétrico.

Dessa forma, no Brasil, os grandes reservatórios estão associados à geração de energia. De acordo com dados da ANEEL (2009), existem 828 empreendimentos para geração de energia hidrelétrica em operação, totalizando uma produção de 78.486.260 kW de energia elétrica. A capacidade de geração de uma usina hidrelétrica depende do regime fluvial do rio onde se localiza (que pode ser a fio d'água ou com reservatório); da altura da queda d'água; da tecnologia utilizada; dos usos múltiplos da água, entre outros.

Os reservatórios têm um enorme significado econômico, ecológico, hidrológico e social. Em muitos locais esses ecossistemas foram utilizados como base para o desenvolvimento regional. Em alguns projetos, no planejamento inicial já existe uma preocupação com a inserção regional, já em outros se instala após o início de sua operação. Em regiões onde a escassez de água está presente, como no semiárido do Brasil, os reservatórios têm uma importância fundamental nas atividades humanas (BRAGA *et al.*, 2006).

Há diversos interesses de natureza socioeconômica que podem determinar a implementação de reservatórios: irrigação, geração de energia hidrelétrica, abastecimento humano, lazer, navegação, paisagismo, pesca, proteção contra enchentes, regularização de vazões para diversas atividades econômicas, valorização de terras, geração de empregos, surgimento de novas atividades econômicas, entre outros (SILVA, 2002).

A agricultura é uma atividade produtiva vital e importante para geração de emprego, renda e combate à fome. Pela sua natureza, a atividade agrícola irrigada no semiárido causa forte pressão de uso sobre os recursos naturais e inevitavelmente produz impactos negativos, podendo alterar significativamente a dinâmica hidrológica, hidrogeológica e ambiental da bacia hidrográfica. A irrigação tem sido uma necessidade para populações que vivem em zonas áridas e semiáridas. No Brasil, a CODEVASF considera uma taxa de crescimento de 8.000 ha/ano de áreas irrigadas e estima uma vazão de 0,58 l/s/ha (ANA et al., 2002).

As atividades agrícolas são fontes de pesticidas orgânicos para os sistemas aquáticos. Os pesticidas orgânicos são aplicados no solo ou na vegetação, seguindo-se sua lavagem e carreamento para os ecossistemas aquáticos. Alguns desses pesticidas orgânicos também podem ser transportados pelos ventos para os sistemas aquáticos ou podem se volatilizar e ser então depositados por meio de trocas gasosas na forma de precipitações secas ou úmidas na interface água e ar (MATSUI et al., 2002).

Outra atividade desenvolvida em reservatórios é a aquicultura, processo de produção em cativeiro, de organismos com habitat predominantemente aquático, tais como peixes, camarões, rãs, entre outras espécies. Apesar de ser uma atividade produtiva muito antiga, ela deve ser desenvolvida de forma sustentável para que o ambiente seja utilizado de forma racional e a atividade possa ser praticada por muito tempo. Um dos maiores problemas ambientais relacionados à aquicultura é a elevada carga de nutrientes que os corpos d'água recebem, acelerando o processo de eutrofização. A ração, que é adicionada aos viveiros para que os peixes cresçam o mais rápido possível, contribui para a eutrofização.

2.4.2 Principais impactos ambientais

Mesmo proporcionando desenvolvimento social e econômico através de oportunidades de trabalho e geração de energia, a implantação de reservatórios causa mudanças nos fenômenos hídricos e ambientais em sua área de influência, causando diversos impactos negativos aos meios físico, biótico e antrópico.

O impacto ambiental causado durante a geração de energia em reservatórios vem sendo discutido mundialmente, mediante a conscientização da gravidade da questão. Segundo Leite (2005), a implantação de hidrelétricas pode gerar impactos ambientais na hidrologia, clima,

erosão e assoreamento, sismologia, flora, fauna e alteração da paisagem. Na hidrologia impacta com a alteração do fluxo de corrente, alteração de vazão, alargamento do leito, aumento da profundidade, elevação do nível do lençol freático, mudança de lótico para lântico e geração de pântanos. Impacta no clima alterando temperatura, umidade relativa, evaporação (aumento em regiões mais secas), precipitação e ventos (formação de rampa extensa). Impacta também através da erosão marginal com perda do solo e árvores, assoreamento provocando a diminuição da vida útil do reservatório, comprometimento de locais de desova de peixes, e perda da função de geração de energia elétrica. Na sismologia pode causar pequenos tremores de terra, com a acomodação de placas.

Na flora provoca perda de biodiversidade, perda de volume útil, eleva concentração de matéria orgânica e conseqüente diminuição do oxigênio, produz gás sulfídrico e metano provocando odores e elevação de carbono na atmosfera, e eutrofiza as águas. Na fauna provoca perda da biodiversidade, implica em resgate e realocação de animais, somente animais de grande porte conseguem ser salvos, aves e invertebrados dificilmente são incluídos nos resgates, e provoca migração de peixes.

Reservatórios são absorventes, característica que os torna aptos a resistir a determinados níveis de poluentes. Entretanto, essa capacidade tem limites, podendo surgir um problema em um período relativamente curto de tempo, embora a entrada de poluentes no reservatório possa ter ocorrido em um período bastante maior. A capacidade dos sedimentos de acumular poluentes pode explicar essa capacidade de absorção do lago. Ao atingir determinado nível, a capacidade de acumulação dos sedimentos é exaurida e posteriores entradas de poluentes aumentarão significativamente suas concentrações nas águas (JORGENSEN & VOLLENWEIDER, 2000).

O enriquecimento do meio aquático com os nutrientes fósforo e nitrogênio, devido ao lançamento de esgotos domésticos e efluentes da irrigação, resulta no processo de eutrofização, que é o crescimento excessivo de algas e de plantas aquáticas, causando problemas ao próprio ambiente e aos usos da água, tais como: sabor e odor desagradáveis, bem como toxidez, provocados pelas algas; formação de massas de matéria orgânica, cuja decomposição pode levar à diminuição do oxigênio dissolvido e conseqüentes prejuízos à vida aquática aeróbia; prejuízos às atividades de recreação e navegação; entupimento de tubulações e danos às bombas e turbinas hidrelétricas; prejuízos ao tratamento da água e assoreamento de reservatórios (MOTA, 1997). O Quadro 2.6 mostra os principais impactos positivos e negativos da construção e

operação de reservatórios.

Quadro 2.6 – Principais impactos positivos e negativos de reservatórios:

Tipo de impacto	Positivo	Negativo
Meio físico	<ul style="list-style-type: none"> – retenção de água no local; – fonte de água potável e para sistemas de abastecimento; – criação de purificadores de água com baixa energia; – proteção contra cheias das áreas a jusante; – armazenamento de águas para períodos de seca; – navegação; – aumento do potencial para irrigação; – controle de enchentes. 	<ul style="list-style-type: none"> – perda de terras agrícolas cultivadas por gerações, como arrozais; – degradação da qualidade hídrica local; – redução das vazões a jusante do reservatório e elevação em suas variações; – perda de valores estéticos; – perda excessiva de água; – aumento da emissão de gases de efeito estufa (floresta nativa não foi desmatada).
Meio biótico	<ul style="list-style-type: none"> – representativa diversidade biológica; – aumento das possibilidades de pesca; – aumento da produção de peixes por aquicultura. 	<ul style="list-style-type: none"> – perda de espécies nativas de peixes de rios; – perda da biodiversidade terrestre; – impactos sobre a biodiversidade aquática; – introdução de espécies exóticas nos ecossistemas aquáticos.
Meio antrópico	<ul style="list-style-type: none"> – produção de energia; – maior prosperidade para setores das populações locais – criação de oportunidades de recreação e turismo; – geração de empregos; – promoção de novas alternativas econômicas regionais. 	<ul style="list-style-type: none"> – deslocamento de populações; – emigração humana excessiva; – deterioração das condições da população original; – problemas de saúde (doenças hidricamente transmissíveis); – necessidade de compensação pela perda de terras agrícolas e urbanas.

Fonte: Adaptado de Tundisi e Tundisi (2008)

Os reservatórios podem ser classificados de acordo com seu nível trófico, como: ultra oligotrófico, oligotróficos (com baixa produtividade); mesotróficos (com produtividade intermediária), eutróficos (com alta produtividade) e hipereutrófico (com super produtividade), conforme mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Valores de fósforo total e clorofila para identificação do estado trófico

Estado trófico	Fósforo total dissolvido (mg/L)	Clorofila (mg/L)	
		Médio	Máximo
Ultra oligotrófico	< 0,004	< 0,001	0,0025
Oligotrófico	< 0,01	< 0,0025	0,008
Mesotrófico	0,01 a 0,035	0,0025 – 0,008	0,008 – 0,0025
Eutrófico	0,035 a 0,1	0,008 – 0,0025	0,025 – 0,075
<i>Hipereutrófico</i>	> 0,1	> 0,025	> 0,075

Fonte: Tundisi, et al. (1988)

Conforme Silva (2002), no Brasil, há uma série de reservatórios que passam por diversos problemas de ordem técnica, administrativa, política, ambiental, e, principalmente, financeira no que se refere a sua implantação, operação e manutenção, destacando-se:

- Problemas de ordem ambiental decorrentes da própria implantação ou da operação ineficiente dos reservatórios, bem como do dimensionamento inadequado de suas estruturas;
- Adoção de motivações de natureza corporativista, clientelista ou eleitoreira na operação dos reservatórios;
- Falta de recursos financeiros para contratação de técnicos e fiscais, operação e manutenção dos equipamentos e das estruturas hidráulicas e para controle dos usos;
- Conflitos com outros setores usuários da água e com outros reservatórios localizados em trecho de jusante;
- Problemas com indenizações de terras e reassentamento de famílias, entre outros.

Os reservatórios podem ser construídos em cascata, cadeia de reservatórios localizados no mesmo rio, principalmente quando o objetivo principal é a produção de energia elétrica. Assim, de acordo com Tundisi et al (2006), a construção de reservatórios em cascata causa extensas modificações nos seguintes processos nos rios:

- Alteração do regime hidrológico devido à regulação do fluxo e do nível e, conseqüentemente, modificações na altura das variações hidrométricas. Com isso se modificam regimes de inundação e áreas alagadas;
- Modificações nos ciclos biogeoquímicos. Os reservatórios retêm fósforo e exportam nitrogênio a jusante. A retenção de fósforo é realizada em função da precipitação de fosfato férrico no sedimento devido à anulação e reoxigenação. Por causa dessas alterações, o sistema e o acúmulo de nutrientes modificam-se, produzindo um método de eutrofização nos sistemas a jusante. Nesse caso, a entrada de nutrientes de montante é reduzida (para o caso do fósforo);
- Alterações no sistema de reprodução de peixes e na fauna e flora das áreas de inundação. As modificações no regime hidrológico e na vazão, com os barramentos, interferem nos ciclos de reprodução dos peixes, impedindo a migração;
- Retenção de sedimentos nos reservatórios a montante, com isso aumentando a capacidade de erosão da água a jusante. A retenção de sedimentos interfere com os ciclos biogeoquímicos e com a qualidade da água.

2.4.3 Desafios e perspectivas futuras

A construção de reservatórios tem, historicamente, obedecido às decisões isoladas de um único setor usuário (elétrico, irrigação, navegação, abastecimento, etc.), em detrimento dos demais usos existentes ou potenciais. Essa dissociação de interesses - em muitos casos, imposição - tem gerado conflitos por todo País; conflitos entre setores usuários e até no âmbito de um mesmo setor. Outros não geram conflitos pelo uso da água, propriamente, mas os problemas de administração causam desconforto social e prejuízos para algumas atividades econômicas (SILVA, 2002).

Entretanto, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) estabeleceu que a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, além disso deve ser descentralizada, contando com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

O modelo para tomada de decisões sobre a construção de reservatórios para aproveitamento dos recursos hídricos e energéticos, apresentado pela *World Commission on Dams* (WCD, 2000), baseia-se em cinco valores essenciais: equidade, sustentabilidade, eficiência, processo decisório participativo e responsabilidade. O modelo propõe:

- uma abordagem de direitos e riscos que sirva de base prática e justa para identificar todos os legítimos grupos de interesse envolvidos na negociação de opções de desenvolvimento e acordos;
- prioridades estratégicas e os princípios políticos correspondentes para o desenvolvimento de recursos hídricos e energéticos: avaliação abrangente das opções; aproveitamento das barragens existentes; preservação de rios e meios de subsistência; reconhecimento de direitos adquiridos e compartilhamento de benefícios; garantia de cumprimento e compartilhamento dos rios para a paz, desenvolvimento e segurança;
- critérios e diretrizes para boas práticas relacionadas às prioridades estratégicas - abrangendo desde a análise do ciclo de vida e de fluxos ambientais até análises de risco de empobrecimento e o estabelecimento de pactos de integridade.

A construção de reservatórios pode ser muito avançada e aperfeiçoada se na fase de

planejamento já for induzido um componente ecológico que promova um melhor sistema de engenharia na construção, otimizando os usos múltiplos, minimizando os impactos e promovendo cenários consistentes da interação entre o futuro reservatório e a bacia hidrográfica (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

A operação desses reservatórios afeta o abastecimento de água e a diluição de efluentes de cidades e/ou indústrias, a irrigação, a navegação, o controle de enchentes e a recreação. Por esse motivo, o planejamento da construção de novas usinas hidrelétricas e a operação das existentes devem ser feitos de modo coordenado, no que se refere à bacia hidrográfica, contemplando os usos competitivos da água. No que diz respeito ao controle de enchentes, o setor elétrico reserva “volume de espera” em seus reservatórios para amortecer os picos de cheia. Quanto aos demais usos, é de se esperar que a implantação dos instrumentos previstos na Lei Federal nº 9.433/97 venha criar novos mecanismos de articulação, destacando-se a instituição de comitês de bacias, com atribuições legais bastante abrangentes (KELMAN et al., 2006).

Entre as medidas atenuantes mais importantes, para os usos múltiplos do futuro reservatório, está a implantação do plano de uso e ordenamento territorial da bacia hidrográfica, estabelecendo um zoneamento com critérios de utilização, proteção e recuperação das áreas da bacia. Este plano é um instrumento fundamental na proteção ambiental da bacia e na solução de conflitos de uso e deve ser elaborado de maneira democrática com a participação de todos os afetados e envolvidos no empreendimento (ALMEIDA, 2009).

A adequada prática de usos múltiplos de reservatórios exige evidentemente a implantação de um sistema de gerenciamento bastante eficiente, cuja responsabilidade é normalmente atribuída a agências de bacias ou a consórcios administradores (SPERLING, 1999).

Conforme Tundisi & Tundisi (2008) o gerenciamento de reservatórios deve apoiar-se em um processo constante de monitoramento e avaliação dos mecanismos de funcionamento, em um conhecimento profundo da limnologia desses ecossistemas e na adoção de técnicas inovadoras baseadas em ecotecnologias e eco-hidrologias de custo mais baixo e integradas no funcionamento do sistema.

Documentos atuais do setor elétrico brasileiro norteiam o planejamento e implantação de novos empreendimentos, considerando a vertente socioambiental no planejamento da expansão da energia, como é o caso do Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007) e do Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME, 2007). Este último estabelece que ao estudar uma possível usina hidrelétrica, devem ser levantados dados socioambientais para identificar questões significativas e, especialmente, aquelas que possam vir a se configurar em restrições ou oportunidades, de modo a influenciar a definição dos locais barráveis e a identificação preliminar das alternativas de divisão de queda, bem como subsidiar a estimativa de custo das etapas subsequentes, conforme mostrado no Quadro 2.7.

Quadro 2.7 - Aspectos socioambientais relevantes para seleção de locais barráveis

Aspectos socioambientais	Conteúdo mínimo	Fontes sugeridas
Grupos populacionais indígenas	Localização das terras indígenas, indicando situação legal e grupos étnicos	FUNAI, ISA, teses e estudos acadêmicos, Anuário Estatístico do Brasil/IBGE, legislação específica
Grupos remanescentes de quilombos, minorias étnicas ou populações tradicionais	Localização das áreas, população	Movimento Negro Unificado, SEPPIR, Fundação Palmares, INCRA, literatura específica, legislação específica
Unidades de Conservação	Localização, classificação, caracterização, situação legal	INPRA, órgãos estaduais de meio ambiente, legislação específica, literatura específica
Patrimônio	Localização dos patrimônios da humanidade, histórico cultural, arqueológico, paisagístico, espeleológico e ecológico	IPHAN, órgãos estaduais e municipais de patrimônio histórico
Sedes municipais e distritais	Localização e identificação da hierarquia funcional e contingente populacional	IBGE, prefeituras e secretaria estaduais
Áreas com densidade significativa de populações rurais	Estrutura fundiária, densidade populacional, condição de propriedade, dados de produção	IBGE, prefeituras e associações de produtores
Infra-estrutura econômica e de saneamento básico	Localização das rodovias, ferrovias, portos fluviais, campos de pouso e LT's, pontes, estradas vicinais	Mapas rodoferroviários, IBGE, DNIT, DER's, prefeituras e órgãos estaduais.
Ocorrências minerais de valor econômico e estratégico	Existência e classificação de concessões de lavras	DNPM, CPRM, Projeto RADAM-Brasil, órgãos estaduais e municipais
Ocorrências hidrominerais	Localização e caracterização	DNPM, órgãos estaduais e municipais
Instalações industriais e agroindustriais	Localização e caracterização	EMBRAPA, EMATER, confederação das indústrias, órgãos estaduais e municipais, IBGE, MDA.
Atividade pesqueira comercial	Caracterização geral (formas de organização da atividade, quantidade e tipo de pescado, destino da produção).	IBAMA, órgãos estaduais de meio ambiente, IBGE, SEAP.
Espécies raras, endêmicas ou em extinção	Localização e identificação em nível local e regional	IBAMA, INPRA, órgãos estaduais de meio ambiente, teses e publicações científicas.
Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade	Localização e identificação em nível local e regional	MMA, INPRA, órgãos estaduais de meio ambiente, Comissão de Meio Ambiente do Congresso Nacional.
Áreas frágeis ou de relevante interesse ecológico	Localização, características, usos e ocupação da área	IBAMA, INPRA, órgãos estaduais de meio ambiente, prefeituras, secretarias estaduais e municipais.
Ictiofauna	Rotas migratórias, locais de desova, criadouros.	Institutos de pesquisa, universidades e órgãos ambientais.
Atividades econômicas	Atividades econômicas a serem potencialmente afetadas, tais como pesca, agricultura, etc., com indicação de valores.	MAPA, SEAP, IBGE, Secretarias estaduais e municipais.
Organizações sociais	Conflitos e formas de organização.	Principais ONGs, movimentos sociais e associações atuantes na região.

Fonte: MME (2007)

2.5 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À GESTÃO AMBIENTAL

A localização espacial é essencial na gestão ambiental, sendo a cartografia a base para o mapeamento e para as geotecnologias. Nesta seção mostra-se como aplicar as geotecnologias à gestão ambiental.

2.5.1 Sistemas de informações geográficas

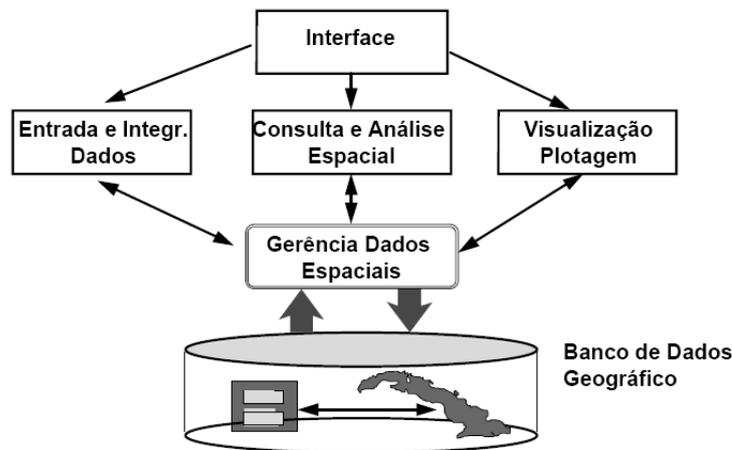
O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um ambiente computacional em que dados espaciais representados por entidades gráficas podem ser relacionados entre si e com outros dados não espaciais. O SIG aparece como um instrumento eficiente para auxílio ao planejamento, controle e supervisão, uma vez que entre as suas principais aptidões encontram-se a de simular e inter-relacionar eventos de natureza intrinsecamente espacial, esta moderna ferramenta permite a projeção de cenários para efeito de planejamento, bem como a modelagem de funções de correlação e a integração de dados de monitoramento para efeito de controle, supervisão e obtenção de diagnóstico (CAMARGO, 1997).

Segundo Burrough e Mc Donnell (1998) os SIGs se caracterizam como um conjunto de tecnologias implementadas em ambiente computacional que são capazes de manipular, armazenar e recuperar dados objetivando simular, através de simplificações lógicas, situações e contextos existentes no mundo real. Em uma visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

A Figura 2.3 indica o relacionamento dos principais componentes ou subsistemas de um SIG.

Figura 2.3 - Estrutura geral de sistemas de informações geográficas



Fonte: Câmara et al. (2001)

Conforme Assad e Sano (1998) o objetivo principal do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos.

A utilização do SIG como ferramenta de ajuda à tomada de decisão tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Destacam-se as aplicações em estudos de impactos, proteção e riscos ambientais. As funções básicas de um SIG permitem a um gestor da área em questão estar de posse de uma:

- Ferramenta para produção de mapas;
- Suporte para análise espacial de fenômenos;
- Banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Recomenda-se que os dados adquiridos no campo sejam sempre georreferenciados para serem posteriormente implantados no SIG. A atualização (manutenção) dos dados do SIG irá gerar análise atualizada da área em questão. Portanto, na gestão usando SIG é necessária a coleta de novos dados para compor o sistema. Entre os principais dados de entrada estão:

- Usos múltiplos da água;
- Qualidade da água;
- Dados pluviométricos e fluviométricos;
- Divisão político-administrativa (sedes municipais);

- Dados sócioeconômicos;
- Uso e ocupação do solo (agrícolas e industriais);
- Tipos de solo e potencial de áreas agricultáveis;
- Topografia;
- Fontes de poluição (pontuais e difusas);
- Licenças e condicionantes ambientais;
- Áreas protegidas por lei.

2.5.1.1 Banco de dados geográficos e sistemas de informações geográficas

Elmasri e Navathe (2005) definem banco de dados através das seguintes propriedades implícitas:

- um banco de dados representa alguns aspectos do mundo real, sendo chamado às vezes, de minimundo;
- um banco de dados é uma coleção lógica e coerente de dados com algum significado inerente. Uma organização de dados ao acaso (randômica) não pode ser corretamente interpretada com um banco de dados;
- um banco de dados é projetado, construído e povoado por dados, atendendo a uma proposta específica. Possui um grupo de usuários definido e algumas aplicações preconcebidas, de acordo com o interesse desse grupo de usuários.

Para se executar um projeto de banco de dados, é aconselhável que se divida as tarefas em várias fases. Segundo Elmasri e Navathe (2005), a primeira etapa é o levantamento e análise de requisitos. Durante essa fase, o projetista busca levantar o maior número de informações necessárias para que seja possível entender e documentar seus requisitos de dados. A próxima etapa é a criação do esquema conceitual para o banco de dados, utilizando um modelo de alto nível, denominado de modelo conceitual.

Os modelos de dados podem ser conceituais ou lógicos. Os modelos conceituais capturam a semântica dos dados e representam a realidade em um alto nível de abstração, através de notações gráficas, sem se preocupar com os aspectos de implementação. Os modelos lógicos, por sua vez, são usados para especificar a estrutura do banco de dados em um nível de abstração

mais próximo das estruturas de armazenamento de dados, através de tabelas e registros (KORTH; SILBERSCHATZ,1995).

De acordo com Elmasri e Navathe (2005) existem três categorias de modelos de banco de dados:

- Modelo conceitual: utilizam conceitos que estão próximos do modo como muitos usuários percebem os dados. Esses modelos utilizam os conceitos de entidade (representa um objeto ou conceito do mundo real), atributo (representa uma propriedade que descreve uma entidade) e relacionamento (representa uma interação entre as entidades).
- Modelo de representação: fornecem conceitos que podem ser compreendidos por usuários finais, porém não estão muito afastados do modo como os dados estão organizados no computador. Esses modelos escondem alguns dos detalhes sobre o armazenamento, mas podem ser implementados em um sistema de computador de uma forma direta. Esses modelos são muito utilizados e incluem os modelos relacionais e os modelos objeto-relacionais;
- Modelo físico: descrevem como os dados estão armazenados em arquivos no computador, pela representação da informação como o formato do registro, a ordem dos registros e as rotas de acesso.

Dois dos modelos conceituais mais difundidos são o modelo entidade-relacionamento e o modelo orientado a objeto. O modelo entidade-relacionamento baseia-se na percepção de que o mundo real é composto por uma coleção de objetos denominados entidades e os relacionamentos entre esses objetos. Uma entidade é um objeto distinguível de outro objeto por um conjunto específico de atributos. Um relacionamento é uma associação entre várias entidades. O modelo orientado a objeto também é baseado num conjunto de objetos que possuem comportamento e métodos específicos e podem ser agrupados em classes (KORTH; SILBERSCHATZ, 1995).

Os bancos de dados espaciais se diferem dos bancos de dados convencionais principalmente nos tipos de dados, que deixam de ser apenas descritivos para tomarem formas espaciais ou geométricas, com isso, a maneira como é armazenado também sofre algumas alterações. Além desses, existem os bancos de dados geográficos (BDG), que se diferenciam dos bancos de dados espaciais apenas pelo fato das informações não-convencionais contidas nesse banco estarem

referenciadas a um sistema de coordenadas terrestre.

Os SIG utilizam Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) para armazenar e gerenciar dados geográficos. Para Borges (1996), um modelo de dados geográficos deve ser capaz de:

- Representar os diferentes tipos de dados: espaciais (ponto, linha, polígono), imagens (mapas, modelo digital de terreno) e dados alfanuméricos;
- Suportar relacionamentos espaciais;
- Ser independente da implementação;
- Representar a forma gráfica dos objetos, de forma a distinguir no modelo os objetos que são espaciais e os que não são alfanuméricos.

2.5.1.2 Análise espacial de dados

São inúmeras as possibilidades funcionais executadas em um SIG. Citam-se como exemplos a entrada, a atualização, a conversão, o armazenamento, a manipulação e a organização de dados. A apresentação de resultados pode ser feita através de produção de textos, tabelas ou mapas contendo dados originais ou já processados. Além disso, tem-se ainda a função de análise espacial. As análises espacial e não-espacial também diferem entre si no tipo de ferramentas analíticas requeridas. As análises não-espaciais requerem um sistema de gerenciamento de banco de dados e um pacote estatístico, enquanto que as espaciais, usualmente, requerem um SIG completo. É pelas características inerentes a estes sistemas, especialmente pela capacidade de tratar de forma integrada e manusear grandes quantidades de dados, que se acredita serem os SIGs uma ferramenta importante na elaboração de Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) relacionados a projetos urbanos e rurais (CRUZ, 2003).

Um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que se ajuste aos dados e expresse o relacionamento espacial do fenômeno em estudo, define análise espacial (CÂMARA, 1995).

A interpolação é um procedimento utilizado para converter dados de observação de pontos em superfícies contínuas, sendo necessária quando (BURROUGH; MCDONNELL, 1998):

- Uma superfície discretizada exige um grau de resolução diferente da original (Ex.: transformação de grade com resolução de 100 dpi para 50dpi), ou
- Uma superfície contínua é representada por um modelo de dados diferente do requerido (Ex.: transformação de malha triangular irregular para grade regular), ou
- Os dados disponíveis não cobrem o domínio de interesse completamente (Ex.: os infinitos pontos de uma superfície não estão disponíveis).

De acordo com Fitz (2008b) a interpolação pode ser entendida como um método que, utilizando funções matemáticas, permite encontrar valores de dados intermediários contidos entre outros dois valores de dados conhecidos. Os dados interpolados representam, portanto, uma aproximação da realidade. Assim, quanto mais dados conhecidos existirem, tanto mais fiel será a modelagem realizada.

O fundamento básico da interpolação respalda-se na evidência de que os valores de pontos próximos no espaço são mais similares que os valores de pontos mais distantes. Assim classificam seus métodos como (BURROUGH; MCDONNELL, 1998):

- Globais: Método frequentemente baseado em padrões estatísticos de análise de variância e regressão. Normalmente são empregados em análise exploratória, e na identificação de Superfícies de Tendência. Esse método trabalha com todos os dados utilizados pelo modelo disponível para ajustar a predição da área de interesse;
- Determinísticos Locais: Tem como princípio a existência de flutuações randômicas de pequena amplitude. São métodos que operam dentro de uma pequena zona em torno do ponto que será interpolado para assegurar que as estimativas sejam realizadas somente com dados das posições na vizinhança imediata. Assim, o valor predito em um ponto desconhecido é mais influenciado pelas amostras mais próximas a ele do que pelas mais afastadas.

Existem diversos tipos de interpoladores (*Spline*, *Kriging*, entre outros) disponíveis nos *softwares* que implementam sistemas de informações geográficos, entretanto para este trabalho foi utilizado o IDW (*Inverse Distance Weighting*), em português Inverso da Distância Ponderada, o qual consiste de um método que implementa literalmente o conceito de autocorrelação espacial, assumindo que quanto mais próximo estiver um ponto da célula a ser estimada, mas semelhante será o valor dessa célula e desse ponto.

Esse método é bastante interessante para análise de qualidade de água, pois um ponto com uma determinada medição será muito parecido com seus vizinhos. Verifica-se na literatura que diversos autores utilizaram o método IDW para interpolação superfícies com dados de qualidade de água (MURPHY et al., 2009; BAJJALI, 2005).

2.5.1.3 SIG como Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SADE)

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) tem se destacado nos últimos anos como ferramentas de apoio aos gestores na tomada de decisão. De acordo com Power (2007), foi a partir da década de 1960 que pesquisadores começaram a estudar sistematicamente o uso de modelos quantitativos computadorizados para assistir a tomada de decisão.

Para Heinzle, Gauthier e Fialho (2010) os sistemas de apoio à decisão objetivam fornecer instrumentos ou subsídios úteis aos gestores das organizações no processo de tomada de decisão que apresenta problemas de estruturação. São sistemas computadorizados que oferecem recursos que permitem comparar, analisar, simular e apoiar a seleção de alternativas com base na geração de cenários que envolvem um significativo número de variáveis relacionadas aos domínios de um processo decisório. Possuem características tecnológicas diferenciadas e utilização específica, aspectos que os distinguem de outros tipos de sistemas de informação.

Entretanto, para que a decisão seja tomada de maneira segura e precisa é necessário conhecer a situação do ambiente onde o problema está inserido, através de um cuidadoso levantamento das informações disponíveis. Dessa forma, Simon (1960) destaca o modelo decisório baseado em “inteligência-concepção-escolha”, para o qual a tomada de decisão é muito mais do que o momento final da escolha, sendo um processo complexo de reflexão, investigação e análise, onde os executivos passam grande parte do seu tempo, estudando o ambiente e procurando identificar possíveis cursos de ação.

Conforme Câmara e Medeiros (1996), um modelo racional de tomada de decisão preconiza quatro passos:

- Definição do problema: formular o problema como uma necessidade de chegar a um novo estado;

- Busca de alternativas: estabelecer as diferentes alternativas (aqui consideradas como as diferentes possíveis soluções do problema) e determinar um critério de avaliação;
- Avaliação de alternativas: cada alternativa de resposta é avaliada;
- Seleção de alternativas: as possíveis soluções são ordenadas, selecionando-se a mais desejável ou agrupando-se as melhores para uma avaliação posterior.

Para Binder (1970) a tomada de decisão consiste, basicamente, na escolha de uma opção entre diversas alternativas existentes, seguindo determinados passos previamente estabelecidos e culminando na resolução de um problema de modo correto ou não.

De acordo com Binder (1970), a análise prática dos Sistemas de Apoio à Decisão demonstra que estes sistemas possuem as seguintes características:

- São utilizados para a resolução de problemas mais complexos e menos estruturados que os demais;
- Tentam combinar modelos ou técnicas analíticas (métodos de gerenciamento) com as funções tradicionais de processamento de dados, como a acesso e a recuperação de informações. O sistema deve permitir que o usuário (o tomador de decisões) possa aplicar aos dados, técnicas de análise qualitativa e quantitativa com uma certa facilidade;
- Como as situações de tomada de decisão são extremamente mutáveis, os sistemas de apoio à decisão devem acompanhar esta tendência, sendo mais flexíveis e adaptáveis a mudanças no ambiente do que os sistemas tradicionais.

O SIG auxilia o gestor ambiental na representação do mundo real e em suas relações espaciais, já o Sistema de Apoio à Decisão (SAD), auxilia no processo decisório através da modelagem científica do mundo real. Assim, define-se um SADE como um sistema que reúna as características de um SIG e de um SAD.

As estratégias mais comuns para construção de um SADE envolvem a utilização de um SIG, como software principal, com capacidades estendidas derivadas da teoria em SAD. Basicamente, os SIGs são aptos para modelar, armazenar, manipular e apresentar dados de posição, conformação, atributos e relacionamentos espaciais, sobre a parcela física do sistema geográfico, (LAURINI; THOMPSON, 1992; RIZZOLI; DAVIS; ABEL, 1998).

Denshan (1990) sugere seis características dos SAD, que também são aplicáveis ao conceito de SADE, e complementa apontando quatro habilidades e funções que um SADE deve apresentar.

Como características dos SADE têm-se:

- Deve ser projetado para tratar problemas semi-estruturados;
- Deve apresentar interface fácil de usar e amigável ao usuário, com recursos para alimentação e edição espacial;
- Deve permitir ao usuário combinarem dados e modelos de forma flexível;
- Deve auxiliar ao usuário na exploração do espaço das soluções do problema, permitindo que uma série de alternativas sejam propostas e avaliadas;
- Deve permitir a incorporação de estilos de decisões;
- Deve possibilitar que o processo de resolução do problema seja feito de forma interativa e com diversos recursos.

Como habilidades e funções que um SADE deve apresentar:

- Deve prover mecanismos que possibilitem a incorporação de dados espaciais;
- Deve permitir a representação das estruturas e relações espaciais;
- Deve incluir técnicas de análise espacial;
- Deve disponibilizar a saída de dados (output) em diversos tipos de mídias, incluindo mapas e outros tipos mais específicos.

Portanto, o SADE é projetado para dar suporte ao usuário melhorando o desempenho do processo decisório, incorporando as preferências do decisor e ferramentas computacionais. O sistema deve incorporar uma variedade de estilos de tomada de decisão que possam estar presentes num processo particular. Consequentemente, a ideia chave de um SADE é de melhorar o processo decisório, incorporando o conhecimento, a intuição, a experiência, a iniciativa, a criatividade e outras características dos decisores (BATISTA, 2005).

Na gestão ambiental o processo de decisão consiste no papel atribuído e na participação de cada um dos atores no processo de negociação. A análise multicritério deve servir basicamente para ajudar o decisor a controlar os dados que são fortemente complexos dentro do campo ambiental e a fazer progredi-los em direção à melhor estratégia de gerenciamento ambiental. Assim sendo,

os resultados obtidos pela análise multicritério, e como consequência, o apoio à tomada de decisão depende do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, dos valores de ponderação atribuídos aos critérios, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes atores (SOARES, 2004).

Para esta pesquisa, entende-se que um SIG contendo dados suficientes para modelar o mundo real, possibilitando análises espaciais integradas, de forma a apoiar a tomada de decisão do gestor ambiental pode ser considerado um Sistema de Apoio à Decisão Espacial.

2.5.2 Exemplos de aplicações de geotecnologias em gestão ambiental

Conforme Camargo (1997), no campo da gestão ambiental, o SIG é capaz de combinar grandes volumes de dados de uma ampla variedade de fontes, tornando-se uma ferramenta útil para investigações de muitos aspectos, como por exemplo, da qualidade da água. O SIG pode ser usado para identificar e determinar a extensão espacial e as causas dos problemas de qualidade das águas, tais como efeitos das práticas de uso do solo nas adjacências dos corpos d'água. O SIG também pode:

- ajudar a determinar locação, a distribuição espacial e a área afetada por fontes de poluição pontiformes ou difusas;
- ser usado para correlacionar cobertura de terreno e dados topográficos com uma ampla variedade de variáveis ambientais incluindo escoamento superficial, drenagem e tamanho de bacias de drenagem;
- ser usado para avaliar os efeitos combinados de vários fatores antropogênicos (tais como o uso do solo) e naturais (tais como alterações de rochas, precipitação e drenagem) na qualidade da água;
- ser usado para a prospecção de recursos hídricos (novos mananciais);
- ser incorporado em modelos de qualidade da água e modelos de gestão.

São inúmeras as possibilidades funcionais executadas em um SIG. Citam-se como exemplos a entrada, a atualização, a conversão, o armazenamento, a manipulação e a organização de dados. A apresentação de resultados pode ser feita através de produção de textos, tabelas ou mapas contendo dados originais ou já processados. Além disso, tem-se ainda a função de análise

espacial. As análises espacial e não-espacial também diferem entre si no tipo de ferramentas analíticas requeridas. As análises não-espaciais só requerem um sistema de gerenciamento de banco de dados e um pacote estatístico, enquanto que as espaciais, usualmente, requerem um SIG completo. É pelas características inerentes a estes sistemas, especialmente pela capacidade tratar de forma integrada e manusear grandes quantidades de dados, que se acredita serem os SIGs uma ferramenta importante na elaboração de Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) relacionados a projetos urbanos e rurais (CRUZ, 2003).

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de ajuda à tomada de decisão tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Destacam-se as aplicações em estudos de impactos, proteção e riscos ambientais. As funções básicas de um SIG permitem a um gestor da área em questão estar de posse de uma:

- Ferramenta para produção de mapas;
- Suporte para análise espacial de fenômenos;
- Banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Recomenda-se que os dados adquiridos no campo sejam sempre georreferenciados para serem posteriormente implantados no SIG. A atualização (manutenção) dos dados do SIG irá gerar análise atualizada da área em questão. Portanto, na gestão ambiental usando SIG é necessária a coleta de novos dados para compor o sistema. Entre os principais dados de entrada estão:

- Usos múltiplos da água;
- Qualidade da água;
- Dados pluviométricos e fluviométricos;
- Divisão político-administrativa (sedes municipais);
- Dados sócio-econômicos;
- Uso e ocupação do solo (agrícolas e industriais);
- Tipos de solo e potencial de áreas agricultáveis;
- Topografia;
- Fontes de poluição (pontuais e difusas);
- Licenças e condicionantes ambientais;

– Áreas protegidas por lei.

A utilização de SIGs para a gestão ambiental torna-se cada vez mais necessária, já que é possível realizar a análise espacial da área. Rocha Filho e Primavesi (1997) utilizaram o SIG-IDRISI para estudar e classificar áreas de proteção dos recursos naturais na fazenda Canchim (EMBRAPA, São Carlos /SP). Este trabalho identificou as áreas de proteção, bem como as reservas legais e as áreas de preservação permanente da propriedade. Os autores concluíram que os parâmetros analisados foram de grande importância no apoio ao diagnóstico do ambiente natural, facilitando o processo de tomada de decisões gerenciais.

Weber et. al. (1998) utilizaram um SIG como ferramenta de suporte no diagnóstico e no gerenciamento na bacia do rio Caí, no Estado do Rio Grande do Sul, observaram que o SIG pode ser utilizado na montagem de vários cenários de decisão contemplando os interesses de todos os setores da comunidade envolvidos no processo, os quais dificilmente poderiam ser construídos por meios convencionais. Além disso, a possibilidade de fazer atualizações, alterações e reconstrução de cenários rápidos e eficientes proporciona uma visão peculiar do problema discutido e a reavaliação instantânea de qualquer interferência prevista.

Maciel (2001) utilizou o SIG para realizar pesquisa no município de São Vicente-SP sobre o zoneamento geoambiental. Nesse estudo foram considerados os parâmetros físicos, biológicos e antrópicos da área, além de caracterizados os principais impactos ambientais decorrentes do processo de ocupação desordenado do referido município, sendo o SIG aplicado como instrumento de análise e representação dos dados relativos às variáveis ambientais.

Rocha (2006) utilizou técnicas de geoprocessamento para realizar um levantamento do meio físico do município de Araxá – MG, bem como para avaliar a evolução ocorrida no uso da terra em dois períodos distintos: 1985 e 2005.

Casarin (2007) utilizou imagens de satélite CBERS 2 para avaliar o uso da terra na bacia hidrográfica Paraguai/Diamantino visando caracterizar os principais vetores de degradação ambiental.

Moraes e Lima (2007) usaram um SIG como ferramenta de gestão do Parque Nacional Chapada das Mesas (Carolina/MA), onde o trabalho de monitoramento, fiscalização e gestão foi

facilitado através das informações geradas (ocupação do solo, cobertura vegetação). Além disso, o SIG serviu de suporte para a tomada de decisão no planejamento e manejo do parque.

No estado de Pernambuco, a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos disponibiliza o Geo Portal SRH, onde o usuário pode navegar sobre os diversos níveis de informação. O mapa do Estado de Pernambuco é apresentado dotado de uma escala geográfica que pode ser alterada para maior ou menor, barra de ferramentas e suas camadas geográficas, respectivamente, e também os limites interestaduais e intermunicipais

3 METODOLOGIA

Este capítulo consiste na apresentação dos critérios de escolha e delimitação da área de estudo. Em seguida descreve o método de pesquisa, que consiste em aquisição de dados, modelagem conceitual do banco de dados geográfico, construção do sistema de informações geográficas, realização de análises espaciais integradas, finalizando com a construção de cenários para subsidiar o processo decisório de gestão ambiental.

3.1 CRITÉRIOS DE ESCOLHA E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A escolha do reservatório de Itaparica como área objeto de estudo, deu-se a partir de alguns critérios, que são:

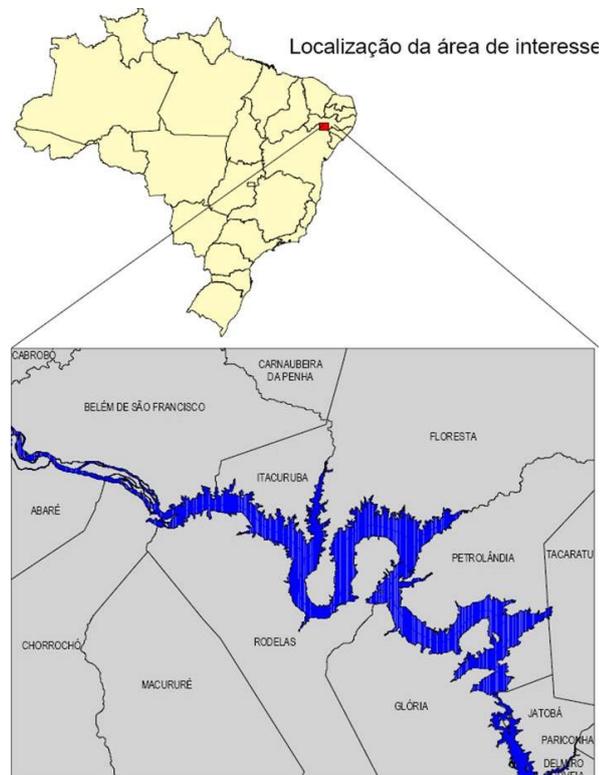
- i) Está localizado na bacia hidrográfica do rio São Francisco, na região semiárida brasileira. Esta região apresenta características que limitam seu potencial produtivo, como a evapotranspiração elevada, ocorrência de secas, solos com pouca profundidade, alta salinidade, baixa fertilidade e capacidade de retenção de água reduzida. Nessa região, que compreende 1.123 municípios, vivem cerca de 18,5 milhões de pessoas, e se encontram os indicadores de índice de desenvolvimento humano (IDH) mais alarmantes do Nordeste do Brasil.
- ii) Apresenta múltiplos usos: (i) geração de energia elétrica; (ii) irrigação; (iii) abastecimento doméstico e industrial; (iv) piscicultura; (v) lançamento de efluentes; (vi) lazer; (vii) navegação, entre outros. Por consequência, ocorrem vários problemas na gestão ambiental de suas águas e seu entorno.
- iii) Possui um acervo de informações ambientais, em sua maioria decorrentes das condicionantes da licença de operação N° 510/2005, emitida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Em geral, essas informações não são analisadas de forma integrada, sendo de grande importância a elaboração de um SIG para subsidiar os gestores ambientais na tomada de decisões;
- iv) Além de ser o ponto de captação da água do rio São Francisco no eixo leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco, no município de Floresta-PE, sendo fundamental assegurar que a água a ser bombeada seja de boa qualidade. O Projeto de Integração do Rio

São Francisco tem como objetivo assegurar a oferta de água, em 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de pequenas, médias e grandes cidades da região semiárida.

Diante do exposto, observa-se que o reservatório de Itaparica é utilizado para os mais diversos usos e está localizado em uma região com escassez de água, sendo um local de importância para implantação de uma ferramenta de gestão ambiental utilizando sistemas de informações geográficas. Para esta pesquisa foi utilizado o software ArcGIS (ESRI), Sistema de projeção UTM (Universal Transverse Mercator) e SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Para a delimitação da área de estudo, o reservatório de Itaparica e os municípios de seu entorno, foi utilizada base cartográfica disponibilizada pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). Também foi usado o levantamento aerofotogramétrico realizado em setembro de 2008, pela TOPOCART. A Figura 3.1 mostra a área de estudo.

Figura 3.1 – Área de estudo

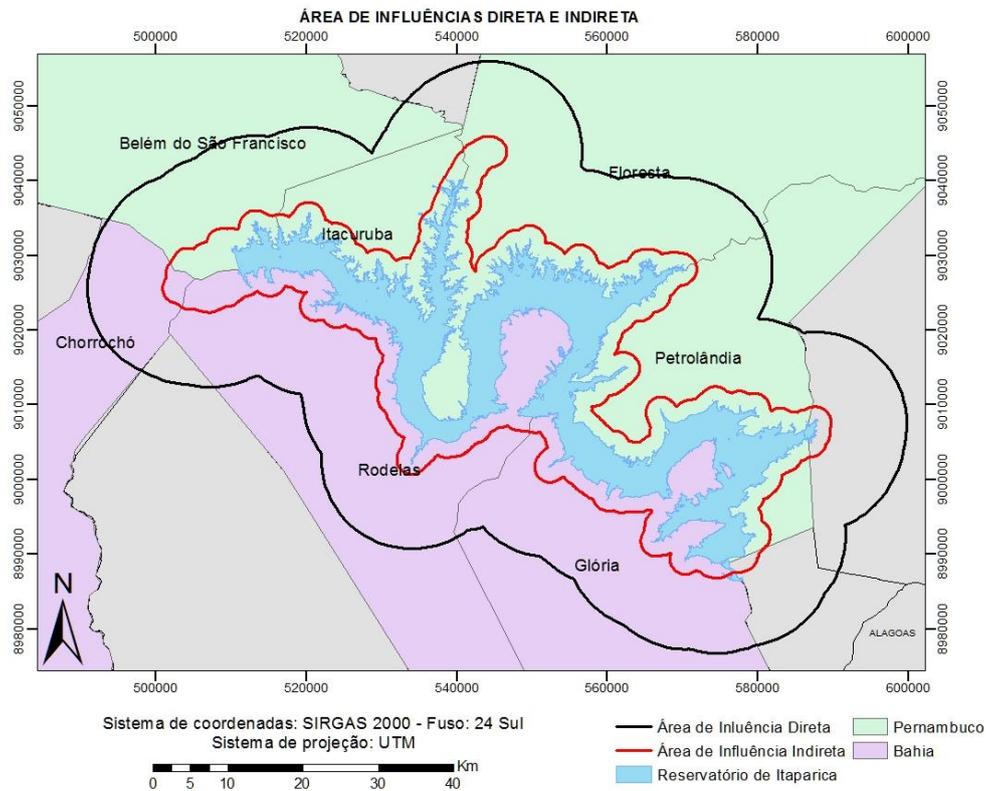


De acordo com a Resolução CONAMA 001/1986, o estudo de impacto ambiental, além de atender a legislação, deverá atender algumas diretrizes gerais como a definição dos limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza.

Dentro desse contexto, foram definidas no Estudo Ambiental de Itaparica (AGAM, 2002) as áreas de influência do empreendimento. A área de influência direta como a faixa contínua de 02 km a partir da borda do lago de Itaparica e a área de influência indireta como a faixa contínua de 10 km a partir do fim da faixa contínua de 02 km definida como área de influência direta, conforme Figura 3.2.

Ao se estabelecer o limite da área de influência indireta da Usina Hidro Elétrica Luiz Gonzaga, levou-se em consideração as ações locais potencialmente impactantes presentes na área de influência direta (02 km a partir da borda do lago) e seu prolongamento ao redor do empreendimento. Assim foram observadas e analisadas as ações que refletissem os impactos de maiores dimensões causados pelo empreendimento, impactos esses que pudessem não só ser visualizados, como também mensurados ambientalmente, economicamente e socialmente dentro dos limites geográficos pré-estabelecidos. Essas áreas são de relevante importância para o processo de licenciamento ambiental e implantação de programas ambientais.

Figura 3.2 – Delimitação das Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII).

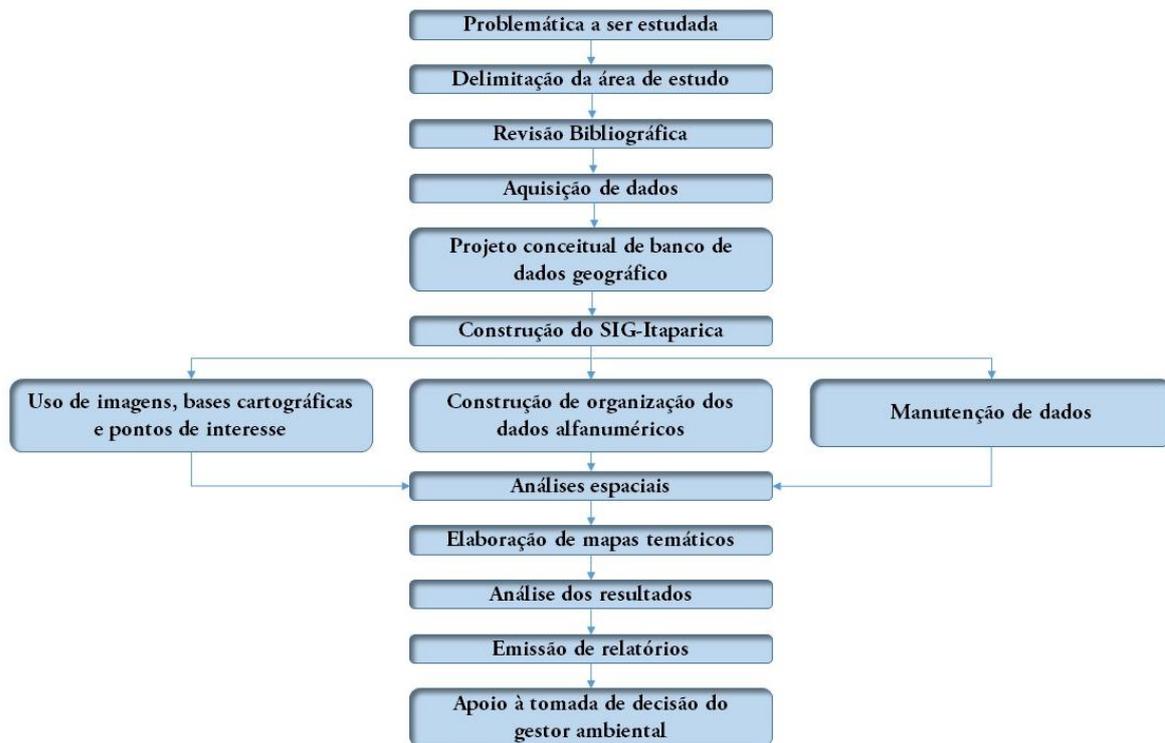


Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa proposta, inicialmente foi definida a problemática a ser estudada e delimitada a área de pesquisa. Em seguida foi necessário adquirir dados espaciais e temporais, cartografados e não cartografados, de diversos tipos, formatos e fontes. Assim, para a construção de um sistema de informações geográficas, elaborou-se um projeto conceitual de banco de dados geográficos, de forma a integrar dados coerentes em um ambiente SIG, facilitando o armazenamento, interpretação e análise dos dados disponíveis. A Figura 3.3 apresenta o fluxograma com as etapas da pesquisa.

Figura 3.3 – Fluxograma com as etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.1 Levantamento bibliográfico, documental, cartográfico e arcabouço legal

Para atingir os objetivos da pesquisa, foi realizado levantamento bibliográfico sobre o assunto em nível nacional e internacional em diversos documentos técnicos como livros, artigos científicos, dissertações, teses entre outros. Essa etapa foi aprofundada durante realização dos Estágios de Doutorado no Instituto da Qualidade da Água, Departamento de Controle da Qualidade da Água da Universidade Técnica de Berlim, em 2007, sob orientação do Prof. Dr. Günter Gunkel, e no Laboratório da Água, do Departamento de Biologia, da Universidade de Évora, sob supervisão da Prof^a Dr^a Manuela Morais.

Paralelamente, foi realizado o levantamento de documentos, relatórios técnicos e material cartográfico junto aos órgãos envolvidos com o tema da pesquisa e do reservatório em estudo junto a diversos órgãos que atuam na região, os quais seguem abaixo:

- Dados censitários (2000) → Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Outorgas de uso da água → Agência Nacional de Águas (ANA);

- Licenças ambientais → Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto de Meio Ambiente da Bahia (INEMA-BA), e Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco (CPRH-PE);
- Dados de Qualidade de Água → CHESF/FADURPE (2010);
- Levantamento aerofotogramétrico do Reservatório de Itaparica → CHESF/TOPOCART (2008);
- Mapas dos projetos de irrigação em dwg → Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF);
- Imagens orbitais → CBERS (novembro de 2005);
- Mapa hidrológico → CODEVASF (Projeto São Francisco, Subprojeto 2.1 – Mapeamento de Uso da terra, Folhas 1:100.000)
- Mapa geológico → DNPM
- Limites municipais
- Vegetação e uso e ocupação → CODEVASF (Projeto São Francisco, Subprojeto 2.1 – Mapeamento de Uso da terra, Folhas 1:100.000)

A coleta de dados em fontes bibliográficas e documentais foi um procedimento utilizado em várias etapas de elaboração da tese, tanto no delineamento da pesquisa, como também fundamentando as análises e discussões.

3.2.2 Coleta de dados primários

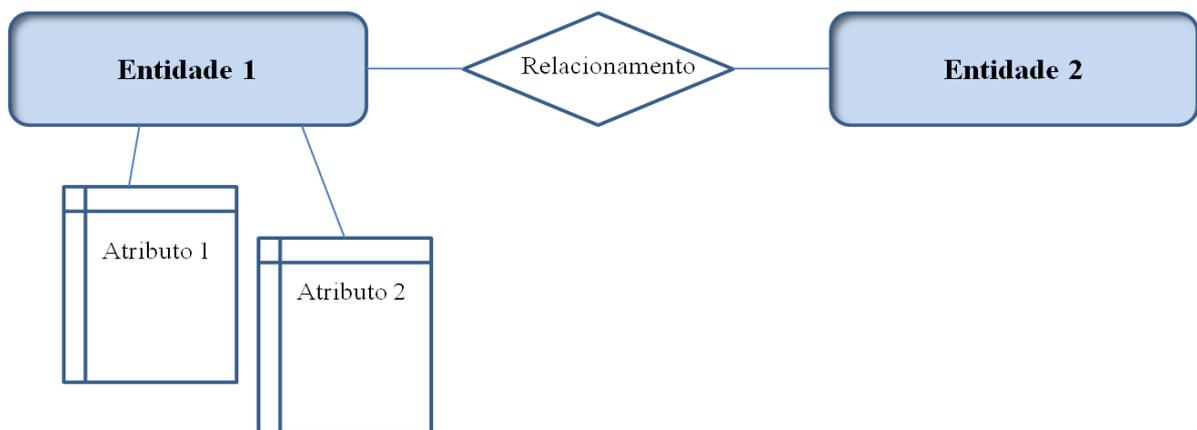
Entre os anos de 2007 e 2010 foram realizadas 8 visitas técnicas em campo, com o objetivo de levantar dados para a elaboração da tese. A primeira foi realizada em julho de 2006 com o objetivo de obter um reconhecimento da área de estudo. Em 2007 foram realizadas 04 (quatro) pesquisas de campo, onde foram visitados diversos pontos de interesse, entre os quais estão os projetos de irrigação localizados ao longo do reservatório de Itaparica (Barreiras Bloco I e II, Icó-Mandantes, Apolônio Sales, Glória, Rodelas). Em 2009 foram realizadas 03 (três) vistorias de campo.

3.2.3 Projeto conceitual de banco de dados geográfico

Essa etapa consistiu na construção do projeto conceitual e lógico do banco de dados geográfico, que deve representar de forma simples, a realidade da área de estudo, apresentando uma descrição dos tipos de informações que serão armazenadas. Para isso foi utilizado o modelo entidade-relacionamento, o qual se resume em três termos: entidade, relacionamento e atributos.

A entidade consiste em tudo aquilo sobre o qual se deseja manter informações e é a representação abstrata de um objeto do mundo real. O relacionamento é uma associação entre duas ou mais entidades e o atributo descreve uma entidade ou relacionamento. A Figura 3.4 mostra um modelo entidade-relacionamento.

Figura 3.4 – Modelo entidade-relacionamento

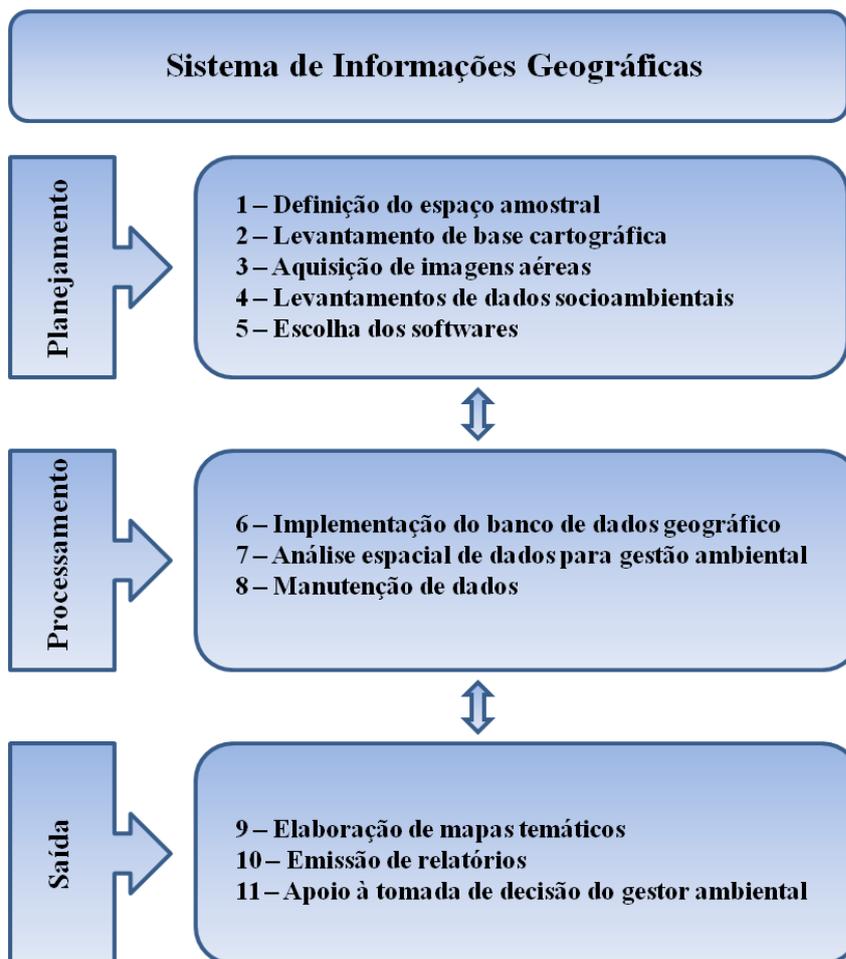


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4 Etapas para construção do Sistema de Informações Geográficas

A proposta de elaboração de uma ferramenta computacional (SIG) para gestão ambiental de reservatórios deve ser muito bem planejada para que atenda às necessidades dos usuários. Para a construção do SIG-Itaparica foram seguidas as seguintes etapas: planejamento, processamento e saída de dados. A Figura 3.5 mostra as atividades desenvolvidas em cada etapa e em seguida uma breve descrição dessas etapas.

Figura 3.5 – Etapas para o desenvolvimento do SIG- Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapa 1 - Definição do espaço amostral - A definição do espaço amostral é um dos primeiros passos para construir o SIG, a partir dessa definição é que se inicia a busca por mapas, cartas temáticas, imagens aéreas, entre outros dados. Por exemplo, esse espaço amostral pode ser a área que sofre influência dos impactos ambientais negativos e positivos.

Etapa 2 – Levantamento de base cartográfica - Para o levantamento da base cartográfica da área a ser estudada, pode-se consultar diversos órgãos brasileiros que disponibilizam esses dados, como: Ministério de Meio Ambiente (MMA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Secretarias Estaduais de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, além, se houver, do próprio levantamento cartográfico do reservatório em estudo.

Etapa 3 – Aquisição de imagens aéreas- Após a definição do espaço amostral do reservatório deve-se procurar adquirir imagens aéreas em resolução compatível com as análises que serão realizadas. Essas imagens podem ser de satélite ou de levantamentos aéreos. Podem ser processadas, visando o realce ou a extração de informações específicas.

Etapa 4 – Levantamento de dados socioambientais - Esta etapa é de fundamental importância, visto que os dados ambientais são um dos principais dados de entrada do SIG, a partir deles é que o gestor poderá realizar análises e obter resultados e cenários. Entre os principais dados socioambientais para a gestão de reservatórios, estão os dados geomorfológicos, pedológicos, pluviométricos, fluviométricos, de qualidade da água e do solo, hidrografia da região, socioeconômicos, uso e ocupação do solo, dados diversos de campo, legislação ambiental, licenças ambientais, outorgas de água, entre outros.

Etapa 5 – Escolha dos softwares que serão utilizados- Quando se fala em SIG, entende-se um sistema computacional composto por um hardware, plataforma computacional, e software, programas e sistemas computacionais, comerciais ou não. Entre os softwares, estão os desenvolvidos pela Clark University (Idrisi), pela Esri (ArcGis), pelo Inpe (Spring) entre outros. A escolha do software vai depender das necessidades do usuário, além da disponibilidade de recursos para aquisição e manutenção. Para esta pesquisa foi utilizado o ArcGis.

Etapa 6 – Implementação do banco de dados geográficos- Todos os dados socioambientais coletados, além dos mapas e imagens aéreas foram inseridos no SIG, conforme o projeto conceitual de banco de dados. A introdução desses dados no sistema é feita de forma direta, em meio digital, de dados alfanuméricos ou espaciais, pré-processados ou não, pela confecção e lançamento de dados em tabelas, pelo uso de sistemas de posicionamento por satélite e pelos processos de digitalização e vetorização.

Etapa 7 – Análise de dados para a gestão ambiental - A partir dos dados socioambientais inseridos no SIG e das bases cartográficas e imagens aéreas iniciam-se as análises integradas desses dados. O SIG é capaz de realizar simultaneamente análises de dados espaciais e seus atributos alfanuméricos. Assim é possível sobrepor diversos dados em uma análise conjunta e obter resultados de interesse para o gestor.

Etapa 8 – Atualização dos dados- A manutenção dos dados é uma atividade de caráter operacional, devendo manter-se atualizada para que o SIG possa atender às expectativas dos usuários. É importante que cada novo evento registrado para o reservatório seja inserido no SIG e novas análises sejam realizadas. No caso de contratação de serviços ambientais, deve-se deixar claro o sistema de projeção e o datum em que os dados devem ser gerados.

Etapa 9 – Elaboração de mapas temáticos- Entre os mapas temáticos que podem ser gerados estão: mapa da área de estudo antes e depois da construção do reservatório, mapa de classificação dos solos, mapa de uso e ocupação do solo, mapas indicando a qualidade da água, buffers do entorno do reservatório para identificação de Áreas de Preservação Permanente, entre outros.

Etapa 10 – Emissão de relatórios- A partir do banco de dados geográfico pode-se emitir relatórios como: qualidade de água, características do reservatório, classificação de solos, entre outros.

Etapa 11 – Apoio à tomada de decisão do gestor ambiental - Através do SIG é possível realizar uma série de análises e consultas para apoiar à tomada de decisão do gestor ambiental.

3.2.5 Análises espaciais

Através do SIG-Itaparica foi possível realizar diferentes análises sobre as evoluções espaciais e temporais de um determinado fenômeno geográfico e suas inter-relações com outros fenômenos atuantes. Dessa forma, para demonstrar a utilidade dessa ferramenta para a gestão ambiental, foi realizado um diagnóstico ambiental do reservatório de Itaparica utilizando as informações disponíveis no SIG-Itaparica. Além disso, foi realizada uma análise mais extensa sobre a qualidade da água do reservatório, por se tratar de um dos parâmetros mais importantes para avaliar a qualidade ambiental de um reservatório.

Entre as ferramentas de análise espacial disponíveis no software ArcGIS que foram utilizadas nesta pesquisa estão: *buffer* (construção de zonas de largura específica ao redor de pontos, linhas ou polígonos); *clip* (recorta arquivos .shp); *extract by mask* (recorta arquivos raster); interpolação (estima distribuição de um fenômeno em locais não amostrados), *overlay* (combinação de um mapa com outro por sobreposição), entre outros.

Com relação à interpolação, foi utilizado o método IDW para estimar superfícies de qualidade de água para o reservatório de Itaparica. Este método foi escolhido, pois se verificou que o mesmo já foi utilizado para outras pesquisas de qualidade de água, e que o método implementa literalmente o conceito de autocorrelação espacial, assumindo que quanto mais próximo estiver um ponto da célula a ser estimada, mas semelhante será o valor dessa célula e desse ponto. A seguir uma descrição dos dados de qualidade de água utilizados nesta pesquisa.

Para o reservatório de Itaparica foi obtido o monitoramento da qualidade da água para o período de dezembro de 2007 a setembro de 2010, com amostras coletadas de 3 em 3 meses, num total de 12 campanhas de coleta para cada ponto estudado. O referido monitoramento foi realizado pela CHESF/FADURPE.

Foram analisados parâmetros limnológicos em amostras de 24 estações de monitoramento, sendo 12 ao longo do reservatório (ITA 01 a ITA 12), 6 localizadas próximas às captações de água para abastecimento público dos municípios localizados no entorno do reservatório (CA 01 a CA 06), bem como 6 localizadas próximos as pisciculturas (PIS 01 a PIS 06). Com relação a óleos e graxas, esses parâmetros foram analisados em 5 pontos, sendo 3 a jusante e 2 a montante da barragem (OG 01 a OG 05). Para finalizar o estudo de qualidade de água, foram estudados 6 pontos (AGRO 01 a AGRO 06) com relação a presença de resíduos de agrotóxicos. Esses dados foram inseridos no SIG-Itaparica, acompanhados de todas as informações correspondentes: identificação e localização do ponto de amostragem, período de coleta e parâmetros de qualidade da água. A Tabela 3.1 apresenta a localização geográfica em UTM/SIRGAS 2000 dos pontos de coleta, bem como a descrição do ponto.

Tabela 3.1 – Localização dos pontos de amostragem – SIRGAS 2000/UTM

Ponto	x	y	Descrição
ITA01	504217	9028176	Cerca de 3,5 km a montante de Belém de São Francisco – PE
ITA02	529991	9023264	Cerca de 3,5 km a montante de Rodelas – BA
ITA03	537712	9025017	Ponto no Rio Pajeú, cerca de 8 km do corpo central
ITA04	534660	9015545	Corpo central, cerca de 5 km da desembocadura do rio Pajeu
ITA05	543383	9013024	Corpo central, 20 km após o ponto de amostragem ITA04
ITA06	549059	9025948	Corpo central, 15 km após o ponto de amostragem ITA05
ITA07	563790	9024986	Meandro, desembocadura do riacho dos Mandantes
ITA08	553128	9012535	Corpo central, próximo a desembocadura do riacho Limão Bravo
ITA09	560239	9001536	Corpo central, cerca de 30 km a jusante de Petrolândia – PE
ITA10	583995	9005441	Ponto de amostragem no meandro da cidade de Petrolândia – PE
ITA11	570986	8995806	Ponto de amostragem no meandro da cidade de Glória – BA
ITA12	575892	8990879	Corpo central, cerca de 1,5 km a montante da barragem
CA 01	503428	9032035	Captação de Belém do São Francisco – PE
CA 02	503809	9027834	Captação de Barra do Tarrachil – BA
CA 03	524745	9023574	Captação de Rodelas – BA
CA 04	532772	9026130	Captação de Itacuruba e Coité – PE
CA 05	549671	9029956	Captação de abastecimento público
CA 06	582781	9006784	Captação de Petrolândia – PE
PIS 01	528084	9026677	Margem esquerda do reservatório, município de Itacuruba – PE
PIS 02	529153	9025797	Margem esquerda do reservatório, município de Itacuruba – PE
PIS 03	577722	9006879	Montante do município de Petrolândia
PIS 04	563146	8998209	Jusante do município de Petrolândia
PIS 05	578631	8999233	Jusante do município de Glória
PIS 06	522367	9030813	Margem esquerda do reservatório, município de Itacuruba – PE
OG 01	577146	8990222	Margem esquerda, 500 m a montante da barragem
OG 02	575892	8990878	Calha central do reservatório, 1,5 km a montante da barragem
OG 03	574694	8989697	Margem direita, 500 metros a montante da barragem
OG 04	576228	8988330	Margem esquerda, cerca de 1 km a jusante da barragem
OG 05	576051	8988120	Margem direita, cerca de 1 km a jusante da barragem
AGRO 01	529991	9023264	Cerca de 3,5 km a montante de Rodelas – BA
AGRO 02	537712	9025017	Ponto no Rio Pajeú, cerca de 8 km do corpo central
AGRO 03	563790	9024986	Meandro, desembocadura do riacho dos Mandantes
AGRO 04	553128	9012535	Corpo central, próximo a desembocadura do riacho Limão Bravo
AGRO 05	583995	9005441	Ponto de amostragem no meandro da cidade de Petrolândia – PE
AGRO 06	570986	8995806	Ponto de amostragem no meandro da cidade de Glória – BA

Fonte: Adaptado de CHESF/FADURPE (2010)

A Figura 3.6 mostra a localização de cada um dos pontos analisados. Além de mostrar a qualidade da água do reservatório de Itaparica, esta análise se propõe a mostrar as funcionalidades de um sistema de informações geográficas na avaliação da qualidade da água.

Dessa forma, o SIG-Itaparica auxiliou esta pesquisa através da realização de estatísticas descritivas, emissão de relatórios mostrando a localização dos parâmetros que se encontram fora do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. Além disso, foi possível gerar superfícies de interpolação, de forma a observar a qualidade da água para todo o reservatório e fazer uma análise com o uso de ocupação do entorno.

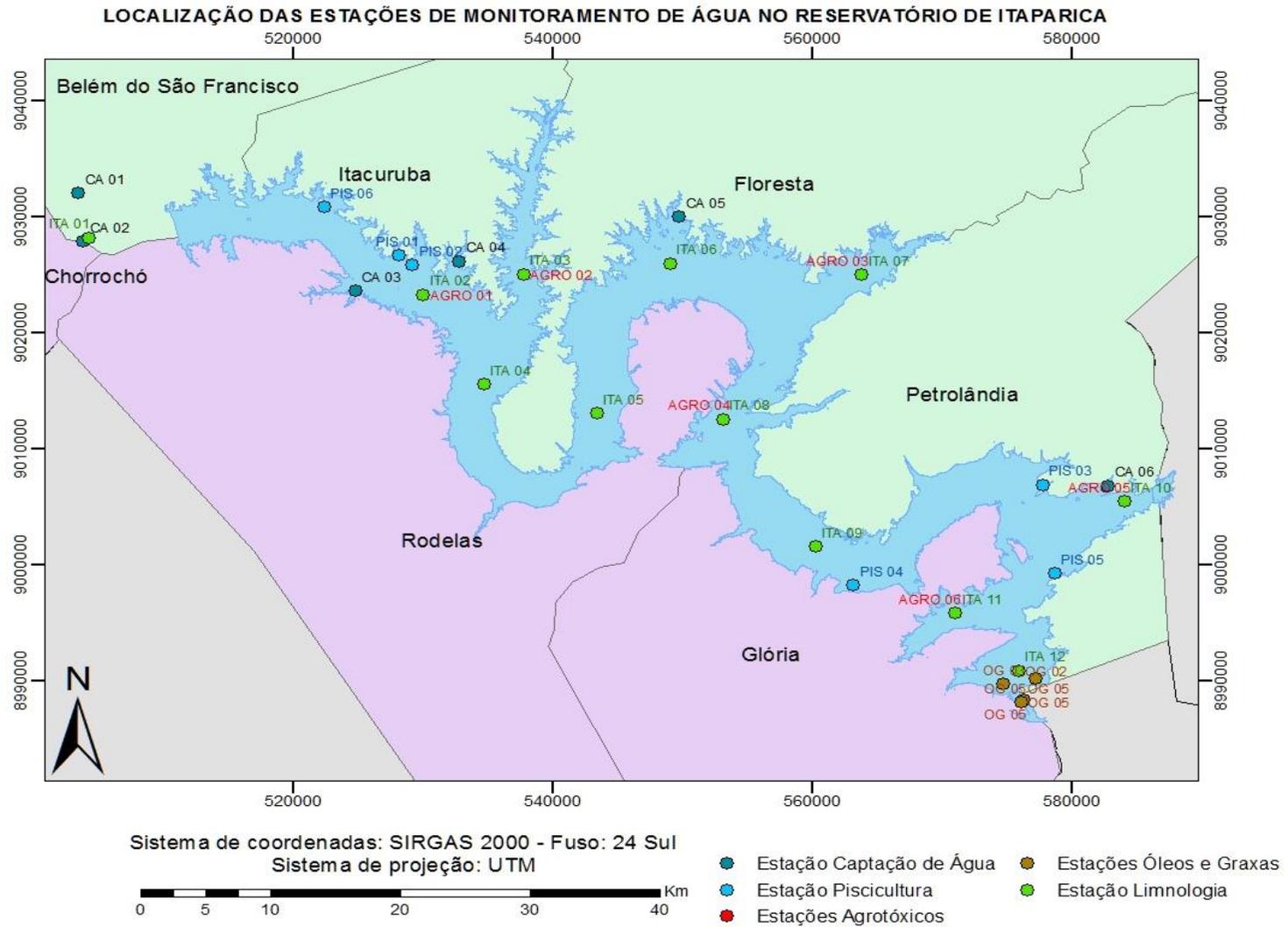
Entre os parâmetros analisados para verificar a qualidade da água bruta, bem como observar o processo de eutrofização do reservatório de Itaparica, estão: pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito e fósforo total. Para complementar a análise foram calculados dois índices de qualidade de água: Índice do Estado Trófico (IET) e Índice da Qualidade de Água de Bascarán (IQA_B), os quais serão detalhados a seguir.

(i) Índice do estado trófico

O Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade de água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas.

Para a presente pesquisa será utilizada a metodologia adotada pela CETESB (2007), a qual utiliza duas variáveis para o cálculo do IET: clorofila – IET (CL) e fósforo total – IET (PT). De acordo com a CETESB (2007), a referida metodologia não utiliza o valor de transparência, pois esses valores muitas vezes não são representativos do estado de trofia, uma vez que a transparência pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos.

Figura 3.6 – Localização dos pontos de amostragem de água para análise de parâmetros físico-químicos do Reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor.

O IET é calculado pelas Equações 1 e 2:

$$IET(CL) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,92 - 0,34 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right) \right) \quad (1)$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \left(1,77 - \frac{0,42 \times (\ln PT)}{\ln 2} \right) \right) \quad (2)$$

Onde:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água em µg/L

CL = concentração de clorofila a medida à superfície da água em µg/L

ln = logaritmo natural (neperiano)

Os resultados correspondentes ao fósforo IET (PT) devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. Já os resultados obtidos para a clorofila IET (CL), devem ser considerados como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando o nível de crescimento de algas. Para os meses em que estejam disponíveis dados de ambas variáveis, o resultado apresentado para o IET será a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila a, conforme a Equação 3.

$$IET = [IET (PT) + IET (CL)] / 2 \quad (3)$$

ii) Índice de qualidade de água de Bascarán

Para avaliar a qualidade da água bruta, foi escolhido o Índice de Qualidade de Água de Bascarán (IQ_{AB}), o qual é considerado bastante flexível, pois permite a introdução ou exclusão de variáveis de acordo com as necessidades ou limitações para obtenção de dados (RIZZI, 2001). O índice calculado representa um valor final (que varia de 0 a 100), que depende de um conjunto de variáveis e da sistemática de atribuição de valores, de caráter subjetivo (atribuição de pesos). A equação 4 expressa o IQ_{AB}:

$$IQ_{AB} = k \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4)$$

Onde:

k = constante de ajuste em função do aspecto visual das águas (Tabela 3.2)

C_i = valor percentual correspondente ao parâmetro i, definido conforme Tabela 3.3;

P_i = peso correspondente a cada parâmetro.

Tabela 3.2 – Definição da constante k de acordo com o aspecto visual das águas

Constante k	Descrição das águas
1,00	Águas claras sem aparente contaminação
0,75	Águas com ligeira cor, espuma, ligeira turbidez aparente ou natural
0,50	Águas com aparência de estarem contaminadas e com forte odor
0,25	Águas negras que apresentam fermentação e odores

Fonte: Adaptado de RIZZI, 2001.

A Tabela 3.3 apresenta os parâmetros utilizados para obter o IQA_B para o reservatório de Itaparica, bem como os pesos e valores analíticos de referência. Apresenta ainda o valor percentual do índice o aspecto aparente (qualidade) correspondente. Para a presente pesquisa foi adotado $k = 0,75$.

Tabela 3.3 – Parâmetros utilizados no cálculo do IQA_B com peso correspondente (P_i) e valor percentual (C_i)

Parâmetro	pH	OD (mgL ⁻¹)	Condutividade (µhos/cm)	Turbidez (UNT)	Fósforo Total (mg L ⁻¹)	Nitrogênio Amoniacal (mg L ⁻¹)	Aspecto aparente (qualidade)	Valor Percentual (C _i)
Peso (P _i)	1	4	4	2	2	3		%
Valor analítico do parâmetro	1	0	>16.000	>400	>1	>1,25	Péssimo	0
	2	1	12.000	250	0,50	1,00	Muito Ruim	10
	3	2	8.000	180	0,25	0,75	Ruim	20
	4	3	5.000	100	0,20	0,50	Desagradável	30
	5	3,5	3.000	50	0,15	0,40	Impróprio	40
	6	4	2.500	20	0,10	0,30	Normal	50
	6,5	5	2.000	18	0,05	0,20	Aceitável	60
	9	6	1.500	15	0,025	0,10	Agradável	70
	8,5	6,5	1.250	10	0,010	0,05	Bom	80
	8	7	1.000	8	0,005	0,03	Muito Bom	90
7	7,5	<750	<5	0	0	Excelente	100	

Parâmetro	Nitrato (mgL ⁻¹)	Nitrito (mgL ⁻¹)	Cloretos (mgL ⁻¹)	Dureza ou Alcalinidade (mgL ⁻¹)	Calcio (mgL ⁻¹)	Magnésio (mgL ⁻¹)	Aspecto aparente (qualidade)	Valor Percentual (C _i)
Peso (P _i)	2	2	1	1	2	3		%
Valor analítico do parâmetro	>100	>1	>1.500	>1.500	>1.000	>500	Péssimo	0
	50	0,50	1.000	1.000	600	300	Muito Ruim	10
	20	0,25	700	800	500	250	Ruim	20
	15	0,20	500	600	400	200	Desagradável	30
	10	0,15	300	500	300	150	Impróprio	40
	8	0,10	200	400	200	100	Normal	50
	6	0,05	150	300	150	75	Aceitável	60
	4	0,025	100	200	100	50	Agradável	70
	2	0,010	50	100	50	25	Bom	80
	1	0,005	25	50	25	15	Muito Bom	90
0	0	0	<25	<10	<10	<10	Excelente	100

Adaptado de RIZZI, 2001.

3.2.6 Aplicações de Sistemas de Apoio à Decisão Espacial

Para exemplificar a utilização de sistemas de informações geográficas como apoio à tomada de decisão dos gestores ambientais, utilizou-se o tema aquicultura. Para isso, inicialmente foi mapeada a situação atual através de visitas em campo e imagens aéreas, obtendo-se o mapa da situação atual.

O Ministério da Pesca, órgão competente em autorizar a instalação de atividades de pesca no Brasil, disponibiliza, em sua página virtual, arquivo contendo informações dos projetos aprovados e em análise para todo o País. Dessa forma, para a criação de possíveis cenários futuros, foi utilizada a base de dados deste Ministério, a qual é visualizada através do Google Earth (arquivos kml e kmz). Inicialmente esses arquivos foram convertidos para arquivo *shapefile* (.shp) para que pudessem ser trabalhados no SIG-Itaparica elaborado para esta pesquisa.

Após a importação do arquivo *shapefile* pelo SIG-Itaparica, foi dado um recorte (ferramenta *clip* do ArcGIS) para que ficasse disponível apenas a base de dados para o reservatório Itaparica.

Dessa forma, foram criados 3 cenários:

- Cenário 1: situação atual em 2010;
- Cenário 2: situação atual + projetos já aprovados pelo Ministério da Pesca até o ano de 2010 e ainda não implantados;
- Cenário 3: situação atual + projetos já aprovados pelo Ministério da Pesca até o ano de 2010 e ainda não implantados + projetos em análise pelo Ministério da Pesca e outros órgãos.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente capítulo apresenta a caracterização do reservatório de Itaparica, área de estudo desta tese. Para efeito de localização geográfica, inicialmente será apresentado o rio São Francisco e os principais reservatórios nele inseridos. Em seguida serão destacadas as principais características da área de influência do reservatório em estudo.

4.10 RIO SÃO FRANCISCO E O SISTEMA HIDRELÉTRICO

A Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, instituída através da Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, possui uma área de drenagem de 638.576 km² (7,5% do território nacional), sendo 85% nos estados de Minas Gerais e Bahia; 14% nos estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe e 1% nos estados de Goiás e Distrito Federal. Existem 503 municípios inseridos nessa bacia. O Rio São Francisco nasce em Minas Gerais, na Serra da Canastra, e segue em sentido sul-norte pela Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para sudeste e chega a sua foz, no Oceano Atlântico, entre Alagoas e Sergipe, percorrendo 2.863 km de extensão. A Tabela 4.1 mostra a participação das unidades da federação.

Tabela 4.1 – Participação das unidades da federação na bacia

Unidade da Federação	População			Área		Municípios	
	Urbana	Rural	Total	Km ²	%	Nº	%
Minas Gerais	6.755.036	847.369	7.602.405	235.635	36,9	239	47,5
Goiás	74.185	4.804	78.989	3.193	0,5	3	0,6
Distrito Federal	-	20.826	20.826	1.277	0,2	-	0,2
Bahia	1.134.958	1.149.670	2.284.628	307.794	48,2	114	22,7
Pernambuco	898.030	742.014	1.640.044	68.966	10,8	69	13,7
Alagoas	457.211	465.685	922.896	14.687	2,3	50	9,7
Sergipe	115.954	130.340	246.294	7.024	1,1	28	5,6
Total	9.435.374	3.360.708	12.796.082	638.576	100	503	100

Fonte: IBGE (2000)

A região hidrográfica do São Francisco engloba uma parte da região semiárida, a qual se caracteriza por longos períodos de estiagens, apresenta índices de evapotranspiração superior aos índices pluviométricos (média de 900 mm anuais), além de temperaturas elevadas durante todo o ano, baixas amplitudes térmicas e forte insolação, desempenhando importante papel para o abastecimento de água da região.

Devido à sua extensão e diferentes ambientes percorridos, a Bacia está dividida em 4 regiões fisiográficas (Figura 4.1), conforme definido pela ANA (2003a):

- Alto São Francisco - abrange o trecho que vai da nascente até a confluência com o rio Jequitaiá no Estado de Minas Gerais;
- Médio São Francisco - vai da confluência com o Jequitaiá até o eixo da barragem de Sobradinho, no Estado da Bahia;
- Submédio São Francisco - se estende dessa referência até Belo Monte no Estado de Alagoas;
- e
- Baixo São Francisco - vai de Belo Monte até sua foz no Oceano Atlântico, que ocorre entre os Estados de Sergipe e Alagoas.

Figura 4.1 - Divisão da bacia em regiões fisiográficas



Fonte: ANA (2003a)

As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam algumas características hidroclimáticas e físicas das regiões fisiográficas da Bacia do rio São Francisco.

Tabela 4.2 – Principais características hidroclimáticas da bacia hidrográfica do rio São Francisco

Característica	Regiões Fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Clima Predominante	Tropical úmido e temperado de altitude	Tropical semiárido e submédio seco	Semiárido e árido	Submédio
Precipitação média anual (mm)	2.000 a 1.100 (1.372)	1.400 a 600 (1.052)	800 a 350 (693)	350 a 1.500 (957)
Temperatura média (°C)	23	24	27	25
Insolação média anual (h)	2.400	2.600 a 3.300	2.800	2.800
Evapotranspiração média anual (mm)	1.000	1.300	1.550	1.500

Fonte: ANA (2004)

Tabela 4.3 – Principais características físicas da bacia hidrográfica do rio São Francisco

Característica	Regiões Fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Área (km ²)	100.076 (16%)	402.531 (63%)	110.446 (17%)	25.523 (4%)
Altitudes (m)	1.600 a 600	1.400 a 500	800 a 200	480 a 0
Trecho principal (km)	702	1.230	550	214
Declividade do rio principal (m/km)	0,70 a 0,20	0,10	0,10 a 3,10	0,10
Contribuição da vazão natural média (%)	42,0	53,0	4,0	1,0
Vazão média anual máxima (m ³ /s)	Pirapora 1.303 em fevereiro	Juazeiro 4.393 em fevereiro	Pão de Açúcar 4.660 em fevereiro	Foz 4.999 em março
Vazão média anual mínima (m ³ /s)	Pirapora 637 em agosto	Juazeiro 1.419 em setembro	Pão de Açúcar 1.507 em setembro	Foz 1.461 em setembro
Sedimentos (10 ⁶ t/ano) e área (km ²)	Pirapora 8,3 (61.880)	Morpará 21,5 (344.800)	Juazeiro 12,9 (510.800)	Própria 0,41 (620.170)

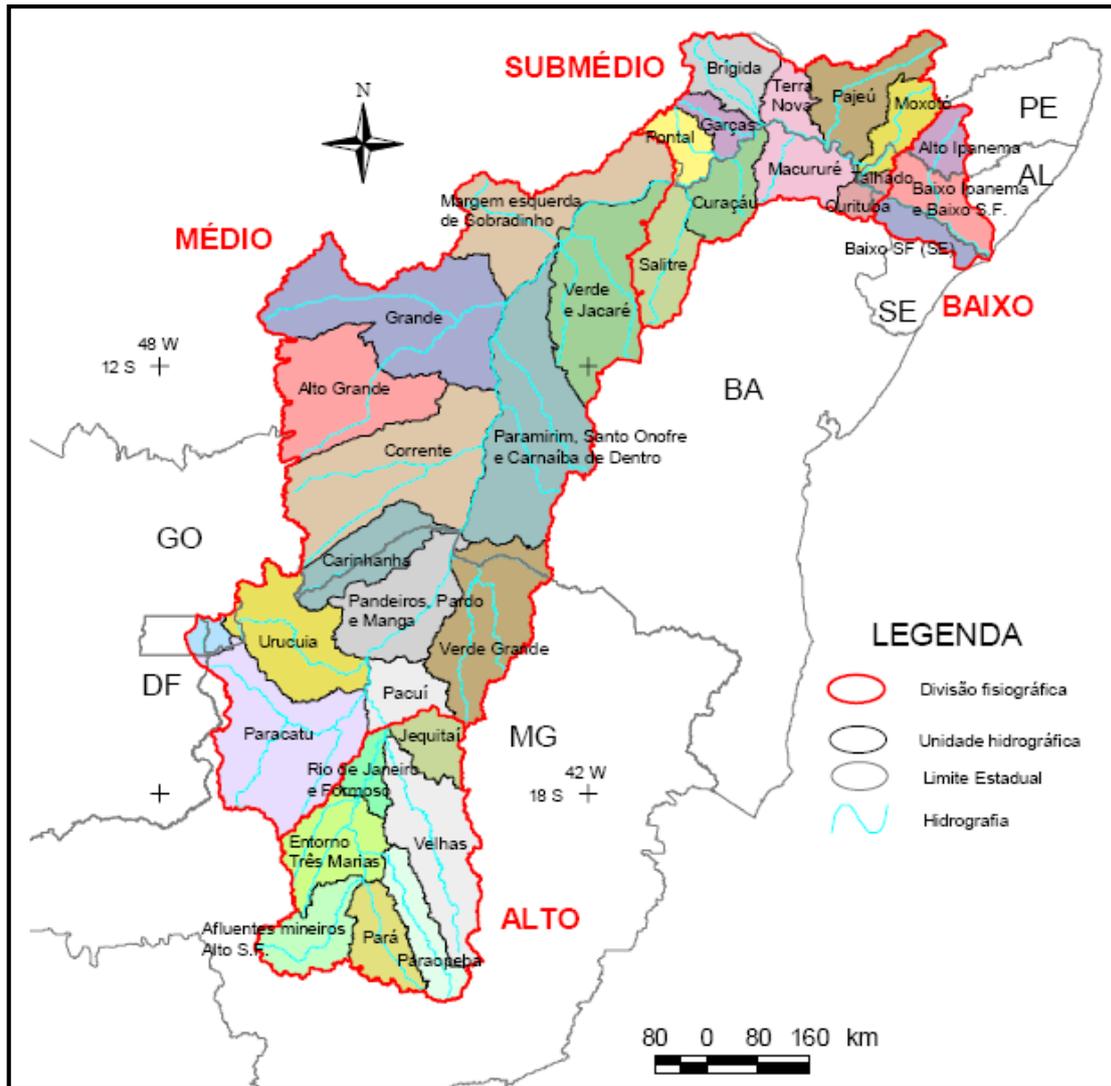
Fonte: ANA (2004).

A topografia do Submédio São Francisco é ondulada, com vales muito abertos e altitudes entre 200 e 800 metros. A caatinga predomina em praticamente toda a região, que tem baixa pluviosidade e temperatura média anual de 27°C, permitindo caracterizá-la como tipicamente semiárida. As principais cidades são: Juazeiro e Paulo Afonso, na Bahia; e Petrolina, Ouricuri e Serra Talhada, em Pernambuco. A região semiárida no Sertão do Nordeste do Brasil é coberta pelo bioma brasileiro típico da Caatinga, que compreende uma vegetação sazonal decídua, com uma combinação anual de gramas e de arbustos.

O Rio São Francisco possui 36 afluentes de porte significativo, dos quais apenas 19 são perenes. Os principais tributários são, pela margem direita, os rios Paraopeba, das Velhas, Jequitá e Verde Grande e, pela margem esquerda, os rios Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e

Grande. Em geral, os afluentes da margem direita, que nascem em terrenos cristalinos, possuem águas mais claras, enquanto os da margem esquerda, vindos de terrenos sedimentares, são mais barrentos. Para fins de planejamento e elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos a ANA/SPR dividiu essas 4 (quatro) regiões em 34 (trinta e quatro) sub-bacias, como mostrado na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

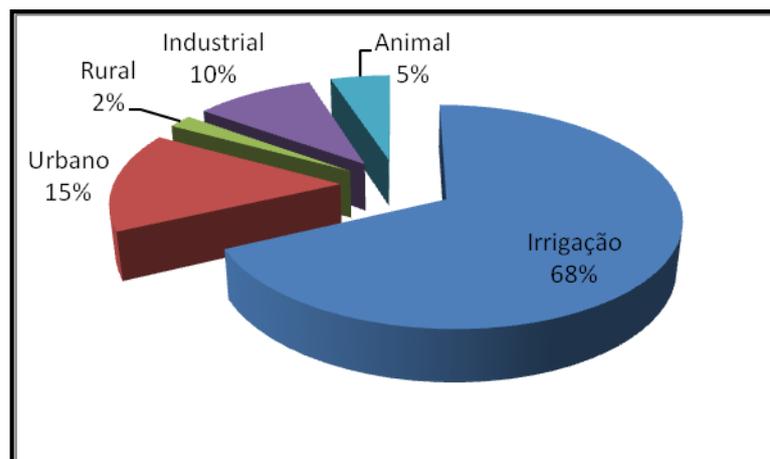


Fonte: ANA (2004)

A densidade demográfica da bacia é de 21,1 hab/km², sendo a maior parte dessa população urbana, cerca de 75%. A vazão média da região hidrográfica do São Francisco é de 2.846 m³/s, correspondendo a 1,6% da vazão média no país. A sua disponibilidade hídrica, levando-se em conta a vazão regularizada pelos reservatórios da região, é de 1.886 m³/s, ou seja 2,1% da disponibilidade hídrica nacional. A demanda na bacia do São Francisco de vazão retirada é de

180,8 m³/s em seus vários usos, representando cerca de 6% de sua vazão média, só a irrigação demanda 123,3 m³/s, isso devido aos principais pólos de irrigação que são Barreiras, com a produção de soja, e Petrolina e Juazeiro, com os perímetros irrigados para fruticultura, incluindo a vitivinicultura, em seguida vem as demandas urbanas, industrial, animal e rural, conforme Figura 4.3 (ANA, 2009).

Figura 4.3 – Demandas consuntivas na região hidrográfica do rio São Francisco



Fonte: ANA, 2009

A região hidrográfica do São Francisco possuía, até o final de dezembro/2007, uma vazão outorgada total de 785,7 m³/s, num total de 10.857 outorgas emitidas, sendo 80% destinada à irrigação. A região hidrográfica do São Francisco é a segunda região que possui maior vazão outorgada, correspondendo a 22% do total outorgado no país (ANA, 2009).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco apresenta conflitos de uso da água, já que entre os principais setores usuários da bacia estão: saneamento, irrigação, navegação e geração de energia elétrica.

Conforme ANA (2009), essa região hidrográfica (RH) apresenta bons índices de atendimento urbano de água, com 96,2%, da população atendida, índice este maior que a média brasileira que é de 89,4%, sendo que a região é a terceira com melhores índices, logo após a RH Atlântico Leste e a RH do Paraguai. Quanto ao atendimento de rede de esgotos, a RH do São Francisco também apresenta bom índice de atendimento de rede coletora de esgotos, com 50,8% de sua população urbana atendida, maior que a média nacional que é de 47,4%.

O esgotamento sanitário das cidades ribeirinhas começa a saturar a capacidade diluidora dos rios. Grandes obras foram sendo executadas, a agricultura cresceu e devastou milhares de hectares da vegetação original. Hoje, cerca de 84.000 km² da bacia estão fortemente erodidos e 28.000 toneladas de sedimentos são depositados anualmente em seu leito. Ainda pode-se citar como problemas ambientais a devastação das matas ciliares, provocando erosão e alterando os refúgios para a reprodução das espécies aquáticas (ANA, 2003b).

A área irrigada da região do São Francisco, tomando-se como referência o ano de 2006, é de 513.599 hectares, correspondendo a 11% dos 4,6 milhões de hectares irrigados no Brasil. Destacam-se as cidades de Juazeiro e Petrolina (perímetros irrigados para fruticultura) e o Pólo de Barreiras (soja) como principais áreas de irrigação da região (ANA, 2009). A CODEVASF considera para a agricultura uma taxa de crescimento de 8.000 ha/ano e uma estimativa de consumo de água de 0,58l/s/ha.

A Hidrovia do São Francisco apresenta dois trechos navegáveis: o baixo São Francisco, com 208km, entre a sua foz e a cidade de Piranhas (AL), e o médio, com cerca de 1.370km de extensão, entre a cidade de Pirapora (MG) e as cidades de Juazeiro (BA) e Petrolina(PE). O rio Grande é navegável em cerca de 350 km entre sua foz, na margem esquerda do São Francisco, e a cidade de Barreiras (BA). O rio Correntes, afluente da margem direita do São Francisco, é navegável por cerca de 110 km entre a sua foz e a cidade de Santa Maria da Vitória (BA). Também podem ser navegáveis durante parte do ano, no período de águas médias e altas, os baixos cursos do rio Paracatu (por 100km), do rio Caririnha (80km) e do rio das Velhas (90km), de sua foz até a cidade de Várzea da Palma (MG) (ANA, 2009).

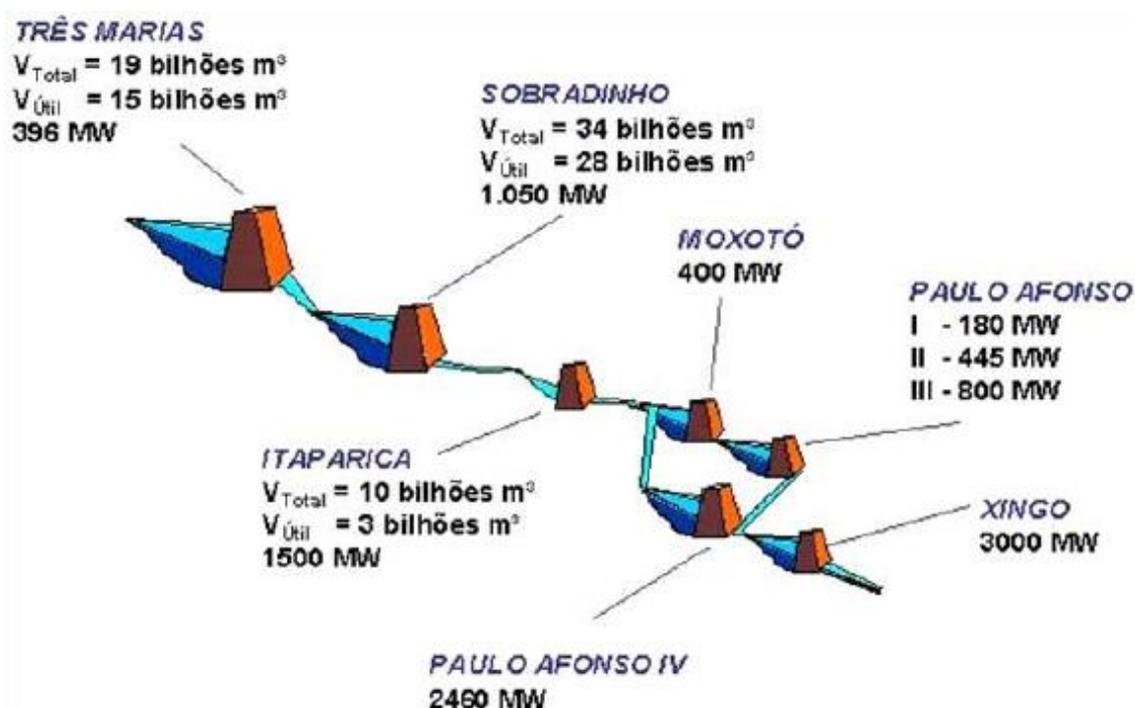
Devido ao seu grande potencial de geração de energia elétrica, a Bacia do rio São Francisco possui 06 grandes reservatórios de usos múltiplos construídos com o objetivo principal de geração de energia elétrica. A operação dos reservatórios é realizada pelos agentes geradores (CHESF e CEMIG) e pelo ONS – Operador Nacional de Sistemas. A Tabela 4.4 mostra informações sobre os reservatórios hidrelétricos da Bacia do São Francisco e a Figura 4.4 mostra a localização.

Tabela 4.4 – Reservatórios para geração de energia elétrica na Bacia do Rio São Francisco

Aproveitamento	Empresa	Dist. Até a foz (km)	Dist. Entre Usinas (km)	Área de Drenagem (Km ²)	A. drenagem incremental (hm ³)	Volume útil (hm ³)	Potência Instalada (MW)
Três Marias	CEMIG	2280		50560	50560	15278	396
Sobradinho	CHESF	800	1420	498425	447865	28669	1050
Itaparica	CHESF	310	490	587000	88575	3548	1500
Moxotó	CHESF	270	40	599200	12200	226	400
Paulo Afonso 1, 2 e 3	CHESF	270	0	599200	0	90	1423
Paulo Afonso 4	CHESF	270	0	599200	0	30	2460
Xingó	CHESF	210	60	608700	9500	5	3000

Fonte: ANA (2004)

Figura 4.4 - Localização dos reservatórios e das UHE no rio São Francisco



Fonte: ANA (2004)

O Reservatório de Sobradinho (Fotografia 4.1) está localizado no Médio São Francisco, no município de Sobradinho, tem capacidade para armazenar 34 bilhões de metros cúbicos e gerar 1.050 MW de energia elétrica. A Usina está posicionada no rio São Francisco a 748 km de sua foz, possuindo, além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região.

O Reservatório de Itaparica (Fotografia 4.2) está localizado a 50 km a montante do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso na região do Submédio São Francisco. Além da função de geração de energia elétrica, possui a de regularização das vazões afluentes diárias e semanais daquelas

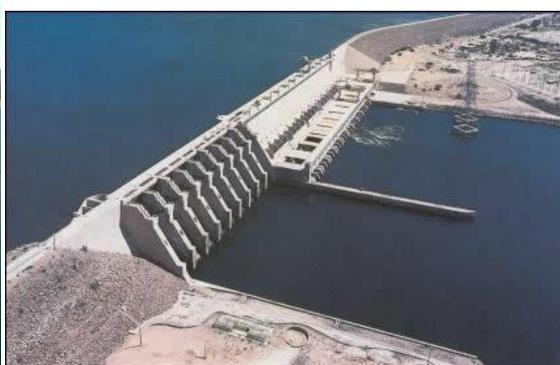
usinas. Na Usina estão instaladas 6 unidades com potência unitária de 246.600kW, totalizando 1.479.600 KW.

Fotografia 4.1 – UHE Sobradinho



Fonte: Arquivo CHESF

Fotografia 4.2 – UHE Itaparica

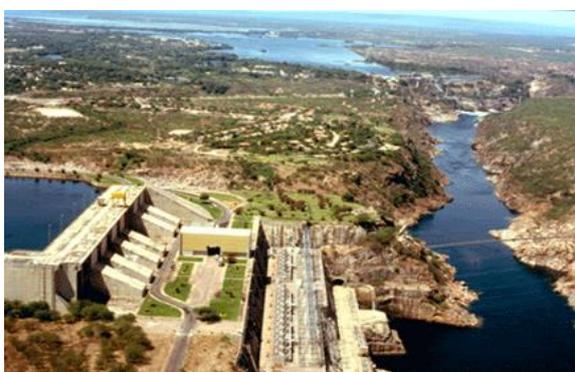


Fonte: Arquivo CHESF

O Complexo Paulo Afonso é constituído 5 (cinco) usinas: Paulo Afonso I, II, III e IV e Moxotó. A Fotografia 4.3 mostra a Usina Paulo Afonso IV. Essas usinas geram 4.283.000 KW.

O aproveitamento hidrelétrico de Xingó (Fotografia 4.4) está localizado entre os estados de Alagoas e Sergipe, situando-se a 12 km do município de Piranhas/AL e a 6 km do município de Canindé do São Francisco/SE. A usina geradora é composta por 6 unidades com 527.000 KW de potência nominal unitária, totalizando 3.162.000 KW de potência instalada, havendo previsão para mais quatro unidades idênticas numa segunda etapa.

Fotografia 4.3 – UHE Paulo Afonso IV



Fonte: Arquivo CHESF

Fotografia 4.4 – UHE Xingó



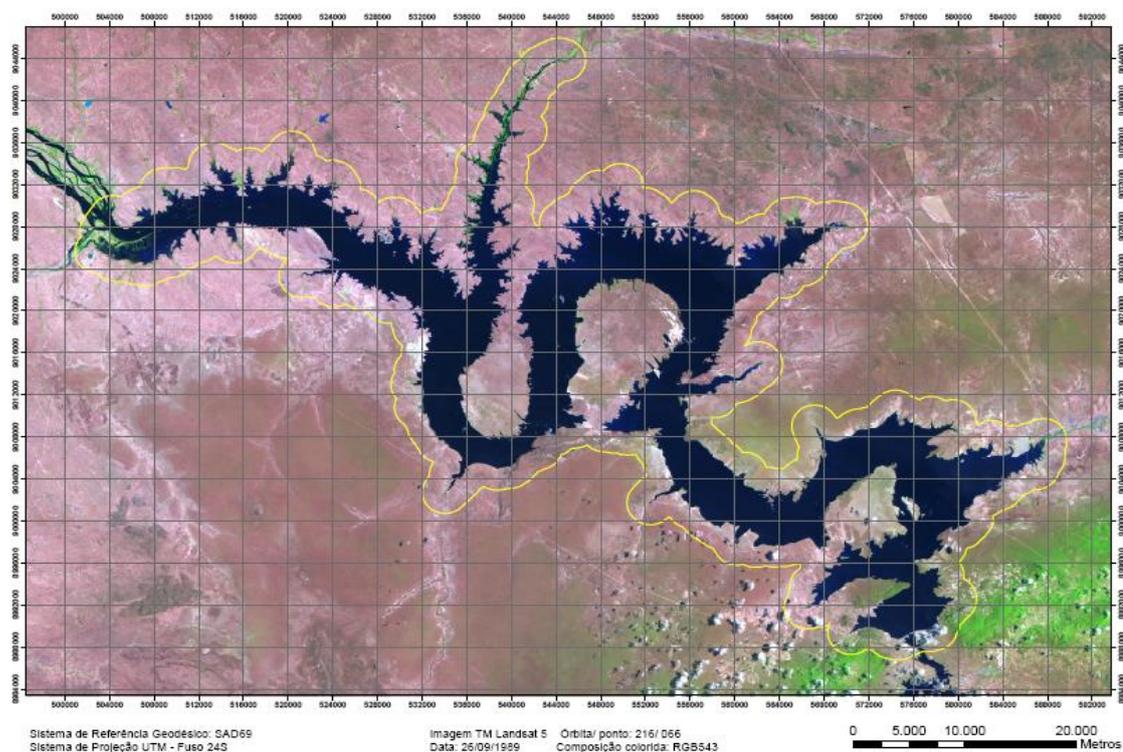
Fonte: Arquivo CHESF

4.2 RESERVATÓRIO DE ITAPARICA E SUA ÁREA DE INFLUÊNCIA

O Reservatório da UHE Luiz Gonzaga, também chamado de Itaparica, está localizado na região do submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco, entre as coordenadas 8°00' e 9°30' de latitude sul e 38°00' e 39°00' de longitude W de Greenwich. Com área de 828 km² e comprimento de 149 km, conforme mostra a Figura 4.5.

Construído em 1988 com o objetivo principal de geração de energia elétrica, o reservatório possui uma capacidade de armazenamento da ordem de 11 bilhões de metros cúbicos de água. Sua construção atingiu parcelas dos municípios de Abaré, Chorrochó, Glória e Rodelas, na Bahia, e Belém de São Francisco, Floresta, Itacuruba e Petrolândia, no estado de Pernambuco, ocasionando a remoção de aproximadamente 10.000 famílias. Dentre estes municípios, Itacuruba, Petrolândia e Rodelas tiveram suas sedes inundadas pelo reservatório.

Figura 4.5 – Reservatório Luiz Gonzaga (Itaparica)



Fonte: CHESF/FADE (2009)

As sedes municipais foram reconstruídas em outros locais e as famílias que trabalhavam com agricultura nas margens do rio São Francisco foram recompensadas com a implantação de projetos de irrigação, sendo 4 na Bahia (Rodelas, Pedra Branca, Glória e Jusante) e 7 em

Pernambuco (Apolônio Sales, Icó-Mandantes, Barreiras Blocos 1 e 2, Brígida, Caraíbas e Manga de Baixo). As principais atividades econômicas da região são: agricultura irrigada e agricultura de sequeiro, e em menor escala pesca, aquicultura, lazer, turismo entre outros. A Figura 4.6 mostra a localização dos projetos de irrigação e a Tabela 4.5 apresenta as principais características desses projetos.

Tabela 4.5 – Principais características dos projetos de irrigação localizados ao longo do reservatório de Itaparica

Projeto	Município	Estado	Área total (ha)	Área irrigável (ha)
Apolônio Sales	Petrolândia	PE	3.506,00	829,00
Icó-Mandantes	Petrolândia		22.881,00	2.393,00
Barreiras Bl. 1 e 2	Petrolândia/ Tacaratu		11.974,00	2.639,95
Brígida	Orocó		8.685,00	1.579,05
Fulgêncio	Santa Maria da Boa Vista		33.438,00	5.413,33
Manga de Baixo	Belém do São Francisco		625,00	93,00
Glória	Glória	BA		422,25
Jusante	Glória		6.255,97	836,00
Rodelas	Rodelas		14.074,00	1.331,55
Pedra Branca	Curaçá/Abaré		14.185,39	2.742,3

Os projetos de irrigação, exceto Brígida, Fulgêncio, Pedra Branca e Jusante, tem a captação de água no reservatório de Itaparica.

O aproveitamento hidrelétrico de Itaparica, com potência projetada de 2.500 MW, dos quais 1.500 MW já estão em operação, consiste de uma barragem de seção mista terra enrocamento, com uma extensão total de 4.731 metros, altura máxima de 105 metros e queda de geração de energia elétrica de 50,8 metros. A Tabela 4.6 apresenta algumas características da UHE Luiz Gonzaga (Itaparica) e a Fotografia 4.5 mostra parte do reservatório e a usina hidrelétrica.

Tabela 4.6 - Características do aproveitamento hidrelétrico de Itaparica

Níveis d'água	
Nível máximo maximorum	305,40 m
Nível máximo operativo normal	304,00 m
Nível mínimo operativo normal	299,00 m
Volume do reservatório (na cota 304 m)	10,7 x 10 ⁹ m ³
Área do reservatório (na cota 304 m)	835 km ²
Enchentes	
de projeto (afluentes)	28.850 m ³ /s
de desvio (20 anos)	10.450 m ³ /s
de fechamento	2.060 m ³ /s
Dados de geração	
Tipo de turbina	FRANCIS
Nº. de unidades (incluindo as 4 unidades de ponta)	10
Potência contínua disponível	890 MW.ano
Capacidade total	2.500 MW

Fonte: CHESF (2010)

Fotografia 4.5 – Reservatório e UHE Luiz Gonzaga



Fonte: Arquivo CHESF

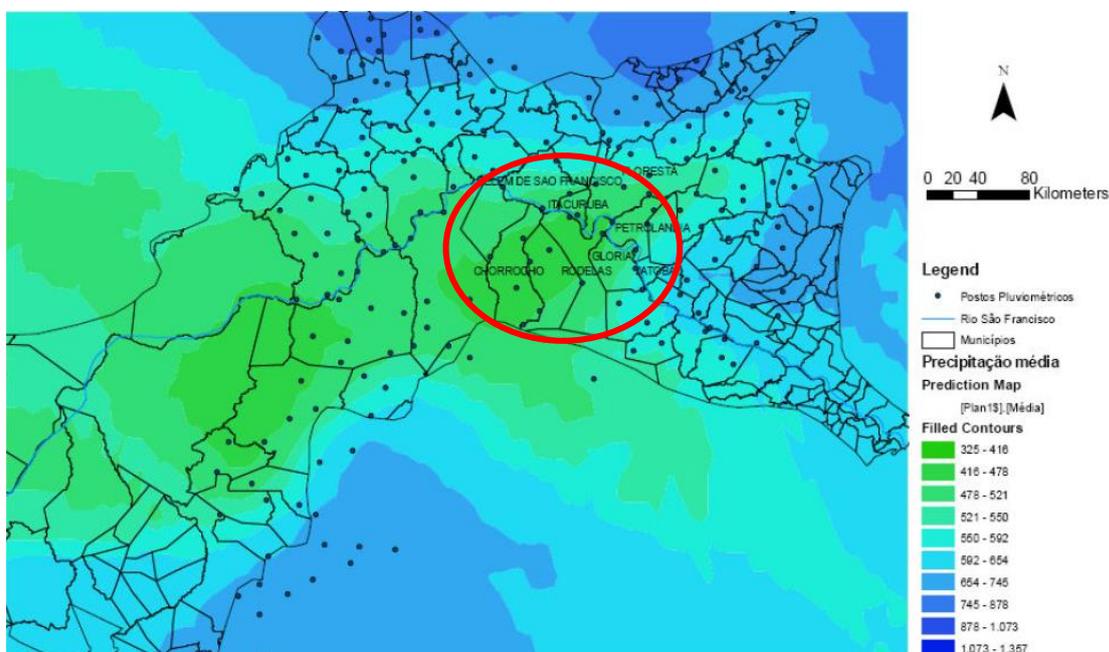
4.2.1 Caracterização ambiental

4.2.1.1 Meio físico

i) Clima

De acordo com a classificação de Koeppen, o clima da área onde está inserido o reservatório Itaparica é considerado “clima semiárido de estepes Bshw”, o qual se caracteriza pela alta evaporação, totais pluviométricos anuais quase sempre inferiores a 500 mm e temperaturas médias anuais superiores a 20°C. A região apresenta um clima caracterizado por uma curta estação chuvosa no verão e responsável pelos efeitos das secas, consequência da diminuição das precipitações da massa de ar Equatorial Continental (EC). A estação chuvosa ocorre de dezembro a abril, sendo janeiro, fevereiro e março o trimestre mais chuvoso. A temperatura média é superior a 20° C em todos os meses. A Figura 4.7 mostra a variação da precipitação para a região do reservatório de Itaparica, os dados foram obtidos de SUDENE (1990).

Figura 4.7 – Precipitação média da região do reservatório de Itaparica



Fonte: SUDENE (1990)

ii) Geologia

A região do entorno da barragem de Itaparica, encontra-se na borda oriental da Bacia Sedimentar de Tucano-Jatobá. Caracteriza-se por apresentar extensos vales com encostas suaves e meandros. Encontra-se situada na porção centro sul do Estado de Pernambuco incluindo parte dos municípios de Petrolândia, Inajá, Buíque, Ibimirim, etc., com extensão máxima de 155 km e largura de 15 km, cobrindo uma área de 6.200 km² (AGAM, 2002).

A jusante da Bacia Sedimentar de Tucano-Jatobá é constituída por granitos e migmatitos do embasamento cristalino e a montante pelo mesmo embasamento sobrejacente pelos arenitos e demais rochas sedimentares da cobertura Paleozóica e Pós-paleozóica.

Os arenitos de idade devoniana representados pelas formações Inajá (DI) e Tacaratú (SDt), as quais constituem a borda da bacia Tucano-Jatobá, são de textura grosseira até conglomerática apresentando muitas vezes estratificação cruzada. Os granitos róseos (Gr), assim chamados pela presença da cor rósea clara da microclina possuem textura hipidiomórfica, apresentando por vezes um aspecto porfirítico. Esse granito é em geral pouco ou nada gnaissificado (AGAM, 2002).

Ainda conforme AGAM (2002), litologicamente na borda do lago de Itaparica predomina-se no lado Pernambucano as coberturas arenosas (TQc) destacando-se topograficamente pelo aplainamento de seus terrenos, constituindo extensos tabuleiros, Ki (Grupo Ilhas) e Kc (grupo Santo Amaro) indiferenciados arenitos, folhelhos, siltitos e níveis calcários, e em menor proporção nos municípios de Belém do São Francisco e Floresta os aluviões (Qa).

As formações geológicas representativas da região estão representadas pelos Complexos Migmatítico-Granitóide (p∈mi) estendendo-se numa faixa continua grosseiramente desde as proximidades norte e sudoeste de Arcoverde até o extremo oeste do Estado de Pernambuco onde se limita com o Complexo Gnáissico-Migmatítico (p∈gn).

iii) Solos

O diagnóstico ambiental apresentado a seguir para o solo do entorno do reservatório de Itaparica teve como fonte o estudo ambiental do reservatório realizado por CHESF/AGAM (2002).

Os solos que caracterizam o entorno do reservatório de Itaparica são representados por várias classes, destacando-se os Luvisolos crômico órtico (TCo) que ocorrem em Pernambuco desde os municípios de Belém do São Francisco, Floresta, Itacuruba até a divisa de Floresta com Petrolândia, os Neossolos Regolíticos (RR) no município pernambucano de Jatobá e os Neossolos Quartzarênicos (RQ) que ocorrem no município pernambucano de Petrolândia e baiano de Rodelas e Glória. Esses solos recobrem em torno de 50% de superfície do entorno do empreendimento dominando grandes áreas.

Ocorre também em menor proporção Neossolos Flúvicos (RU1) e (RU2) em áreas estreitas às margens do rio São Francisco, próximo ao município pernambucano de Floresta (baixo Pajeú); Vertissolo (V) em pontos isolados no município baiano de Glória e pernambucano de Petrolândia; Planossolos (S) em áreas limítrofes do lado baiano e Neossolos Litólicos (RL) em áreas isoladas às margens da bacia do tanto do lado pernambucano quanto do lado baiano (Fotografia 4.6).

Fotografia 4.6 - Solos rasos (planossolos e neossolos litólicos), erodidos e degradados, correspondendo à região de Floresta e Cabrobó, com caatinga hiperxerofila muito rala.



Fonte: CHESF/FADE (2009)

Os solos Neossolos Flúvicos (RU1/RU2) ocorrem na bacia em duas áreas, ao longo do rio São Cristovão e no Baixo Pajeú, respectivamente. São originados de deposições fluviais recentes, em geral, pouco desenvolvidos, com horizonte Abem definido. As camadas inferiores via de regra são arenosas, com bastante material primário, apresentam mediana fertilidade. São solos ligeiramente ácidos e neutros. São solos com boa drenabilidade natural, embora nem sempre tenha elevada capacidade de retenção hídrica. Tem reduzido risco de erosão, não só pela boa drenabilidade, mas, também, pelo relevo plano que prevalece nas várzeas, onde eles ocorrem.

Na bacia, se identificam duas unidades de solos aluviais. A unidade RU1 localizada próximo ao município de Itacuruba (PE), que oferece melhores condições de uso, na medida em que se encontra próxima ao rio. Tradicionalmente esses solos são utilizados para o plantio de feijão, milho, melancia, cebola e pastagem para animais. Por sua boa drenabilidade e relevo, são solos pouco sujeitos à salinização e à erosão.

Os solos da unidade RU2 (localizado próximo do município de Floresta) apresentam reação de ligeiramente ácido até ligeiramente alcalino. São moderados a imperfeitamente drenados, face às diferenciações texturais que encerram. Essa variação textural com predominância de argila na profundidade influencia a permeabilidade, que se torna reduzida, e a drenagem que assume maior lentidão, ao longo do perfil do solo.

Seu uso em condições de sequeiro é fortemente afetado pela seca edáfica, levando a elevados riscos de perda das safras. A irrigação desses solos é limitada pela pequena disponibilidade de água.

Os Luvisolos crômico órtico (TCo) são representados pelas associações de solos pouco desenvolvidos com relevo variando do suave ondulado ao ondulado. Na prática, são solos que apresentam horizonte Btextural, não hidromórficos, autoctones, com elevado teor de argila e, nas fases “vértico” com argila de atividade alta.

Eles possuem elevada capacidade específica de retenção hídrica, e infiltração lenta a muito lenta o que os torna pouco eficiente no aproveitamento das chuvas, sobretudo as torrenciais. São capazes de gerar escoamentos, quando das chuvas e, com isso, ensejam a formação de processos erosivos visíveis a cada pequeno talvegue às margens das estradas e riachos onde eles ocorrem.

Nos períodos de estiagem assumem um aspecto bastante agressivo, expondo toda cobertura de cascalhos e calhaus típicos do contexto de pavimento desértico, além da fina crosta ceramizada que aparece em solos desérticos. Quimicamente são solos de alta fertilidade. Como são rasos, apresentam limitada capacidade de retenção hídrica, o que os faz muito sujeitos a secas ocasionais entre as chuvas, limitando sua capacidade de produção mesmo quando usado com capins e espécies forrageiras adaptadas ao semi-árido.

Os Neossolos Regolíticos (RR) figuram como dominantes associados com Afloramentos de Rocha, Planossolos (S) e Neossolos Flúvicos (RU). São pouco profundos, arenosos, com teores elevados de materiais primários, possuem fragipã ora consolidado, ora em formação. São fortemente drenados, ácidos e moderadamente ácidos e de fertilidade mediana. O relevo é variável entre plano e ondulado aliado a textura arenosa, facilita o aproveitamento das chuvas não fosse a pouca profundidade que limita a infiltração pela breve saturação hídrica que esses solos esboçam, agravados também pela presença do fragipã, sobretudo, onde este é consolidado.

A partir da saturação hídrica os solos se tornam expulsos de água gerando escoamentos superficiais e erosão na camada superficial do solo. São elevados os riscos de erosão do material arenoso do perfil do solo. Como são rasos, são mais adequados para agricultura ocasional e pastagens adaptadas ao semi-árido, do que para outras culturas de subsistência ou comerciais.

Os Planossolos (S) ocorrem em pequena escala do lado pernambucano e em grandes áreas do lado baiano ao redor do reservatório. Inclui solos halomórficos com horizonte Bsolonético, textura argilosa, com argila de atividade alta, variando de moderadamente ácidos a alcalinos. Fisicamente, são solos mal drenados e de permeabilidade lenta a muito lenta, com relevo geralmente plano a suave ondulado. Por serem pouco permeáveis e mal drenados, favorecem a escoamentos representativos por ocasião das chuvas torrenciais, ensejando a formação de processos erosivos nos talvegues.

O uso mais apropriado desses Planossolos é mesmo com pastagens naturais e plantado, todavia, as baixas produtividades, sobretudo no período de estiagem onde a seca edáfica se torna mais pronunciada, figura como o grande limitador ao uso.

Os Neossolos Quartzarênicos (RQ) ocorrem nos extremos norte e sul da bacia dominando grandes áreas. São solos planos, de textura arenosa, baixa capacidade de retenção hídrica e de nutrientes, embora sejam profundos. Quimicamente são ácidos e de muito baixa fertilidade natural. Por sua textura excessivamente arenosa, são bastante susceptíveis às erosões. A utilização desses solos deve ser limitada ao cultivo de pastagens aliada a técnicas de melhoria do manejo da vegetação natural da caatinga para minimizar os efeitos da seca edáfica nos períodos de estiagens que, via de regra, limitam sensivelmente a oferta de alimentos ao rebanho nesse período.

Os Neossolos Litólicos (RL) apresentam relevo bastante movimentado, predominantemente, forte ondulado e montanhoso. São solos pouco desenvolvidos, com baixa capacidade de retenção hídrica e elevado potencial de escoamento superficial. Embora tenham boa fertilidade natural, não são indicados para uso econômico, pela extrema seca edáfica que esboçam, e, sobretudo, pelo alto grau de erodibilidade e relevo movimentado que apresentam.

Os Vertissolos (V) são solos planos e suaves ondulados, com alta fertilidade e elevado teor de argila do tipo 2:1, o que faz o solo ter comportamentos hídricos diversos. Quando seco, torna-se muito duro, forma blocos e apresenta rachaduras na superfície e subsuperfície, dando ao solo elevada capacidade de absorção das primeiras chuvas.

Depois de molhado, tornam-se difíceis de manejar por serem escorregadios e pegajosos, assumindo uma lenta drenagem no perfil, o que modifica sensivelmente o comportamento hidrológico fazendo-os lentos na absorção das chuvas, ensejando a formação de escoamentos superficiais representativos, elevando seu risco de erosão, em geral baixo, pelo relevo plano que apresentam.

Os Cambissolos com textura média a argilosa geralmente ocorrem em relevo plano sendo identificados em pequenas áreas isoladas tanto do lado pernambucano próximo ao município de Carnaubeira da Penha quanto do lado baiano.

iv) Recursos hídricos

O rio São Francisco é o principal afluente do reservatório de Itaparica, todo o restante da rede hidrográfica que aflui ao reservatório é constituído por rios intermitentes. Os mais importantes são o Pajeú, em Pernambuco, cuja bacia hidrográfica abrange 16.881 km² e o Macururé, na Bahia, com 4.430 km².

Pernambuco não possui rios de grande extensão nem de grandes volumes de água. A bacia do rio Pajeú se destaca no Estado pela área que abrange e suas potencialidades. A área da bacia hidrográfica do rio Pajeú representa 17% do Estado de Pernambuco. O rio Pajeú nasce na Serra do Balanço (ou da Balança), Município de Brejinho (antigo Distrito de Itapetim), entre os estados de Pernambuco e Paraíba. Percorre uma distância de 347 km até desaguar no lago formado pela Barragem de Itaparica no rio São Francisco. Margeia as cidades de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira, Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi, Serra Talhada e Floresta. É o maior afluente do rio São Francisco na região do submédio. É de caráter torrencial, destacando-se pela grande ação erosiva. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) (Pernambuco, 1997), na área de influência do reservatório de Itaparica existem 3 sub-bacias, compreendendo um total de 21.029,42 km², conforme mostra a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Principais sub-bacias localizadas nas proximidades do reservatório de Itaparica

Sub-bacias	Rede de drenagem	Área (km ²)
UP 9 – Pajeú	Rio Pajeú e tributários: riacho do Navio, São Cristóvão, Caldeirão, Lagoinha, Cachoeira, riacho do Cedro, Cachoeirinha, Pajeú Mirim, Riachão, Quixaba, Tigre, Malhada, Piancozinho, riacho do Brejo, riacho da Laje, Várzea do Tiro.	16.838,74
UP 22 – GI 3	Grupo de pequenos rios interiores: riacho dos Mandantes, Baixa do Limão Bravo, Barreira, riacho das Bananeiras.	2.711,38
UP 23 – GI 4	Grupo de pequenos rios interiores: riacho da Baixa, riacho da Porta, riacho da Água Branca, riacho da Simpatia, riacho da Carapuça, Fechado, riacho das Bananeiras.	1.479,30
Área total		21.029,42

Fonte: SECTMA (1997)

4.2.1.2 Meio biótico

i) Fauna

A fauna do bioma Caatinga apresentando baixa diversidade e poucas espécies endêmicas. Apesar de realmente possuir uma menor riqueza de espécies do que outros biomas como a Amazônia e o Cerrado, mesmo porque ambientes semiáridos normalmente possuem uma menor diversidade de espécies, cada vez mais fica claro que a ausência de estudos acaba por subestimar a real diversidade e riqueza da região. A medida que aumentam as pesquisas e inventários no bioma, o número de espécies que ocorrem na Caatinga aumenta, e o número de espécies não descritas também aumenta.

Além disso, observa-se que alguns grupos apresentam uma taxa de endemismo surpreendente, chegando a 58,7% em peixes e 20,7% em répteis. Dentre a fauna terrestre da região foram registradas espécies endêmicas como *Tapinurus pinima* (lagartixa de lajeiro), raras localmente como *Hydrochaerishydrochaeris* (capivara) e ameaçadas de extinção, *Caiman latirostris* (jacaré-de-papo-amarelo).

Os principais mamíferos que ocorrem no Submédio São Francisco são: veado catingueiro (*Mazama gouazoubira*), onça massoró (*Panthera onça*), tamanduá mirim (*Tamanduá tetradactyla*), raposa (*Dusicyon SP*), tatu-peba (*Euphractus sexcinctus*), furão (*Galictis vittata*), gato do mato (*Felis sp*), sagüi (*Callithrix jacchus*), macaco-prego (*Cebus apella*), mocó (*Kerodon rupestris*), preá (*Gálea spxii*), cutia (*Dasyprocta prymnolopha*), guaxinim (*Procyon sp*) e quati (*Nassua sp.*). Dentre essas, o veado catingueiro e o quati são consideradas espécies raras, enquanto a onça massoró e o macaco-prego encontram-se entre as espécies ameaçadas de extinção (GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, 1996).

A herpetofauna (répteis e anfíbios) é numerosa na caatinga, destacando-se, no Submédio São Francisco, dentre os répteis, o grupo dos ofídios que abrange as cobras de diferentes espécies, os lacertíios ou sáurios representados pelos lagartos, cobra de vidro e lagartixa, os quelônios que compreendem cágados (de água doce) e jabutis (terrestres) e os crocodilos representados na região pelo jacaré-do-papo-amarelo, ameaçado de extinção. Figuram como principais representantes das espécies da herpetofauna regional: cágados (*Phrinops geofroanus* e *Phrinops tuberculatus*), jacaré do papo amarelo (*Caiman latirostris*), jacaré coroa (*Paleosuchus*

palpebrosus), camaleão (*Iguana iguana*), teiú (*Tupinambis tequixim*), jararaca (*Bothrops sp.*), cascavel (*Crotalus durissus*), falsa coral (*Oxyrhopus sp.*), coral (*Micrurus spp.*), jibóia (*Boa constricto*), cobra d'água (*Helicops leopardinus*) e lagartixa de lajeiro (*Plotinolus sp.*). Dentre as espécies citadas, os cágados, os jacarés e a cobra d'água dependem de ambientes aquáticos para a sobrevivência, podendo ser utilizadas em estudos sobre a história e a evolução da rede de drenagem da caatinga (RODRIGUES, 2003).

De acordo com Silva et al. (2003), das 510 espécies de aves registradas para a caatinga, 469 (91,96%) se reproduzem na região sendo, por isto, incluídas na categoria “residente”. Destas, 294 (60,5%) são dependentes ou semi-dependentes de florestas, o que, segundo os autores supracitados, “... demonstra a importância das florestas da região que, mesmo cobrindo originalmente somente 14% da região (...) ajuda a manter quase dois terços das espécies de aves [do bioma].” (SILVA et al., 2003, p. 243). No entanto, destaca o estudo, as aves não dependem somente dos brejos florestados para sua sobrevivência durante os períodos de seca, podendo, através de deslocamentos sazonais, explorar a grande heterogeneidade ambiental da região e das áreas circunvizinhas. Por outro lado, a maioria das aves que vivem em áreas com vegetação arbustiva aberta (áreas mais secas), é relativamente tolerante às perturbações do ambiente, inclusive àquelas causadas pelas atividades humanas.

ii) Vegetação

A vegetação da região semiárida é a caatinga, a qual é constituída por várias formações de vegetação estacional-decidual, com numerosas plantas suculentas, sobretudo cactáceas. Em geral, o estrato arbóreo é de baixa estrutura vertical, com troncos delgados e esgalhamento profuso. Muitas espécies são microfoliadas e outras são providas de acúleos ou espinhos. A maioria das espécies possui adaptações fisiológicas bastante especializadas em economia de água. São frequentes os gêneros *Zizyphus*, *Acácia*, *Erythrina* e *Bauhinia*, além de numerosas espécies dos gêneros *Cássia*, *Mimosa* e *Erythroxilum*. A dominância, entretanto, é de gêneros das famílias Cactaceae (*Cereus* e *Pilocereus*) e Bromeliaceae (*Bromélia* e *Neoglaziovia*).

4.2.1.3 Meio antrópico

i) Áreas urbanas e dados demográficos

Na década de 1980, com a implantação da UHE Luiz Gonzaga, foram reconstruídas as cidades de Petrolândia/PE, Itacuruba/PE, Rodelas/BA e o povoado de Barra do Tarrachil no Município de Chorrochó/BA, totalizando uma população de 14.745 habitantes relocados. Essas cidades receberam saneamento básico, energia elétrica, prédios da administração pública e aqueles destinados à educação, saúde, assistência social, comunicação, segurança pública, cultos e esportes, além de 4.000 habitações e cerca de 540 prédios comerciais (CHESF, 2002).

O município de Itacuruba foi um dos municípios impactado com a redução da população, fato diretamente relacionado à perda de área na formação do reservatório e à migração de parte da população rural para a cidade e para o município de Orocó, onde foi implantado o perímetro irrigado Brígida, alternativa de reassentamento para os itacurubenses (PTDRS, 2009).

Em 1980, a população total residente no entorno da área onde seria construída a barragem de Itaparica era de 109.183 (cento e vinte mil) habitantes, dos quais 32.585 localizados na área urbana e 76.608 na área rural. Em 2010, a população total passou a 119.960, sendo 71.877 na área urbana e 48.083 na área rural. Observa-se que após a instalação do reservatório, a população urbana aumentou em relação a rural. Entretanto, em alguns municípios houve um decréscimo da população. A Tabela 4.8 mostra a distribuição dessa população.

Tabela 4.8 - População residente em 1980 e 2010

	População Residente (1980)			População Residente (2010)		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
Pernambuco						
Itacuruba	4.414	1.652	2.762	4.369	3.708	661
Belém do São Francisco	24.212	9.006	15.206	20.236	12.582	7.654
Floresta	32.245	8.435	23.810	29.284	19.972	9.312
Petrolândia	23.726	9.816	13.910	32.485	23.615	8.870
Total	84.597	28.909	55.688	86.374	59.877	26.497
Bahia						
Chorrochó	10.223	869	9.364	10.734	2.631	8.103
Glória	9.873	1.089	8.784	15.073	2.827	12.246
Rodelas	4.490	1.718	2.772	7.779	6.542	1.237
Total	24.586	3.676	20.920	33.586	12.000	21.586
Total da Área de Influência	109.183	32.585	76.608	119.960	71.877	48.083

Fonte: IBGE (2010); IBGE (1980)

Interligadas por rodovia federal (BR-316, do lado de Pernambuco) ou estadual (BA-210, do lado da Bahia), as sedes dos municípios que circundam o reservatório constituem centros de convergência da produção rural e de distribuição de bens e serviços para as áreas às quais estão conectadas por estradas vicinais estas, na maior parte, estradas de revestimento solto em estado precário de conservação. Cidades de pequeno porte, as sedes municipais em apreço são, na quase totalidade, centros locais ou seja “cidades cuja centralidade e atuação não extrapolam os limites do seu município, servindo apenas aos seus habitantes” (IBGE, 2008). As únicas exceções estão constituídas pelas cidades de Belém de São Francisco e Floresta, a primeira, situada na zona de influência de Petrolina-Juazeiro e a segunda, na zona de influência de Serra Talhada, situadas, respectivamente, nas regiões de influência urbana de Salvador e Recife.

ii) Projetos de irrigação

Um crescimento acentuado na demanda de energia elétrica foi registrado no Nordeste nos anos 70. Em 1979, a Chesf iniciou as obras da Usina de Itaparica, entre os municípios de Petrolândia (PE) e Glória (BA), no submédio São Francisco, juntamente com o Reservatório de Itaparica. Essa obra era fundamental para o fornecimento de energia elétrica à região, evitando assim que se prolongasse o racionamento.

A obra foi seriamente afetada por problemas financeiros, sofrendo interrupções sucessivas e, dessa forma, ampliando os custos previstos e a tensão social na área. O fechamento da barragem e o desvio do rio foram concluídos em 1987. Os dois primeiros geradores, com potência de 250

MW cada um, entraram em funcionamento em maio de 1988. A capacidade atual da usina foi atingida em 1990, quando as seis turbinas em operação iniciaram a geração com 1500 MW instalados.

De acordo com dados da CHESF (2008) na área rural destinada a construção do reservatório existia cerca de 21.000 pessoas, entre pequenos proprietários, posseiros, meeiros, etc. Para relocar essa população foram construídos projetos de irrigação, de forma a recompor suas atividades econômicas, conforme já tratado no Capítulo 4.

A economia regional da área do reservatório estava baseada, principalmente, na agricultura de subsistência, praticada por pequenos proprietários, posseiros, meeiros e trabalhadores sem terra. Algumas grandes fazendas, dedicadas à pecuária extensiva, existiam na margem esquerda do rio, correspondente ao Estado de Pernambuco.

As condições de vida na área rural, antes da construção da barragem, eram precárias: 55% das famílias tinham níveis de renda inferiores a um salário mínimo e 40% recebiam entre um e dois salários-mínimos. A maioria não possuía títulos de propriedade da terra.

Após sucessivas negociações entre a Chesf, o ministério de Minas e Energia e os representantes dos agricultores, reunidos no Pólo Sindical do Submédio São Francisco, foi desenvolvido um programa de reassentamento na região - que contemplava casas de alvenaria dispostas em agrovilas, lotes irrigados e áreas para exploração em regime de sequeiro, assistência técnica e infraestrutura de água tratada, luz, saneamento básico, escolas, postos médicos e estradas. Esse é o Projeto de Reassentamento Rural de Itaparica que teve sua implementação iniciada em 1987.

Entre 1987 e 1988, toda a população rural foi transferida para as 126 agrovilas nos diversos projetos. Cada família obteve o direito a uma verba de manutenção temporária até o início da atividade produtiva dos lotes; a um lote irrigado com área diferenciada em função da força de trabalho familiar, variando de 1,5 a 6,0 hectares, além de uma área complementar de sequeiro, entre 10 e 23,5 hectares.

A estratégia de política agrária adotada nos projetos está alicerçada no princípio constitucional que condiciona a propriedade à sua função social, objetivando, conforme estabelece a Lei Nº 4.504, de 30.11.64 (Estatuto da Terra), favorecer o bem estar dos trabalhadores rurais e suas famílias, manter níveis satisfatórios de produtividade e assegurar a conservação dos recursos naturais.

Cada família reassentada recebeu, a título de doação, um lote agrícola irrigável, e uma fração ideal da área de uso comum, denominada de Sequeiro, destinada a atividade agropecuária, perfazendo um total de 25 ha. A casa residencial foi doada ou permutada pela moradia anterior, atingida pela inundação, segundo a forma de negociação ajustada com o reassentado, quando da desocupação da área do reservatório. Da área total do projeto, 20% é instituída de Reserva Legal, conforme a Lei 4.771, de 15.09.65 (Código Florestal). O planejamento agrícola abrange apenas a área irrigada. A área de sequeiro está destinada à agricultura e pecuária em uso comunitário. A Tabela 4.9 mostra a infra-estrutura implantada para a instalação dos perímetros irrigados.

Tabela 4.9– Infraestrutura instalada

Infraestrutura instalada	PE	BA	Total
Agrovilas implantadas	87	39	126
Casas construídas	3.305	1.822	5.327
Escolas de 1º grau menor	50	24	74
Escolas de 1º grau maior	4	1	5
Postos de saúde provisórios	8	8	16
Estações de bombeamento	58	54	112
Canais de adução (km)	81	-	81
Sistema viário (km)	877	430	1.307
Rede de distribuição d'água (km)	660	330	990
Redes parcelares (km)	5.533	2.364	7.897

Toda infraestrutura de serviços públicos foram, paulatinamente, transferidas para os entes institucionalmente encarregados pela sua prestação e manutenção. Assim foi com os logradouros públicos, transferidos para os municípios (cemitérios, vias de transporte, pátios de feira, praças); as escolas de primeiro grau-menor foram transferidas para os Estados da Bahia e Pernambuco, e destes últimos, posteriormente, transferidos para os municípios. Para os Estados, foram transferidos os prédios implantados para os sistemas de segurança pública, e destinados à União, as infraestruturas de uso comum para irrigação (captações, adutoras, canais e subestações elétricas), assim como as instalações de apoio operacional às mesmas.

A CHESF, mediante convênio de Cooperação Técnica-Financeira firmado com a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF, está movendo gestões no sentido de ultimar a transferência do patrimônio representado pela infraestrutura pública de irrigação para a União Federal, a quem caberá realizar a administração daqueles bens, inclusive cobrando, diretamente ou através de entidades chamadas de Distritos de Irrigação, as tarifas referentes ao rateio das despesas incorridas na referida atividade. Com relação à produção desses projetos, prevalece a banana com mais de 5.500 hectares cultivados, área superior à soma de todas as outras culturas, compostas por: coco, amendoim, mamão, manga, goiaba, melancia, abóbora, entre outros.

iii) Saneamento ambiental

Antes da construção do reservatório de Itaparica, as cidades possuíam redes de abastecimento de água, entretanto as redes de esgoto eram praticamente inexistentes, havendo algumas instalações em Petrolândia, que funcionavam de forma precária, confundindo-se com o escoamento superficial e servindo parcela irrisória da população (CHESF, 2002).

Quando da construção das cidades, a CHESF implantou abastecimento d'água e esgotamento sanitário. Dessa forma, Petrolândia teve seu projeto do esgotamento sanitário elaborado em 1985 para uma população de 19.000 habitantes em 1990, sendo a população urbana na época da relocação de 9.024 habitantes. Para Itacuruba, o projeto foi feito em 1986 para uma população de 3.590 habitantes em 2006, sendo a população urbana na época da relocação de 1.890 habitantes. Já para Rodelas, o projeto foi realizado em 1987 (população urbana de 2.399 habitantes) considerando uma população de 6.300 habitantes em 1996. Depois de implantados, coube aos municípios a operação e manutenção desses sistemas (CHESF, 2008).

Com relação ao Censo de 2000, a Tabela 4.10 apresenta a situação do abastecimento de água para os municípios do entorno do reservatório de Itaparica.

Tabela 4.10 – Situação do abastecimento de água

Município	Total de domicílios	Formas de abastecimento de água (%)		
		Rede Geral	Poço ou nascente	Outra forma
Belém do São Francisco – PE	4.325	59,7	5,5	34,8
Floresta – PE	5.308	60,9	15,3	23,8
Itacuruba – PE	827	86,1	1,6	12,3
Petrolândia – PE	6.081	83,6	1,2	15,2
Chorrochó – BA	2.284	45,0	38,6	16,4
Glória – BA	3.501	57,4	12,3	30,3
Rodelas – BA	1.469	93,1	0,6	6,3

Fonte: IBGE (2000)

O destino do lixo e o tipo de esgotamento sanitário dos domicílios exercem influência direta na qualidade dos recursos ambientais – solo, água e ar – tendo, por conseguinte, reflexo na saúde das populações que utilizam tais recursos. A Tabela 4.11 mostra a situação dos resíduos sólidos, enquanto que a Tabela 4.12 mostra a situação do esgotamento sanitário.

Tabela 4.11 – Situação dos resíduos sólidos

Município	Total de domicílios	Destino do lixo (%)			
		Coletado	Queimado ou enterrado	Lançado a céu aberto ou em corpo hídrico	Outro destino
Belém do São Francisco – PE	4.325	43,7	9,5	46,5	0,3
Floresta – PE	5.308	57,8	9,1	7,9	25,2
Itacuruba – PE	827	73,6	3,8	22,6	-
Petrolândia – PE	6.081	72,1	15,2	7,1	5,6
Chorrochó – BA	2.284	2,6	3,7	93,6	0,1
Glória – BA	3.501	17,3	33,1	49,5	0,1
Rodelas - BA	1.469	63,2	10,1	25,7	1,0

Fonte: IBGE (2000)

Tabela 4.12 – Situação do esgotamento sanitário

Município	Total de domicílios	Tipo de esgotamento sanitário (%)				
		Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa séptica	Fossa rudimentar	Vala, corpo hídrico ou outro escoadouro	Não possuem banheiro ou sanitário
Belém do São Francisco – PE	4.325	20,3	0,9	32,6	1,0	45,2
Floresta – PE	5.308	18,8	30,3	9,0	3,1	38,8
Itacuruba – PE	827	7,1	72,1	3,9	0,3	16,6
Petrolândia – PE	6.081	38,7	23,2	27,2	1,2	9,7
Chorrochó – BA	2.284	18,2	0,3	21,1	1,9	58,5
Glória – BA	3.501	13,3	4,1	33,7	7,3	41,6
Rodelas - BA	1.469	72,8	1,9	12,3	2,9	10,1

Fonte: IBGE (2000)

O Plano de Aceleração do Crescimento - PAC, lançado pela Presidência da República, em janeiro de 2007, tem como objetivo acelerar o crescimento econômico do Brasil, sendo uma de suas prioridades o investimento em infraestrutura, em áreas como saneamento, habitação, transporte, energia e recursos hídricos. Com isso, o Programa de Revitalização do rio São Francisco, a partir de 2007, teve sua continuidade assegurada com recursos do PAC, sendo as ações previstas na área de saneamento básico, contenção de barrancos, controle de processos erosivos entre outros. Inicialmente, para as ações de esgotamento sanitário, estão sendo envolvidos 102 municípios na calha do rio São Francisco.

De acordo com o Comitê Gestor do PAC, entre 2007 e 2010 foram investidos R\$ 2,6 bilhões em obras de saneamento no Estado da Bahia e R\$ 1,9 bilhões em obras de saneamento no Estado de Pernambuco. Para as áreas no entorno dos reservatórios de Itaparica foram realizados os seguintes investimentos (Tabela 4.13):

Tabela 4.13 – Investimentos em saneamento ambiental entre 2007 e 2010

UHE	Município	Tipologia	Investimento (R\$ milhares)
Luiz Gonzaga (Itaparica)	Glória	Saneamento em áreas indígenas	798,1
	Rodelas	Saneamento em áreas indígenas	46,6
	Itacuruba	Melhorias habitacionais	725,6
	Floresta	Abastecimento de água	1.341,1
		Melhorias habitacionais	990,2
		Saneamento em áreas indígenas	275,8
	Petrolândia	Abastecimento de água	1.948,0

Fonte: Comitê Gestor do PAC (2010)

4.3 A GESTÃO AMBIENTAL DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA

Projetos de irrigação Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) com o objetivo principal de geração de energia elétrica. Dessa forma a CHESF, junto com o Operador Nacional de Sistemas (ONS), mantém a operação do reservatório quanto à regularização de seus níveis de água, bem como controla a quantidade de energia gerada.

A gestão do reservatório de Itaparica é realizada por órgãos federais (incluindo a CHESF), estaduais e municipais, uma vez que o mesmo está localizado em uma bacia hidrográfica federal e entre dois estados (Pernambuco e Bahia). Dessa forma, observa-se o empenho desses órgãos em implementar os diversos instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos, previstos na legislação vigente. Entretanto, percebe-se uma gestão dispersa entre os órgãos competentes,

que ao invés de funcionar como um indutor do controle, conservação e recuperação ambiental, muitas vezes dificulta as melhores decisões por parte dos gestores. A seguir serão comentados os principais instrumentos operacionalizados na área de estudo:

i) Instrumentos de Ordenamento Territorial:

- Plano Nacional de Recursos Hídricos;
- Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco;
- Projeto de Conservação e Revitalização da Bacia do São Francisco;
- Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Integrado – Território Itaparica;
- Zoneamento Ecológico Econômico da Bacia do São Francisco;
- Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais.

ii) Instrumentos de comando e controle

- Licenciamento ambiental;
- Fiscalização ambiental;
- Outorga de uso da água;
- Cobrança pelo uso da água;
- Compensação ambiental.

iii) Instrumentos para tomada de decisão

- Enquadramento dos corpos d'água;
- Monitoramento ambiental;
- Sistemas de informações ambientais e de recursos hídricos;
- Instâncias de decisão colegiada.

4.3.1 Instrumentos de Ordenamento Territorial

4.3.1.1 Plano Nacional de Recursos Hídricos

Conforme a Lei Federal 9.433/1997, os planos de recursos hídricos deverão ser elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País. Dessa forma, no início de 2006 foi lançado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tendo o Conselho Nacional de Recursos Hídricos como entidade coordenadora.

O PNRH foi elaborado adotando a divisão de 12 regiões hidrográficas, conforme a Resolução do CNRH n° 32, de 15 de outubro de 2003. Esse Plano apresenta o panorama nacional dos recursos hídricos no Brasil, avalia a disponibilidade de água em qualidade e quantidade e as demandas pelo uso. Estabelece as diretrizes e metas para um prazo de 15 anos, definindo as metas de curto, médio e longo prazo. São objetivos estratégicos do PNRH: a melhoria das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, em qualidade e quantidade; a redução dos conflitos reais e potenciais de uso da água, bem como dos eventos hidrológicos críticos; a percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante.

4.3.1.2 Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco teve seu Comitê de Bacia (Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco - CBHSF) instituído em 05 de junho de 2001. Em junho de 2004 o Comitê aprovou o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013) que foi coordenado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

O PBHSF foi realizado com a participação pública, foram ouvidos órgãos dos Ministérios do Meio Ambiente, Integração Nacional, Agricultura, Transportes, órgãos gestores dos recursos hídricos dos Estados, usuários e representantes da sociedade civil e, em especial, as Câmaras Consultivas, as Câmaras Técnicas e a Diretoria do CBHSF, de forma que todos os atores envolvidos contribuíssem para o desenvolvimento do Plano.

Um diagnóstico da região é apresentado no Plano, englobando os mais diversos assuntos referentes aos recursos hídricos, tais como: saneamento ambiental, usos múltiplos dos recursos hídricos, disponibilidade e demanda dos recursos hídricos, assim como cenários de desenvolvimento. Em seguida apresenta um capítulo sobre alocação de água, outorga, enquadramento dos corpos d'água, fiscalização integrada e cobrança pelo uso dos recursos hídricos, além da estratégia de implementação do PBHSF.

O Plano contém proposta de um Pacto da Água, a ser materializado em um Convênio de Integração entre os Estados e a União, com a interveniência do CBHSF. Trata-se de importante passo no sentido de descentralizar a gestão, conforme preconizado na Lei n° 9.433/97. O Convênio concentra-se na alocação de água, fiscalização integrada e cobrança pelo uso dos rios da Bacia, tanto para captar água quanto para diluir esgoto.

4.3.1.3 Projeto de Conservação e Revitalização da Bacia do São Francisco

Foi instituído em 05 de junho de 2001, por meio de um decreto presidencial, o Projeto de Conservação e Revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco com oito temas de intervenção: despoluição, conservação de solos, convivência com a seca, reflorestamento e recomposição de matas ciliares, gestão e monitoramento, gestão integrada dos resíduos sólidos, educação ambiental, unidades de conservação e preservação da biodiversidade.

A revitalização compreende o processo de recuperação, conservação e preservação ambiental, por meio da implementação de ações integradas e permanentes, que promovam o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais, o aumento da quantidade e a melhoria da qualidade da água para usos múltiplos. O Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (PR-SF), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria com o Ministério da Integração Nacional, tem prazo de execução de 20 anos. Integra a Política Nacional de Meio Ambiente e a Política Nacional de Recursos Hídricos e está evidenciado pelo Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

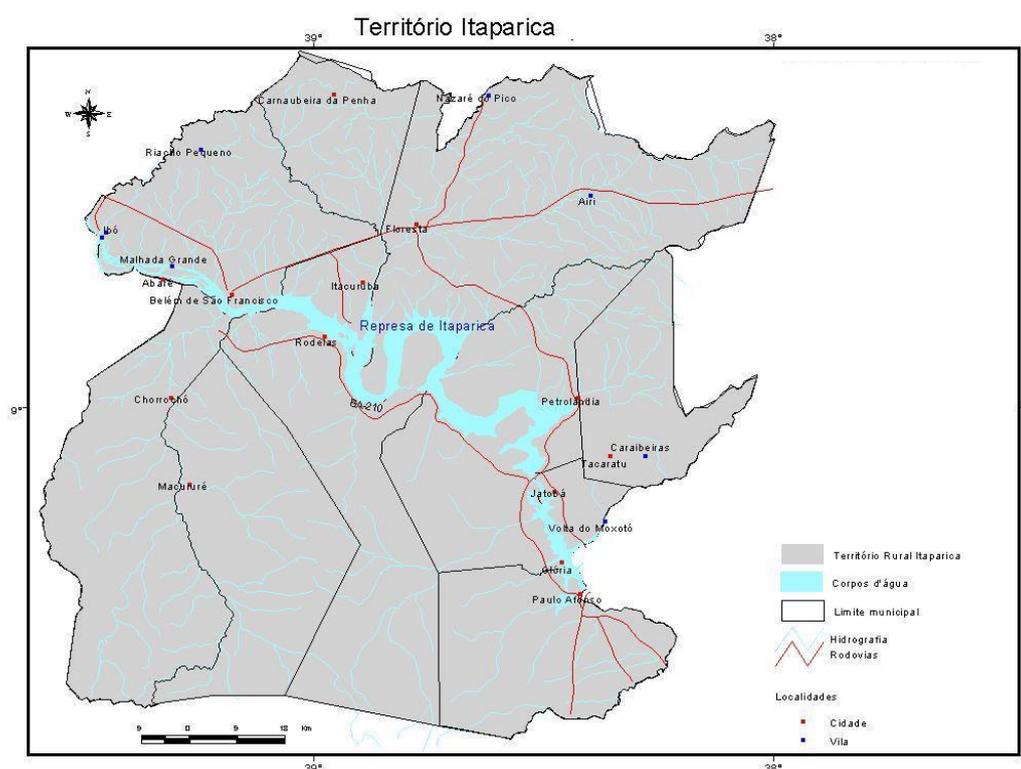
Os objetivos específicos da revitalização são: implantar uma política de desenvolvimento sustentável; implantar um processo de planejamento e gestão ambiental, integrado e participativo; implantar políticas públicas socioambientais articuladas com as instâncias colegiadas e melhorar a qualidade de vida da população considerando todos os seus aspectos e potencialidades. O público alvo é composto por governos estaduais e municipais, organizações da sociedade civil, populações tradicionais, quilombolas e indígenas, setores produtivos e população da bacia.

4.3.1.4 Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Integrado – Território Itaparica

O Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA considera Território um espaço físico, geograficamente definido, geralmente contínuo, compreendendo cidades e campos caracterizados por critérios multidimensionais, tais como o ambiente, economia, sociedade, cultura, política, as instituições, a população com grupos sociais relativamente distintos, que se relacionam interna e externamente por meio de processos específicos, onde se pode distinguir um ou mais elementos que indicam identidade, coesão social e cultural.

Dessa forma, o Território Itaparica (Figura 4.8), localizado na região do Submédio São Francisco, é constituído por 06 (seis) municípios situados no estado da Bahia (Abaré, Chorrochó, Glória, Macururé, Paulo Afonso e Rodelas) e 07 (sete) no estado de Pernambuco (Belém do São Francisco, Carnaubeira da Penha, Floresta, Itacuruba, Jatobá, Petrolândia e Tacaratu).

Figura 4.8 – Território Itaparica



Fonte: PTDRS (2009)

O PTDRS tem como objetivo geral propor e orientar programas, projetos e ações para o desenvolvimento sustentável e solidário do Território Itaparica, a partir da mobilização social e da implementação das políticas públicas. Como objetivos específicos, citam-se:

- Servir de instrumento de orientação e negociação das políticas com as instituições públicas, privadas e da sociedade civil, promotoras do desenvolvimento;
- Contribuir para a integração das políticas públicas no Território;
- Fomentar o debate sobre o desenvolvimento sustentável e solidário, contribuindo na identificação das potencialidades e de novas oportunidades de geração de riquezas para a melhoria da qualidade de vida da população do Território;

- Contribuir para o controle social das políticas públicas e participação da sociedade civil.

As propostas do Plano estão agrupadas em 06 (seis) eixos estratégicos:

- Desenvolvimento econômico;
- Gestão ambiental;
- Educação, cultura, desenvolvimento social, esporte e lazer;
- Saúde, saneamento e moradia;
- Infraestrutura;
- Ordenamento agrário.

Essas propostas contidas no PTDRS são orientadoras para o processo de negociação e acompanhamento da execução das políticas públicas nas mais diversas áreas (educação, infraestrutura, saúde, etc.) e certamente, vai propiciar o debate sobre o desenvolvimento sustentável e solidário, com a participação proativa dos Sindicatos de Trabalhadores Rurais, Cooperativas, Associações, assentamentos, indígenas, quilombolas, ribeirinhos, perímetros irrigados e comunidades de sequeiro.

4.3.1.5 Zoneamento Ecológico Econômico da Bacia Hidrográfica do São Francisco

Em atendimento às demandas do Programa de Revitalização de Bacias Hidrográficas, o Ministério do Meio Ambiente através da Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável apresentou um documento inicial para o Zoneamento Ecológico Econômico da Bacia do São Francisco (ZEE-BHSF). Esse documento inicial consiste de um termo de referência elaborado por técnicos especializados que estabelecem diretrizes gerais, normas e critérios para a preparação do ZEE-BHSF.

O zoneamento ecológico econômico é um instrumento de planejamento do uso e ocupação do território, que integra informações em bases geográficas e serve de apoio à negociação entre os agentes envolvidos. Identifica as potencialidades e as limitações ao uso dos recursos naturais pela sociedade, com base em um diagnóstico socioambiental, incluindo o envolvimento público participativo, no âmbito de uma política de desenvolvimento integrado do território.

O ZEE-BHSF deve subsidiar o subcomponente “Ordenamento Territorial” do Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, orientando os diversos níveis decisórios para a adoção de políticas convergentes com as diretrizes de planejamento estratégico do país, propondo soluções de proteção ambiental e de desenvolvimento que considerem a melhoria das condições de vida da população e a redução dos riscos de perda do capital natural.

As ações para o ZEE-BHSF foram em duas fases. A primeira proporciona uma visão integrada da bacia, compatível à apresentação de produtos em escala 1:1.000.000 e menores, tendo um caráter analítico para a orientação de ações predominantemente propositivas. Em uma segunda fase, são efetuados estudos mais detalhados, em áreas definidas a partir dos indicativos apontados na fase anterior. Participam instituições locais e regionais.

4.3.1.6 Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais

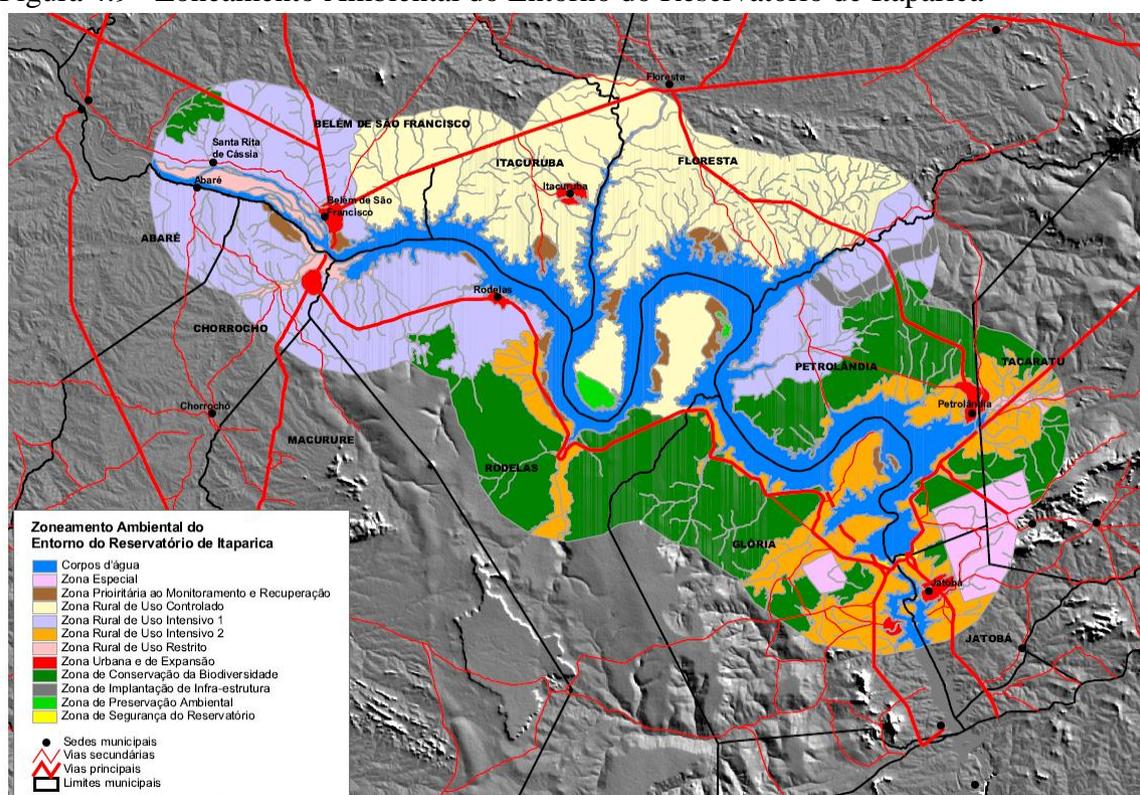
O PACUERA proposto pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), adota um procedimento de “compartimentação ambiental” das áreas situadas na circunvizinhança daquele Reservatório – denominadas de Unidades Ambientais Homogêneas (UAHs) -, como instrumento disciplinador das questões associadas à conservação, à recuperação, ao uso e à preservação dos recursos naturais diagnosticados. Estas UAHs são utilizadas como referências para atender a um dos objetivos explicitados neste Plano, à luz do Zoneamento Ecológico Econômico da Bacia do Rio São Francisco (MMA), a saber: o Zoneamento Ambiental do entorno do Reservatório.

O zoneamento ambiental então proposto para as áreas do entorno do Reservatório de Itaparica (Figura 4.9) tem como referência a sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade natural das UAHs e resulta da interação obtida através da modelagem de dados espaciais. As zonas, estabelecidas com base nos critérios de “peculiaridades da paisagem estudada em especial o uso sustentável dos recursos naturais, as potencialidades econômicas, as vulnerabilidades e as possíveis restrições legais a ocupação”, são as seguintes:

- Zona de Conservação da Biodiversidade;
- Zona de Preservação Ambiental;
- Zona Urbana e de Expansão Urbana;

- Zona Prioritária ao Monitoramento e Recuperação;
- Zona de Segurança do Reservatório;
- Zona Rural de Uso Intensivo I;
- Zona Rural de Uso Intensivo II;
- Zona Rural de Uso Controlado;
- Zona Rural de Uso Restrito;
- Zonas de Uso Especial; e,
- Zona de Implantação de Infra-estrutura.

Figura 4.9– Zoneamento Ambiental do Entorno do Reservatório de Itaparica



Fonte: PACUERA, 2009.

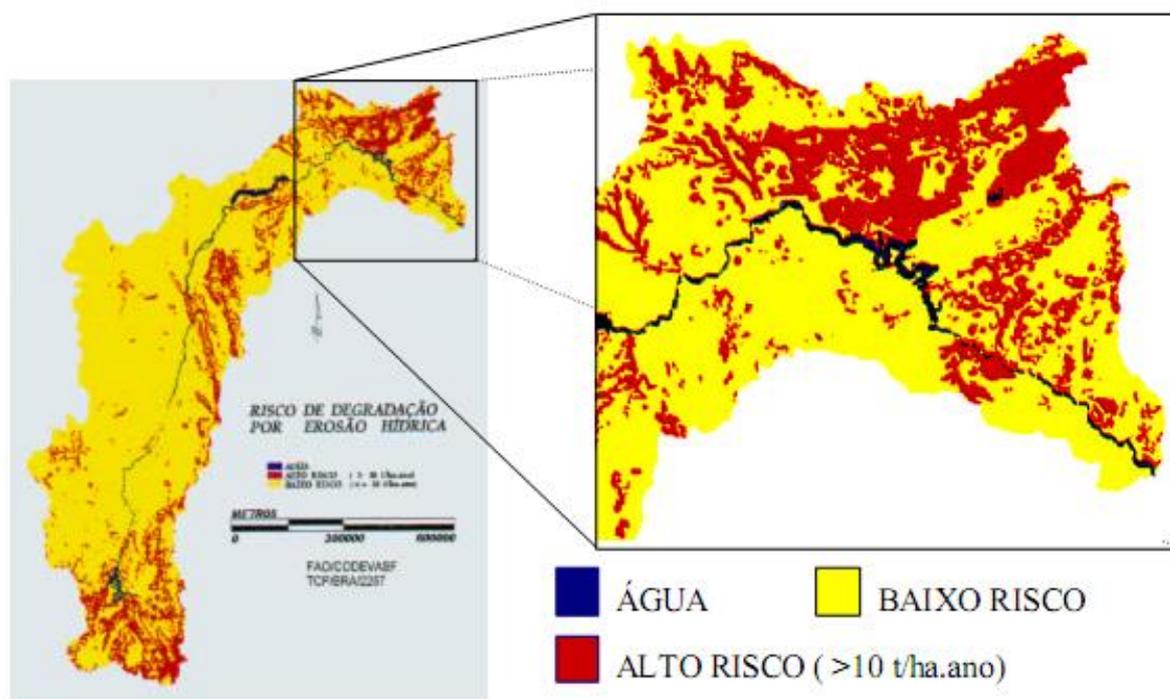
Destacam-se, a seguir, algumas importantes pistas sobre vulnerabilidades e diversos riscos na região em estudo, conforme observado no Zoneamento Ambiental do Entorno do Reservatório de Itaparica, quais sejam:

- Na Zona de Preservação Ambiental: encontram-se áreas cobertas por dunas;

- Na Zona Prioritária ao Monitoramento e Recuperação: encontram-se áreas onde a probabilidade de ocorrerem processos erosivos, desmoronamento de encostas e de assoreamento, é mais elevada;
- Na Zona Rural de Uso Intensivo I: encontram-se áreas onde a vulnerabilidade natural varia de baixa à moderada;
- Na Zona Rural de Uso Intensivo II: encontram-se áreas com solos excessivamente drenados e vulnerabilidade natural alta;
- Na Zona Rural de Uso Controlado: encontram-se áreas com maior vulnerabilidade natural em função do alto potencial relacionado à erosão hídrica e solos arenosos;
- Na Zona Rural de Uso Restrito: encontram-se áreas com risco de inundação e vulnerabilidade natural muito alta.

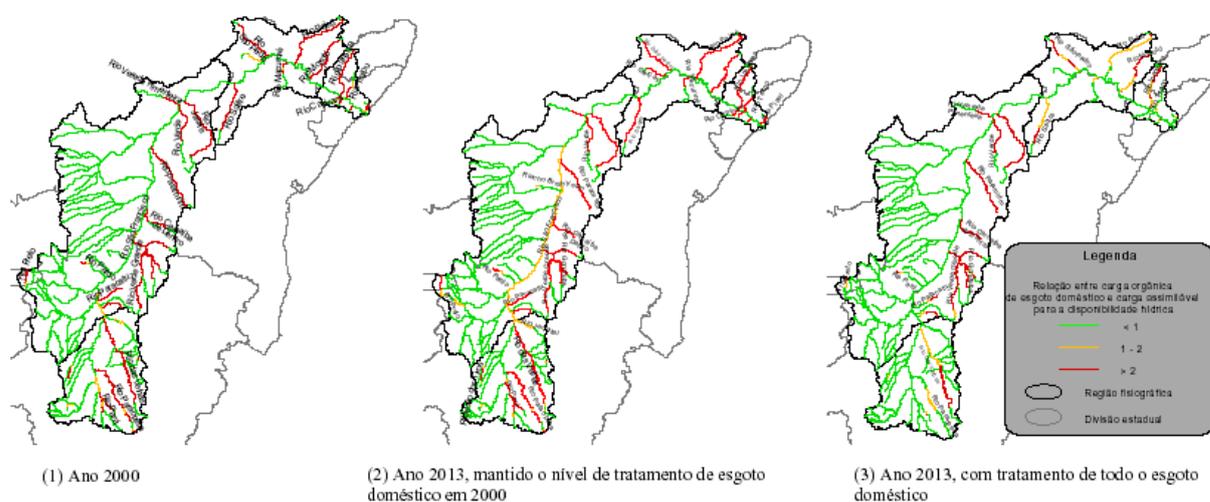
As Figuras 4.10 e 4.11 ilustram o mapeamento de processos erosivos e de poluição da água do Reservatório por excesso de nutrientes.

Figura 4.10 - Risco de degradação por erosão hídrica no Vale do São Francisco



Fonte: PACUERA, 2009 apud Reis *et al.*, 2003

Figura 4.11 - Relação entre carga orgânica de esgoto doméstico e carga assimilável por diluição para a disponibilidade hídrica (vazão regularizada somada com a vazão incremental de permanência de 95%).



Fonte: PACUERA, 2009, apud Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

4.3.2 Instrumentos de comando e controle

4.3.2.1 Licenciamento ambiental

Com relação aos instrumentos de comando e controle, o licenciamento ambiental se destaca pela dificuldade de ser obtido junto aos órgãos ambientais competentes. Os estudos para planejamento da UHE Itaparica foram elaborados na década de 70, quando ainda não era exigido o estudo de impacto ambiental, esse estudo só passou a ser exigido em 1981 após o estabelecimento da Política Nacional de Meio Ambiente. Dessa forma, os aspectos ambientais não foram avaliados de forma detalhada como é exigido nos dias atuais.

A exigência de estudo de impacto ambiental e a regularização sobre procedimento para obtenção de licenças ambientais somente se consolidaram no ano de 1987. Nesse ano, já com a obra em sua fase final de execução, foram estabelecidas as diretrizes para o licenciamento de obras de grande porte do setor elétrico.

Em julho de 1987 a CHESF se reuniu com o CRA-BA e a CPRH-PE para estabelecer o termo de referência para a execução do estudo ambiental e cronograma para obtenção da licença de

operação (LO). Em setembro de 1987 o CRA solicitou estudos complementares e em novembro de 1987 a CHESF publicou o pedido de LO nos principais jornais da Bahia e Pernambuco.

Em fevereiro de 1988 a CHESF iniciou o enchimento do reservatório. Em 14 de julho de 1988 a CPRH-PE emitiu a LO n. 123/88 com validade de um ano. Em julho de 1989 a CHESF solicitou a renovação da LO, não obtendo resposta. Enquanto que o CRA-BA fez várias exigências para a emissão da LO, que não ocorreu.

De acordo com a legislação ambiental vigente, Resolução CONAMA nº 006 de 16 de setembro de 1987 que diz: “Para o empreendimento que entrou em operação anteriormente a 1º de fevereiro de 1986, sua regularização se dará pela obtenção da (LO) sem a necessidade de apresentação de RIMA, mas com a concessionária encaminhando ao(s) órgão(s) estadual(ais) a descrição geral do empreendimento; a descrição do impacto ambiental provocado e as medidas de proteção adotadas ou em vias de adoção.”

Considerando que as obras de grande porte seriam licenciadas pelo órgão ambiental federal, o IBAMA emitiu novo termo de referência para que a LO pudesse ser emitida. A CHESF, através de uma licitação, contratou a AGAM Tecnologia LTDA (CT-I.92.2002.5880-00), para elaborar o Estudo ambiental da barragem de Itaparica, que compreendeu: análise dos dados sobre o empreendimento, definição da área de influência do estudo, definição das áreas de coleta de dados, trabalho de campo, elaboração de cartas e mapas, elaboração de cartas e mapas, análise dos impactos ambientais, identificação dos programas e medidas de proteção, mitigação e compensação.

Assim, em 2006, a UHE Itaparica teve sua licença de operação regularizada pelo órgão ambiental federal, IBAMA. A LO n. 510/2005 com validade de 4 anos. Atualmente, a referida LO encontra-se em processo de renovação. Entre os programas ambientais solicitados através da referida licença, estão:

- Programa de educação histórico patrimonial para os municípios atingidos pelo Empreendimento Itaparica;
- Programa de saúde e educação ambiental (PESA);
- Plano de uso do entorno dos reservatórios – PACUERA;

- Programa de conservação da fauna e flora terrestre;
- Programa de inventário dos ecossistemas aquáticos do baixo São Francisco;
- Programa de apoio institucional aos municípios do entorno dos reservatórios, com o objetivo de capacitá-los a captar recursos para investimentos nas áreas de saneamento, meio ambiente e desenvolvimento econômico;
- Programa de monitoramento das fontes de poluição externas aos reservatórios;
- Programa de recuperação de áreas degradadas;
- Programa de monitoramento dos pontos erosivos.

Os projetos de irrigação localizados em Pernambuco são licenciados desde o ano de 2003 pela Agência Estadual de Meio Ambiente do estado de Pernambuco - CPRH, com suas renovações ocorrendo anualmente. Entre os programas ambientais solicitados estão: monitoramento da fauna e flora das reservas legais, educação ambiental aos agricultores sobre o manejo de agrotóxicos, entre outros.

Quanto aos projetos de irrigação localizados na Bahia, apenas Jusante possui licença ambiental vigente emitida pelo Instituto de Meio Ambiente da Bahia - INEMA. Os demais (Rodelas e Pedra Branca) ainda estão em processo de regularização junto ao órgão ambiental. Glória está sendo licenciado pela Prefeitura Municipal, uma vez que o estado da Bahia estabeleceu que empreendimentos de micro e pequeno porte podem ser licenciados pelas prefeituras, o que agiliza os processos ambientais.

4.3.2.2 Fiscalização ambiental

A fiscalização ambiental é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente e objetiva garantir que os recursos naturais sejam explorados e utilizados em consonância com a legislação, prevenindo ou coibindo a poluição do solo, da água e do ar, além da degradação dos ecossistemas naturais. Na região em estudo é realizada pelo IBAMA, INEMA-BA, CPRH-PE, Agência Nacional de Águas – ANA, entre outros órgãos.

4.3.2.3 Outorga de uso da água

A outorga é um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo definida como ato administrativo de autorização, mediante o qual o poder público outorgante faculta ao outorgado o direito de uso do recurso hídrico por prazo determinado, nos termos e condições expressas no respectivo ato.

Desde 2002, todos os projetos de irrigação possuem outorga de água, conforme mostra a Tabela 4.14. A ANA estabelece um prazo de validade de 5 anos, podendo ser revista, suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, além de outras situações previstas na legislação pertinente, nos seguintes casos:

- Descumprimento do objeto da outorga em vigor;
- Conflito com normas posteriores sobre prioridade de usos de recursos hídricos;
- Incidência nos arts. 15 e 49 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997;
- Indeferimento ou cassação da licença ambiental;
- Quando os estudos de planejamento regional de utilização dos recursos hídricos indicarem a necessidade de revisão das outorgas emitidas;
- Quando for necessária a adequação para garantir as prioridades de uso previstas nos planos de recursos hídricos.

Tabela 4.14 – Informações sobre outorgas de água emitidas pela ANA para os projetos de irrigação localizados no entorno do reservatório de Itaparica

Projeto de irrigação	Resolução	Validade
Apolônio Sales	Nº 592, de 10/09/2008	10/09/2013
Barreiras Bl 1	Nº 593, de 10/09/2008	10/09/2013
Brígida	Nº 591, de 10/09/2008	10/09/2013
Caraíbas	Nº 570, de 09/09/2008	09/09/2013
Glória	Nº 181, de 20/04/2006	20/04/2011
Icó-Mandantes	Nº 569, de 09/09/2008	09/09/2013
Jusante	Nº 020, de 08/02/2007	08/02/2012
Manga de Baixo	Nº 590, de 10/09/2008	10/09/2008
Pedra Branca	Nº 571, de 09/09/2008	09/09/2013
Rodelas	Nº 594, de 10/09/2008	10/09/2013

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.2.4 Cobrança pelo uso da água

A cobrança pelo uso da água é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, tem por finalidade reconhecer a água como bem econômico, incentivar a racionalização do seu uso e obter recursos para o financiamento de ações previstas nos planos de bacia. A cobrança pelo uso da água está vinculada à outorga. Na bacia hidrográfica do rio a cobrança teve início em julho de 2010. Os valores cobrados foram propostos pelo Comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco por meio da deliberação n°. 40/2008 e aprovados pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (resolução n°. 108/2010), os quais são mostrados na Tabela 4.15. O valor cobrado pelo uso dos recursos hídricos para irrigação dos projetos de irrigação é de cerca de R\$ 180.000,00 por ano.

Tabela 4.15 – Valores cobrados pelos usos dos recursos hídricos na BHRSF

Tipo de uso	Unidade	Valor
Captação de água bruta	R\$/m ³	0,01
Captação de água bruta	R\$/m ³	0,02
Lançamento de carga orgânica DBO _{5,20}	R\$/m ³	0,07

Fonte: ANA (2010)

4.3.2.5 Compensação ambiental

A compensação ambiental é um instrumento que viabiliza o planejamento para a conservação, sendo exigido durante o processo de licenciamento ambiental ou um instrumento correcional, quando o dano ambiental já foi provocado pelo infrator.

O instrumento da Compensação está contido expressamente no Art. 36 da Lei n°. 9985 de 18 de Julho de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e regulamentado pelo Decreto n° 4340, de 22 de agosto 2002, alterado pelo Decreto n°. 5.566/05.

Quando a Compensação Ambiental se enquadra na modalidade Licenciamento Ambiental, haverá o apoio financeiro do empreendedor às unidades de conservação. Neste caso, o percentual é fixado pelo órgão ambiental licenciador, levando em conta o grau do impacto ambiental causado, chegando até 0,5% do valor investido na construção do empreendimento.

No caso do reservatório de Itaparica, a legislação ambiental ainda estava incipiente quando da implantação do empreendimento, dessa forma, a compensação ambiental ainda está sendo repassada ao IBAMA.

4.3.3 Instrumentos para tomada de decisão

A seguir os principais instrumentos de tomada de decisão.

4.3.3.1 Enquadramento dos corpos d' água

O enquadramento dos corpos d' água é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, bem como um instrumento de planejamento ambiental, pois estabelece o padrão de qualidade a ser alcançado ou mantido por um corpo d' água. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece para o território brasileiro 13 classes de uso, sendo 5 para águas doces, 4 para águas salobras e 4 para salinas.

O reservatório de Itaparica está enquadrado como um corpo d' água de Classe 2, onde suas águas podem ser destinadas para:

- i) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- ii) a proteção das comunidades aquáticas;
- iii) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n.º 274, de 2000;
- iv) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- v) a aquicultura e a atividade de pesca.

4.3.3.2 Monitoramento ambiental

O monitoramento ambiental consiste na medição, periódica ou contínua, das condições do meio ambiente, podendo consistir em monitoramento da qualidade e quantidade da água, da qualidade do ar, do uso e ocupação do solo ou, ainda, da evolução da cobertura de vegetação natural ou plantada. Em todos os casos, é fundamental que as informações sejam confiáveis e comparáveis no tempo, demonstrando a melhoria ou não da qualidade ambiental.

A importância do monitoramento deve ser entendida no contexto da gestão ambiental como elemento estratégico na tomada de decisão, particularmente no planejamento de novas intervenções em determinada região, na atividade de licenciamento ambiental e como suporte à fiscalização. Isto porque a falta ou precariedade de informações aumenta a incerteza das decisões nas ações de planejamento e controle (BRAGA, 2009).

Periodicamente é realizado pela CHESF o monitoramento da qualidade de água do reservatório, de processos erosivos, de fauna, flora, entre outros. Cujos resultados são enviados aos órgãos ambientais competentes para análise.

4.3.3.3 Sistemas de informações ambientais e de recursos hídricos

O acesso público aos dados e informações existentes em órgãos integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente é assegurado pela Lei 10.650 (Brasil, 2003). Por essa lei, qualquer indivíduo, independentemente de um interesse específico, tem direito de acesso às informações ambientais.

A PNMA tem como um dos instrumentos o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente – SINIMA. Já o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos – SNIRH, previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, tem por objetivo reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil.

4.3.3.4 Instâncias de decisão colegiada

Conforme estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Dessa forma, observa-se a participação da sociedade em diversos comitês nas áreas de meio ambiente e recursos hídricos. De acordo com Braga (2009), a gradativa reforma do Estado brasileiro, com conseqüente modernização no setor público e ampliação das bases democráticas de tomada de decisão, ensejou o reconhecimento na própria Constituição, e posteriormente nas diversas leis ordinárias, de um necessário arcabouço institucional que valorize os colegiados, com participação da sociedade.

Entre os conselhos de decisão colegiada no nível federal estão:

- i) Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA: instituído pela Política Nacional de Meio Ambiente, tem por finalidade assessorar, estudar e propor diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente. Ao mesmo tempo tem competência para, entre outros: estabelecer normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras; decidir, em última instância administrativa, sobre as multas e demais penalidades impostas pelo IBAMA; estabelecer normas, critérios e padrões nacionais de qualidade do meio ambiente; monitorar e avaliar a implementação e execução de política e normas ambientais; e deliberar por meio de resoluções, visando o cumprimento dos objetivos da PNMA.
- ii) Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH: instituído pela Política Nacional de Recursos Hídricos, tem por finalidade analisar propostas de alteração da legislação pertinente a recursos hídricos; estabelecer diretrizes para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos; promover a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regionais, estaduais e dos setores usuários; arbitrar conflitos sobre recursos hídricos; deliberar sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos cujas repercussões extrapolam o âmbito dos estados em que serão implantados; aprovar propostas de instituição de comitês de bacia hidrográfica; estabelecer critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso; e aprovar o Plano Nacional de Recursos Hídricos e acompanhar sua execução.

Quanto às instâncias de decisão no nível da bacia hidrográfica, estão:

- i) Comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco – CBH-SF: tem por finalidade implementar a política de recursos hídricos ao nível da bacia, estabelecer regras de conduta locais, gerenciar os conflitos e os interesses locais através da descentralização do poder de decisão, integração das ações públicas e privadas e participação de todos os setores sociais. O Plenário é o órgão deliberativo do CBHSF, composto por sessenta e dois membros titulares, sendo: poder público (32,2 %), usuários da bacia hidrográfica (38,7 %), sociedade civil (25,8 %) e comunidades indígenas (3,3 %). O Plenário do CBHSF encaminhará ao CNRH, questões de competência deste, conforme previsões legais, ou ainda aqueles que não forem resolvidos no âmbito do CBHSF.

- ii) Comitê Gestor do Território Itaparica: composto por representantes da sociedade civil dos 13 municípios do Território Itaparica e representantes de instituições oficiais e entidades de apoio. Tem como finalidade promover o desenvolvimento do Território Itaparica. O processo se deu de forma democrática com uma ampla discussão, em cada município, e contou com o acompanhamento de representantes do MDA.

Entre os representantes pode-se citar como poder público: Prefeituras, empresas federais de geração de energia, de desenvolvimento regional, de pesquisa agropecuária, instituições oficiais de crédito, previdência social e escritórios que respondem pelas políticas ambiental e indígena. Vinculados aos governos estaduais, existem campus universitário, representações de órgãos de pesquisa, de assistência técnica, extensão rural e de desenvolvimento regional.

No campo da sociedade civil, o Território conta com os Sindicatos de Trabalhadores Rurais e dezenas de Associações de Produtores Rurais em todos os municípios, Cooperativas Agrícolas, Colônias de Pescadores, Grupos informais de Produção e Comercialização, inclusive de produtos orgânicos, Grupos de Artesanato e Movimento de Jovens do meio rural. Existem organizações não-governamentais de base territorial atuando no meio urbano e rural, dentre elas, o Pólo Sindical dos Trabalhadores Rurais do Submédio São Francisco.

Através de um processo de mobilização social e planejamento governamental foi elaborado o Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável - PTDRS, o qual se alicerça em quatro princípios básicos: cidadania, mobilização social, desenvolvimento solidário e sustentabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

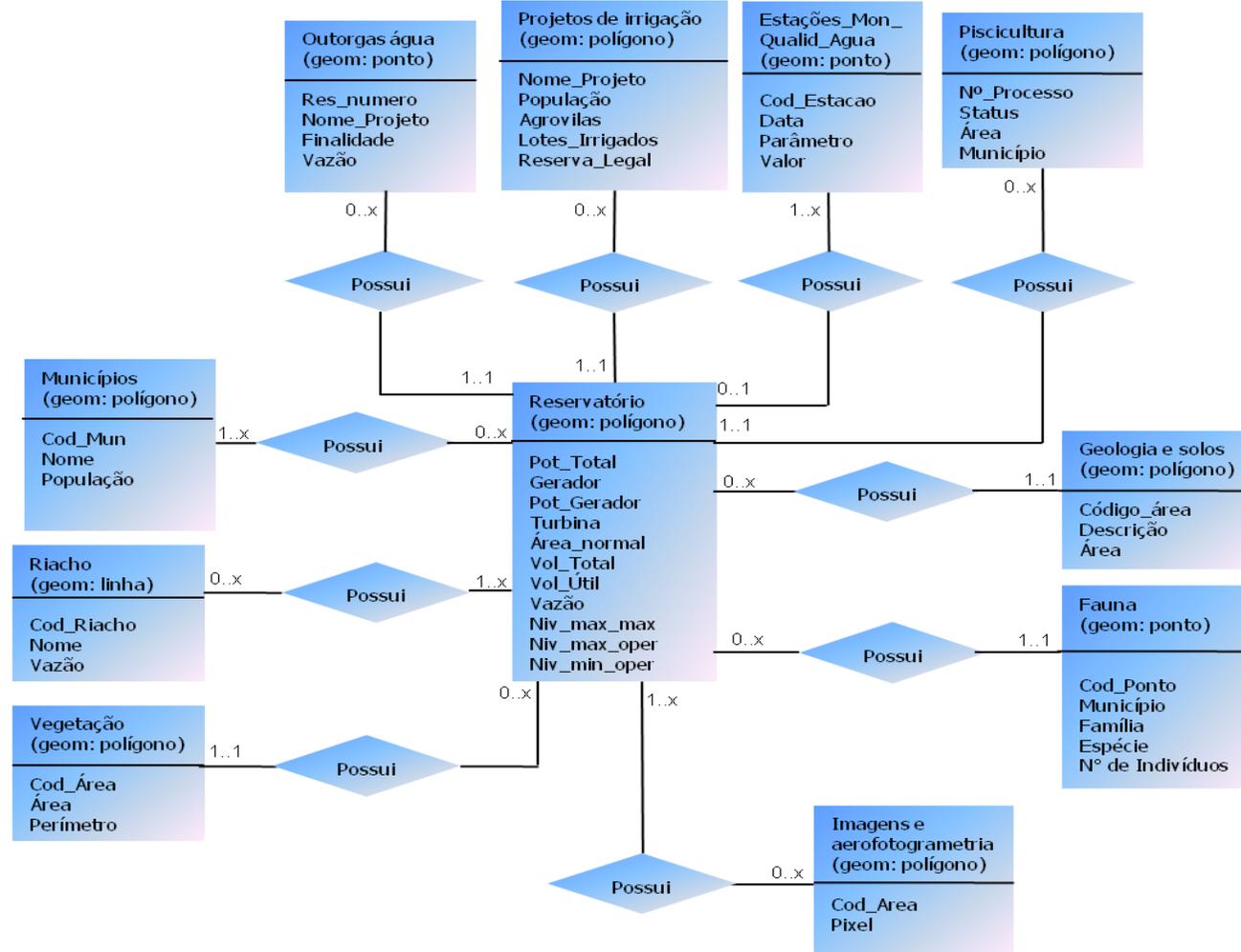
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da metodologia descrita no Capítulo 3 e uma discussão dos mesmos. Inicialmente mostra o projeto conceitual do banco de dados geográfico para o reservatório de Itaparica e o desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica. Em seguida apresenta análises espaciais integradas para o reservatório em estudo, dividido em caracterização ambiental e análise da qualidade da água, finalizando com cenários para subsidiar os gestores na tomada de decisão.

5.1 ESTRUTURAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO

Para a construção de um sistema de informação geográfica é necessário definir os diferentes tipos de dados que serão manipulados, ou seja, definir o modelo conceitual do banco de dados geográfico. Para a presente pesquisa foi utilizado o diagrama entidade-relacionamento para definir os relacionamentos entre os objetos do sistema (Figura 5.1).

O referido modelo foi escolhido por possuir uma notação gráfica simples e utilizar apenas três tipos construtores básicos: entidade, relacionamento e atributo. Onde a entidade é uma representação abstrata do mundo real, que possui uma existência independente e sobre a qual se deseja guardar e recuperar informações. O relacionamento é uma associação entre duas ou mais entidades e o atributo descreve uma entidade ou relacionamento.

Figura 5.1 – Projeto conceitual do banco de dados geográfico para o reservatório de Itaparica, através do diagrama entidade-relacionamento



Fonte: Elaborado pelo autor

No caso do modelo para o reservatório de Itaparica, pode-se dizer que são entidades: municípios, projetos de irrigação, estações de monitoramento de qualidade de água, entre outras.

Sobre os relacionamentos entre as entidades, pode-se destacar os seguintes exemplos:

- um reservatório possui um ou mais municípios em seu entorno;
- um reservatório possui uma, muitas ou nenhuma estação de monitoramento de água;
- um reservatório possui um, muitos ou nenhum projeto de irrigação em seu entorno;
- um reservatório possui um ou muitos riachos.

Como exemplos de atributos estão os parâmetros de qualidade de água analisados e os dados demográficos para os municípios. O modelo entidade-relacionamento também foi utilizado por Lins (2007) para modelar dados espaciais para elaboração do Sistema de Informações Geográficas do Alto Vale do rio Ipojuca, visando o apoio à tomada de decisões gerenciais.

5.2 DESENVOLVIMENTO DO SIG-ITAPARICA

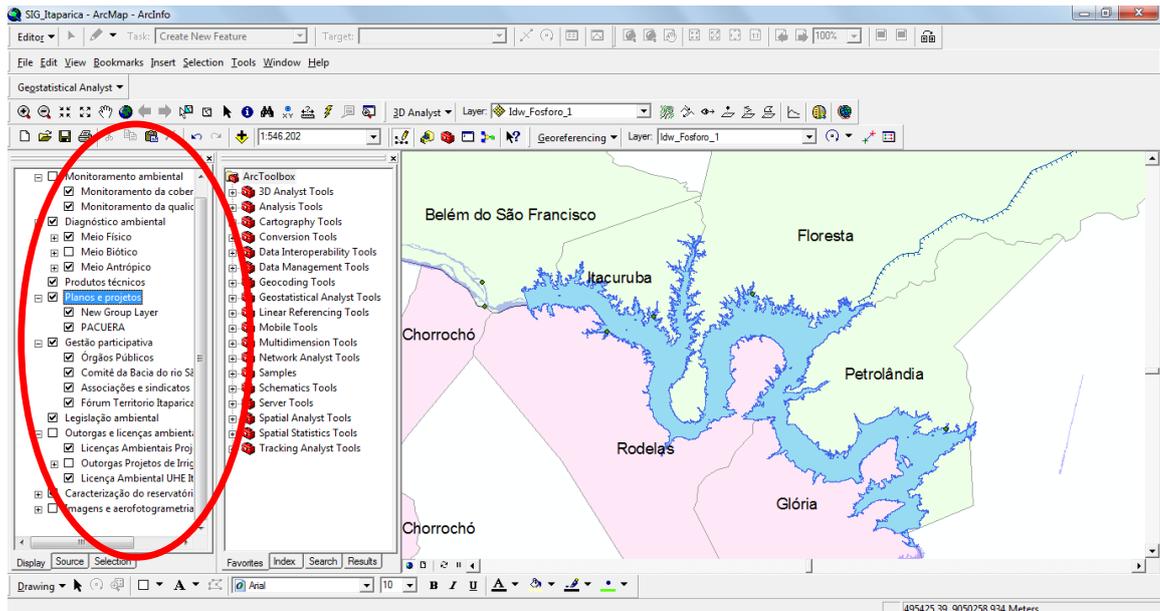
As geotecnologias, com ênfase aos bancos de dados geográficos e aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), possibilitam uma visão integrada do mundo real. Este trabalho mostra o desenvolvimento de um sistema de informação geográfica, chamado SIG-Itaparica, que implementa o projeto conceitual do banco de dados geográfico já apresentado (Figura 5.1).

O SIG-Itaparica foi projetado tendo como diretriz unificar e integrar informações dispersas em diferentes fontes de dados (mapas, planilhas, licenças ambientais, relatório de monitoramento ambiental, projetos e programas, entre outros documentos). Entre as utilidades do SIG_Itaparica estão: (i) banco de dados geográfico, com funções de armazenar e processar informações espaciais; (ii) produção de mapas temáticos; (iii) emissão de relatórios; (iv) análise espacial e integrada de dados; (v) apoio à tomada de decisão.

Para implementar o SIG-Itaparica foi utilizado o programa ArcGIS 9.3 (ESRI). A escolha desse software se deu pela facilidade de manuseio, além da disponibilidade de ferramentas para análise espacial. Após a delimitação da área de estudo e aquisição de dados, foi definida a ordem de apresentação dos Planos de Informações (PI) ou *layers*, os quais consistem de camadas de

informações que podem ser intercaladas com outras, formando mapeamentos temáticos. A Figura 5.2 mostra uma visualização do Sistema de Informações Geográficas para o reservatório de Itaparica, destacando os planos de informações. A Tabela 5.1 apresenta a ordem dos planos de informações.

Figura 5.2 – Ordem de apresentação dos Planos de Informações



Fonte: Elaborado pelo autor

A ordem dos PI foi definida obedecendo a uma ordem lógica e coerente de sobreposição do ArcGIS, onde as feições pontuais estão acima das lineares, que por sua vez estão acima das poligonais e das imagens (dados raster). Dessa forma, as imagens e as bases cartográficas do reservatório e dos municípios ficaram entre as últimas camadas dos PI, de forma a servir como base para a construção de mapas temáticos e não sobrepor outras informações.

Tabela 5.1 – Ordem e conteúdos dos planos de informação do SIG-Itaparica

Plano de Informação	Conteúdo
Diagnóstico ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Meio físico <ul style="list-style-type: none"> - Dados climáticos - Geologia_BA - Qualidade de água - Drenagem Riachos - Meio biótico <ul style="list-style-type: none"> - Vegetação - Áreas protegidas - Meio antrópico <ul style="list-style-type: none"> - AID_2km - AII_10km - Aquicultura - Projetos de irrigação - Áreas urbanas - Uso e ocupação do solo - Captação para abastecimento
Produtos técnicos	<ul style="list-style-type: none"> - Teses e dissertações - Artigos técnicos
Planos e projetos	<ul style="list-style-type: none"> - PACUERA - Plano Nacional de Recursos Hídricos - Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
Gestão participativa	<ul style="list-style-type: none"> - Órgãos públicos - Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco - Associação e Sindicatos - Fórum Território Itaparica
Legislação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Leis Federais - Leis Estaduais - Leis Municipais - Resoluções e Normas
Outorgas e licenças ambientais	<ul style="list-style-type: none"> - Licenças ambientais Projetos de Irrigação - Outorgas Projetos de Irrigação - Licença ambiental UHE Luiz Gonzaga (Itaparica)
Caracterização do reservatório e entorno	<ul style="list-style-type: none"> - reservatório de Itaparica - Linha de Transmissão - Dados e localização da UHE Luiz Gonzaga (Itaparica) - Eixo Leste (Projeto São Francisco) - rio São Francisco - Vias secundárias - Vias primárias - Municípios_PE - Municípios_BA - Limite Estadual
Imagens e aerofotogrametria	<ul style="list-style-type: none"> - Fotos aéreas - Imagem CBERS Nov 2005

Fonte: Elaborado pelo autor

Para o projeto SIG-Itaparica foi definido o sistema geográfico de referência SIRGAS 2000 e sistema de projeção UTM. Os dados alfanuméricos foram organizados em tabelas com auxílio do programa Microsoft Excel (dados de captação de água, dados de qualidade de água etc.) e preparados para serem importados pelo software ArcGIS.

Em seguida foi realizado o processamento das bases vetoriais no software ArcGIS. Os primeiros PI adicionados foram os municípios do entorno do reservatório (base cartográfica do IBGE) e o reservatório (base obtida a partir de levantamento aerofotogramétrico realizado pela CHESF/TOPOCART). Logo após foram adicionadas informações espaciais para compor o plano de informações de diagnóstico ambiental, como vegetação (base obtida na CODEVASF, Projeto São Francisco na escala de 1:100.000), hidrografia (base obtida na CODEVASF, Projeto São Francisco na escala de 1:100.000), geologia (base cartográfica do DNPM). Também foram inseridos mapas dos projetos de irrigação em AutoCAD (.dwg) e transformados em arquivos *shapefile* (.shp).

Após a inserção das bases vetoriais, teve início a importação das planilhas Microsoft Excel para o SIG, as quais, depois de inseridas no ArcGIS, foram salvas em formato *shapefile* (.shp). Foram criados hiperlinks nessas tabelas para que o usuário tenha possibilidade de acessar documentos de texto referentes ao reservatório, tais como: estudos ambientais, licenças ambientais, outorgas de água e relatórios de monitoramento ambiental. Para complementar o SIG foram inseridas imagem de satélite (CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) e ortofotocartas de levantamento realizado pela CHESF/ TOPOCART.

Após a construção do SIG, foi possível criar uma série de mapas temáticos e realizar desde consultas simples, como obter dados do reservatório e da usina hidrelétrica, visualização de licenças ambientais e outorgas de água, até consultas de tipo e quantidade de vegetação presente na APP, parâmetros de qualidade de água, entre outras, os quais serão apresentados na seção seguinte. Proporcionando com isso uma visão integrada da realidade e auxiliando o gestor em obter respostas, de forma rápida e precisa, aos questionamentos e consultas que são realizados tanto pelo alto escalão da empresa gestora do reservatório, como pelos órgãos ambientais, pelo ministério público, pelas organizações civis, pelas comunidades, etc., funcionando efetivamente como uma ferramenta de auxílio à gestão no cotidiano do gestor ambiental.

5.3 ANÁLISES ESPACIAIS INTEGRADAS PARA O RESERVATÓRIO DE ITAPARICA UTILIZANDO O SIG-ITAPARICA

5.3.1 Caracterização ambiental

5.3.1.1 Meio físico

i) Clima

Para a presente pesquisa, o monitoramento climático foi obtido da estação meteorológica de Paulo Afonso, operada pela CHESF, para os anos de 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010. As Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 mostram as tabelas de atributos obtidas no SIG-Itaparica com dados climatológicos para os anos de 2008, 2009 e 2010.

Figura 5.3 – Dados climatológicos da região do reservatório Itaparica para o ano de 2008

FID	Shape *	Longitude	Latitude	meses	T celsius	Precip mm	Insol h di	Evapor mm	Vento m s	umid ar
0	Point	575535	8989188	jan	27.3	0	8.98	332.1	3.2	66
1	Point	575535	8989188	fev	25.9	55	8.06	228.2	2.6	70
2	Point	575535	8989188	mar	26.6	97	6.66	167.1	2.3	77
3	Point	575535	8989188	abr	26.7	60.4	7.44	144.2	2.4	76
4	Point	575535	8989188	mai	25.2	64.6	4.18	129.5	3.5	79
5	Point	575535	8989188	jun	23.4	32.3	4.98	118.7	3.4	80
6	Point	575535	8989188	jul	22.2	92.1	5.16	112.8	4.3	83
7	Point	575535	8989188	ago	23.2	36.2	5.62	189	3.8	78
8	Point	575535	8989188	set	25.3	11.1	8.02	261	4.6	69
9	Point	575535	8989188	out	26.8	2.6	9.08	336.4	4.8	63
10	Point	575535	8989188	nov	22.1	0	10.25	350.3	3.2	59
11	Point	575535	8989188	dez	27.8	153.7	9.24	305.3	2.9	66
12	Point	575535	8989188	total	302.5	605	87.67	2674.6	4.1	866
13	Point	575535	8989188	media	25.208333	50.416667	7.305833	222.883333	3.416667	72.166667

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.4 – Dados climatológicos da região do reservatório Itaparica para o ano de 2009

FID	Shape *	Longitude	Latitude	meses	T celsius	Precip mm	Insol h di	Evapor mm	Vento m s	umid ar
0	Point	575535	8989188	jan	28.3	5.7	8.8	291	2.6	67
1	Point	575535	8989188	fev	27.7	4.1	7.26	277.9	3.1	68
2	Point	575535	8989188	mar	29.1	8.1	9.54	279.7	2.4	65
3	Point	575535	8989188	abr	26.7	169.5	7.2	136.4	2.4	78
4	Point	575535	8989188	mai	25	188.4	3.43	72.5	2.8	84
5	Point	575535	8989188	jun	23.7	67.1	4.95	82.7	3.3	86
6	Point	575535	8989188	jul	23.2	36.5	5.83	105.7	3.5	84
7	Point	575535	8989188	ago	23.1	54.3	4.77	119	3.7	84
8	Point	575535	8989188	set	25.1	1.7	8.41	225.4	3.5	72
9	Point	575535	8989188	out	27.2	72.8	0	261	2.6	65
10	Point	575535	8989188	nov	27.8	5.3	9.87	332.5	3.4	40
11	Point	575535	8989188	dez	27.9	38.8	7.9	309.4	2.9	65
12	Point	575535	8989188	total	314.8	652.3	77.96	2493.2	36.2	858
13	Point	575535	8989188	media	26.233333	54.358333	7.087273	207.766667	3.016667	71.5

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.5 – Dados climatológicos da região do reservatório Itaparica para o ano de 2010

FID	Shape *	Longitude	Latitude	meses	T celsius	Precip mm	Insol h di	Evapor mm	Vento m s	umid ar
0	Point	575535	8989188	jan	27.6	34.6	8.24	207.4	2.9	68
1	Point	575535	8989188	fev	27.7	36.5	7.81	295.8	0	69
2	Point	575535	8989188	mar	27.7	54.9	8.37	216.6	0	74
3	Point	575535	8989188	abr	26.8	147.9	7.4	157.1	0	79
4	Point	575535	8989188	mai	25.8	59.4	7.87	147.3	0	81
5	Point	575535	8989188	jun	23.9	51.9	3.82	105.9	3.6	82
6	Point	575535	8989188	jul	23.3	41.4	5.6	124.1	3.9	81
7	Point	575535	8989188	ago	23	32.5	6.02	174.3	4	77
8	Point	575535	8989188	set	0	0	0	0	0	0
9	Point	575535	8989188	out	26.7	13.5	6.4	259.5	3.8	66
10	Point	575535	8989188	nov	28	0	10.12	332.1	3.4	59
11	Point	575535	8989188	dez	27.5	17.9	8.06	280	2.4	67
12	Point	575535	8989188	total	288	490.5	79.71	2290.1	24	803
13	Point	575535	8989188	media	26.18	44.59	7.246364	208.190909	3.428571	73

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que o total precipitado para os anos de 2008, 2009 e 2010 foi de 605, 652,3 e 490,5 mm/ano, respectivamente. Enquanto que a evaporação foi de 2674,6 mm/ano em 2008, 2493,2 mm/ano em 2009 e 2290,1 mm/ano em 2010. Assim, a elevada evaporação e a baixa precipitação, somada à irregularidade das mesmas, culmina com o fenômeno das estiagens prolongadas, de graves consequências econômicas, sociais e ambientais.

Estudo semelhante foi observado para a bacia do rio Castelo, onde Castro Júnior (2008) preparou um inventário cartográfico digital da caracterização fisiográfica do meio para auxiliar no zoneamento e diagnóstico geoambiental da região.

ii) Geologia

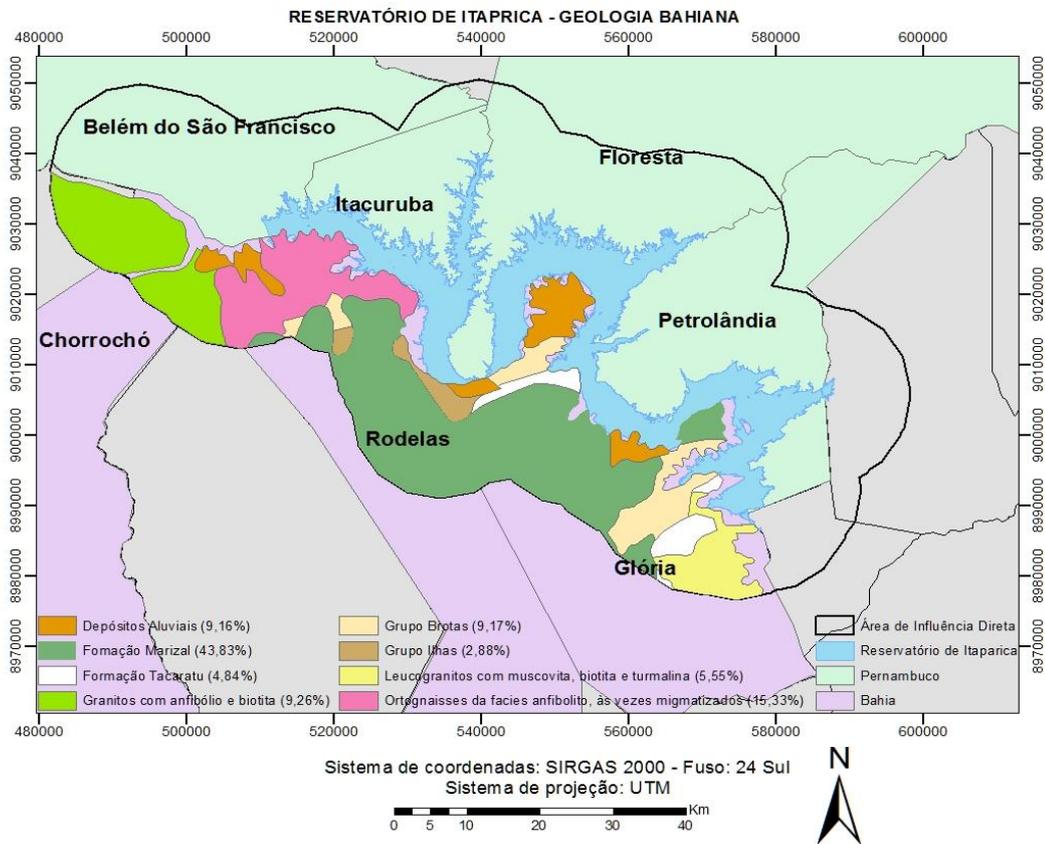
Através do SIG-Itaparica foi elaborada a Figura 5.6, a qual mostra que predomina a formação Marizal (Km) formada por conglomerados, arenitos, folhelhos, siltitos e lentes de calcário. Em áreas isoladas como no distrito de Barra do Tarrachil e nos municípios de Rodelas aparecem as coberturas terrígenas arenosas e areno-lamosas com níveis cascalhosos (TQd).

A Figura 5.6 mostra que na área de influência indireta (10 km) do reservatório de Itaparica localizada no estado da Bahia, a formação Marizal (conglomerados, arenitos, folhelhos, siltitos e lentes de calcários) representa 43,83 % (582,02 km²) da área em estudo, seguida das Ortognaisses (15,33%), Granitos com anfibólio e biotita das regiões de Crorrochó e Abaré (9,26 %), Grupo Brotas: arenitos finos a conglomeráticos, conglomerados e folhelhos (9,17 %), Depósitos Aluviais. areias e argilas arenosas (9,16 %), Leucogranitos com muscovita (5,55),

Formação Tacaratu: arenitos finos, conglomerados e folhelhos (4,84 %), Grupo Ilhas: folhelhos com níveis carbonáticos, arenitos finos e ritmitos (2,86 %).

Análise semelhante foi realizada por Dias (2006) para o município de Pires do Rio (GO). A autora utilizou técnicas de geoprocessamento para mapear o meio físico do município e obteve que a categoria geológica predominante é a Granada Gnaisse, Anfibolito, Quartzito em 45% do total. Já Diniz (2002), utilizou um SIG com a finalidade de compor cenários dinâmicos utilizando critérios de geologia de engenharia.

Figura 5.6 – Formações geológicas presentes na AII do reservatório de Itaparica – Bahia



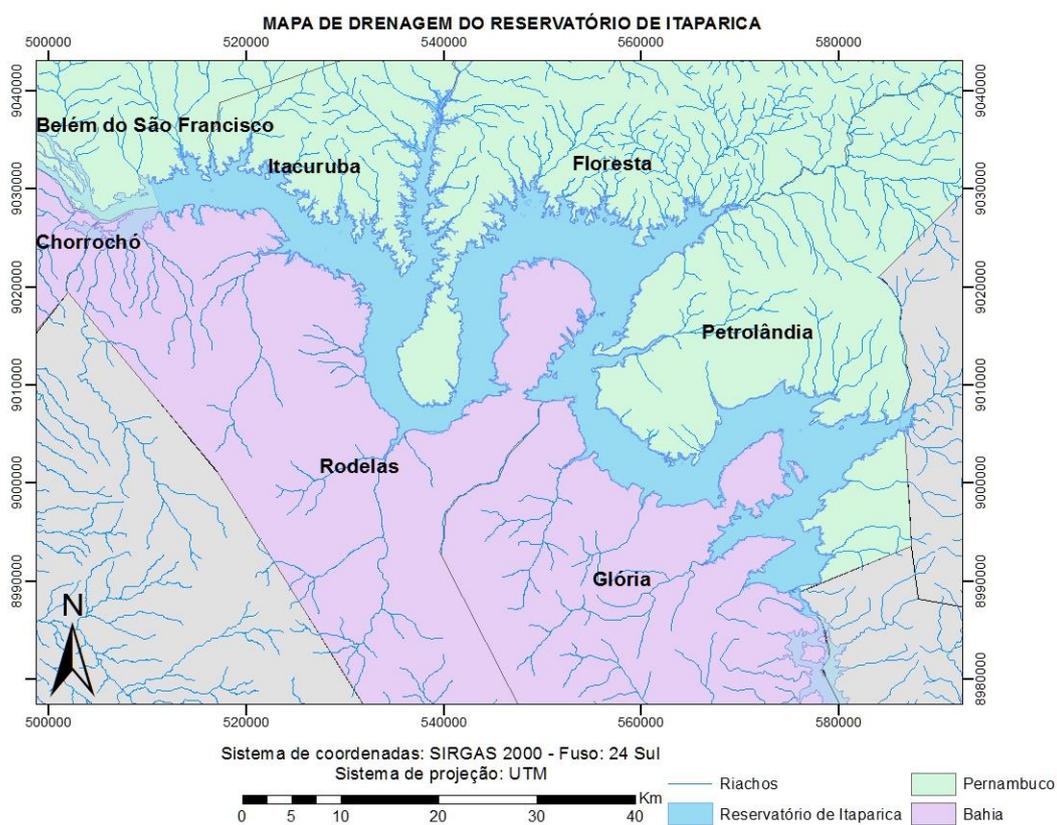
Fonte: Elaborado pelo autor

iii) Recursos Hídricos

Através do SIG-Itaparica foi elaborada a Figura 5.7, a qual apresenta o mapa de drenagem para a área do entorno do reservatório de Itaparica, compreendendo um conjunto de rios e riachos que deságuam no reservatório. É importante o conhecimento desses corpos d'água, uma vez que, dependendo de suas características, permitem um maior ou um menor carreamento de

sedimentos e poluentes para o corpo d'água principal. Conforme estudos realizados por Barros (2004), o reservatório de Itaparica é medianamente dendrítico, sobretudo na margem pernambucana, onde se encontram os afluentes mais expressivos (Pajeú e Moxotó). A Figura 5.8 apresenta um recorte entre os municípios de Petrolândia, Floresta e Rodelas para que os riachos possam ser melhor visualizados.

Figura 5.7 – Mapa de drenagem do reservatório Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.8 – Recorte na rede de drenagem do reservatório Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

O reservatório de Itaparica foi construído com o objetivo principal de geração de energia elétrica, não tendo a finalidade de reservar água. Entretanto, devido às suas dimensões e localização, logo se tornou um reservatório de usos múltiplos. Como faz parte de uma cascata de reservatórios, a função de regularizar a vazão e reservar água é do reservatório de Sobradinho, localizado a montante de Itaparica. Dessa forma, a operação do reservatório de Itaparica é realizada com um deplecionamento de até 5 m. Na cota máxima normal de 304 m, o reservatório de Itaparica apresenta uma área de 834 km² e um volume de 10,7 x 10⁹ m³, enquanto que na cota mínima operacional de 299 m, sua área é de 611 km².

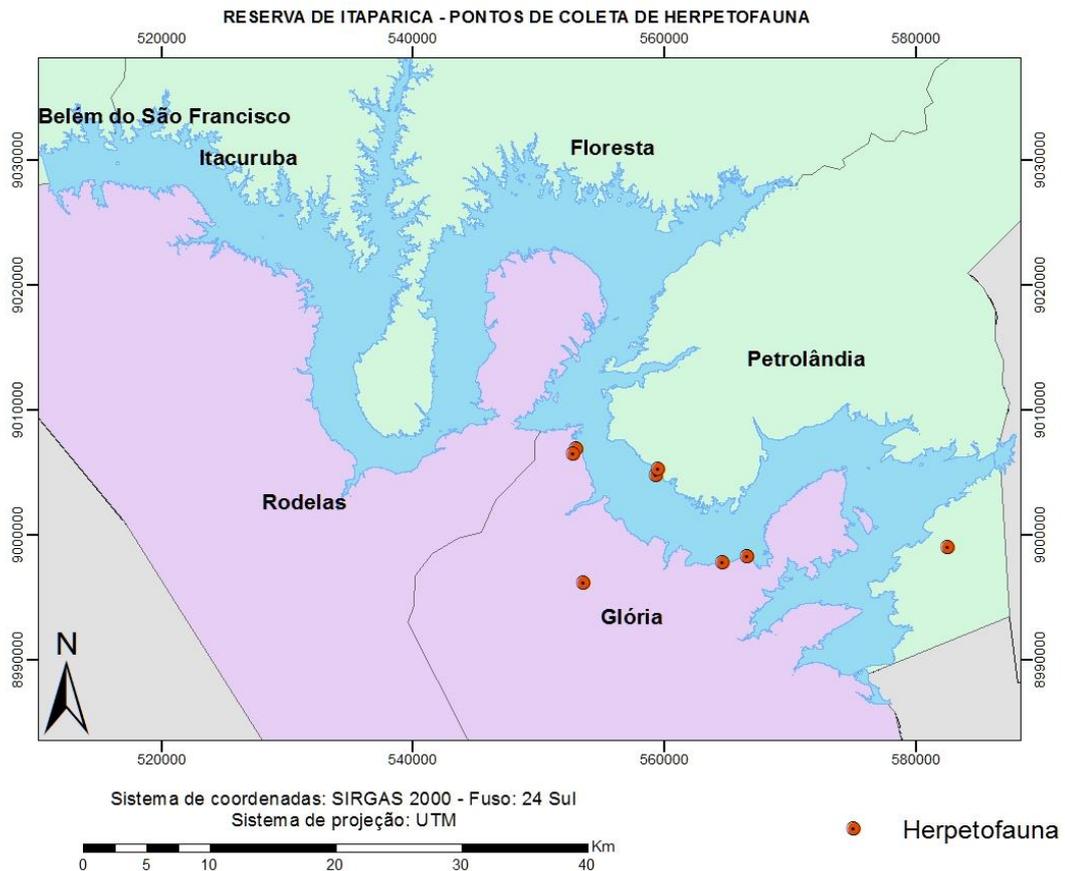
5.3.1.2 Meio biótico

i) Fauna

Entre 2007 e 2009, CHESF e PETCON (2009) realizaram um levantamento da fauna (herpetofauna, avifauna e mastofauna) nas áreas de caatinga no entorno do reservatório de Itaparica. Para isso foram realizadas oito campanhas em campo. Para a coleta da herpetofauna

utilizaram três técnicas: (i) armadilhas de interceptação e queda; (ii) coleta oportunista ativa; (iii) coleta manual. Através do SIG-Itaparica é possível identificar os pontos de coleta, conforme mostra a Figura 5.9.

Figura 5.9 – Mapa dos pontos de captura de herpetofauna



Fonte: Elaborado pelo autor

Como resultados para os pontos de coleta do município de Petrolândia (caatinga do Projeto Barreiras e na Área de Reserva Legal do projeto Icó Mandantes Bloco-3) foram registradas 44 espécies da herpetofauna, das quais 22 eram de anfíbios, pertencentes à ordem Anura e distribuídos nas famílias: *Bufo* (2 sp), *Leptodactylidae* (4 sp), *Leiuperidae* (6 sp), *Hylidae* (9 sp) e *Mycrohylidae* (1 sp); 14 eram de lacertílios pertencentes às famílias *Gekkonidae* (3 sp), *Phyllodactylidae* (2 sp) *Teiidae* (3 sp), *Tropiduridae* (3 sp), *Iguanidae* (1 sp), *Gymnophthalmidae* (1 sp) e *Amphisbaenidae* (1sp); sete eram de serpentes pertencentes as famílias *Dipsadidae* (4 sp), *Elapidae* (1 sp), *Thyphlopidae* (1 sp) e *Viperidae* (1 sp) e um quelônio pertencente a família *Chelidae*.

Na caatinga do Projeto Barreiras e na Área de Reserva Legal do projeto Icó Mandantes Bloco-3 houve uma maior captura de anuros e répteis no período chuvoso. As famílias *Mycrohylidae*, *Elapidae* e *Viperidae* só foram capturadas na estação chuvosa, enquanto as famílias *Gymnophthalmidae*, *Amphisbaenidae*, *Thyphlopidae* só foram capturadas na estação seca. As outras famílias foram capturadas nas duas estações.

Durante os levantamentos realizados na caatinga do Projeto Jusante e caatinga do Projeto Glória, localizadas nos municípios de Glória e Rodelas, Bahia, foram registradas 40 espécies da herpetofauna, das quais 19 eram de anfíbios pertencentes à ordem Anura e distribuídos nas famílias *Bufo* (2 sp), *Leptodactylidae* (3sp), *Leiuperidae* (9 sp) e *Hylidae* (5 sp); 14 eram de lacertílios pertencentes às famílias *Gekkonidae* (3 sp), *Phyllodactylidae* (2 sp) *Teiidae* (3 sp), *Tropiduridae* (3 sp), *Iguanidae* (1 sp), *Gymnophthalmidae* (1 sp) e *Scincidae* (1sp); cinco eram de serpentes pertencentes às famílias *Dipsadidae* (4 sp) e *Viperidae* (1 sp); um quelônio pertencente à família *Chelidae* e um crocodiliano pertencente à família *Aligatoridae*.

A Figura 5.10 mostra como os dados estão armazenados no SIG-Itaparica e as Fotografias 5.1 e 5.2, também extraídas do SIG-Itaparica, mostram algumas espécies identificadas.

Figura 5.10 – Dados de herpetofauna armazenados no SIG-Itaparica

FID	Shape	CAMPA	COOR	COORD	uREA	FAMOLIA	ESPCIE	N°MERO	REGISTRO	NOME POPUL
39	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Bufo	Rinella jimi	1	busca ativa / observa	
40	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Bufo	Rinella granulosa	5	busca ativa / observa	Sapo-de-verrugas
41	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Leptodactylidae	Leptodactylus ocellatus	2	busca ativa / observa	R/E-manteiga
42	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Leptodactylidae	Pleurodema diplolistris	17	busca ativa / observa	
43	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Leptodactylidae	Pseudopaludicola sp	4	busca ativa / observa	
44	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Leptodactylidae	Leptodactylus troglodytes	1	busca ativa / observa	
45	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Gekkonidae	Hemidactylus brasiliiana	3	busca ativa / observa	
46	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Gekkonidae	Lygodactylus klugei	1	Captura Manual	Bribinha-de-pau
47	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Gekkonidae	Phyllodactylus policaris	1	Captura Manual	Briba-grande
48	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Gekkonidae	Gymnodactylus geckoides	7	busca ativa / observa	
49	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Teiidae	Cnemidophorus ocellifer	22	busca ativa / observa	calango-bico-doce
50	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Iguanidae	Iguana iguana	1	busca ativa / observa	Iguana
51	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Amphisbaenidae	Amphisbaena sp	1	Captura Manual	
52	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Tropiduridae	Tropidurus hispidus	16	Pitfall	Lagartixa
53	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Tropiduridae	Tropidurus cocorobensis	37	Pitfall	Lagartixa
54	Point	Segunda	583087	8999260	Barreiras	Colubridae	Philodryas nattereri	1	Observa	corre-campo
97	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Bufo	Rhinella jimi	6	Captura Manual	
98	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Hylidae	Dendropsophus oliverai	1	Captura Manual	
99	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Hylidae	Hypsiboas crepitans	9	Captura Manual	perereca-cinza
100	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Hylidae	Hypsiboas raniceps	1	Captura Manual	
101	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Hylidae	Phyllomedusa nordestina	5	Captura Manual	perereca-verde-pequena
102	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Hylidae	Scinax pacyurus	6	Captura Manual	
103	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Hylidae	Scinax sp1	22	Captura Manual	
104	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Leptodactylidae	Leptodactylus ocellatus	20	Captura Manual	R/E-manteiga
105	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Leptodactylidae	Pleurodema diplolister	15	Captura Manual / Pitfall	
106	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Leptodactylidae	Pseudopaludicola sp	4	Pitfall	
107	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Leptodactylidae	Leptodactylus troglodytes	2	Captura Manual	
108	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Leptodactylidae	Physalaemus cuvieri	2	Captura Manual / Pitfall	
109	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Leptodactylidae	Physalaemus sp	1	Pitfall	r/E ?foi-n/Eo-foi?
110	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Gekkonidae	Lygodactylus klugei	1	Captura Manual	Bribinha-de-pau
111	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Gekkonidae	Cnemidophorus ocellifer	20	Captura Manual / Pitfall	calango-bico-doce
112	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Iguanidae	Iguana iguana	4	Pitfall	Iguana
113	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Tropiduridae	Tropidurus hispidus	8	Captura Manual / Pitfall	Lagartixa
114	Point	Quarta	583038	8999214	Barreiras	Tropiduridae	Tropidurus semitaeniatus	1	Pitfall	Lagartixa

Fonte: Elaborado pelo autor

Fotografia 5.1 – Espécimes de *Pleurodema diplolister* na caatinga do Projeto Glória



Fonte: CHESF/PETCOM (2009)

Fotografia 5.2 – Fêmea de *C. ocellifer* (calango-bico-doce) grávida, capturada na Área de Reserva Legal Icó Mandantes Bloco -3.

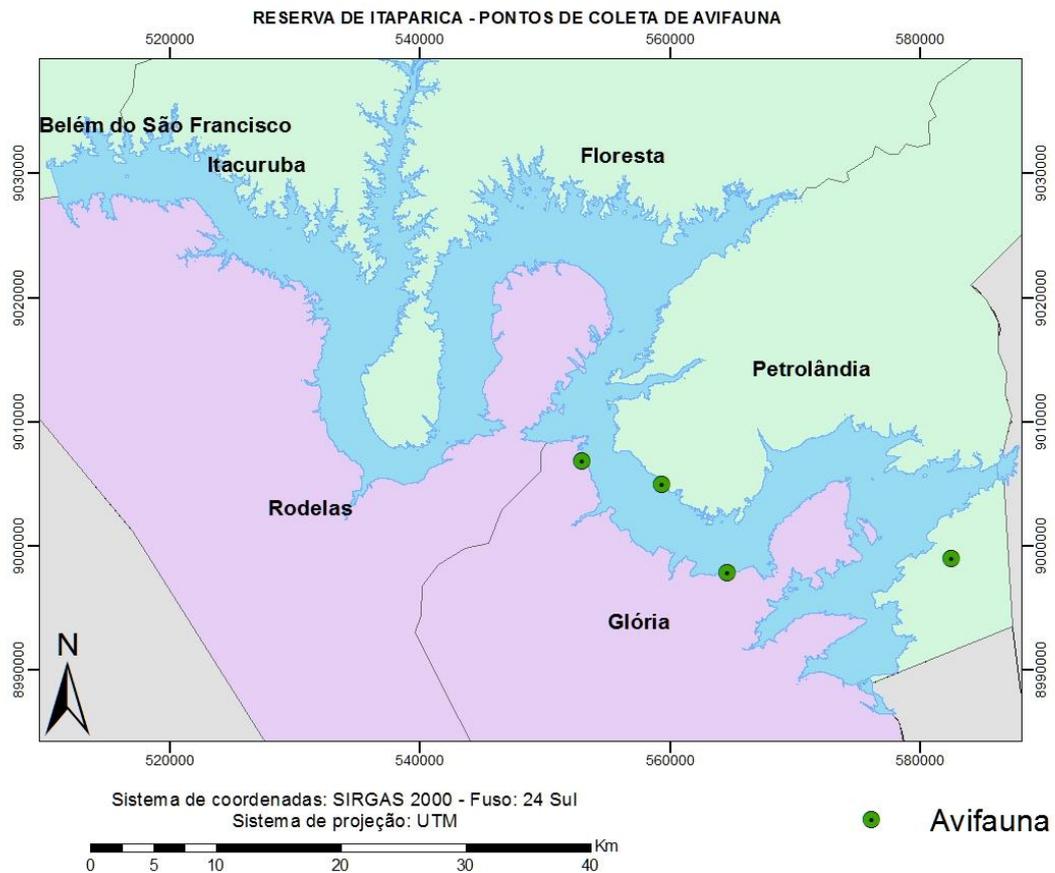


Fonte: CHESF/PETCOM (2009)

Com relação ao monitoramento de avifauna, a Figura 5.11 elaborada a partir do SIG-Itaparica mostra as áreas amostradas em Pernambuco: Reserva Legal do projeto de irrigação Icó-

Mandantes 2 e áreas da caatinga do Projeto Barreiras e na Bahia: áreas da caatinga dos projetos de irrigação Glória e Jusante. O estudo aconteceu através de captura por meio de redes rnitológicas (neblina), com malha de 36 mm por 12 m de comprimento, enfileiradas entre a cobertura e getacional da caatinga e através de observação direta por meio de caminhadas ao longo da caatinga.

Figura 5.11 - Mapa dos pontos de captura de avifauna



Fonte: Elaborado pelo autor

Como resultado das capturas e observações foram catalogadas 180 espécies de aves distribuídas em 19 ordens, 48 famílias e 11 subespécies para as áreas de caatinga do entorno do Reservatório de Itaparica. Dessas, 156 espécies foram registradas em Pernambuco, correspondendo a um percentual de 86,7% das espécies registradas em Itaparica, e 155 espécies no estado da Bahia (86,1%). As Fotografias 5.3 e 5.4, extraídas do SIG-Itaparica, mostram algumas espécies observadas.

Fotografia 5.3 - *Xenopsaris albinucha* jovem (plumagem barrada/amarelada), caatinga do Projeto Barreiras, Petrolândia-PE.



Fonte: CHESF/PETCOM (2009)

Fotografia 5.4 - Anilha utilizada na marcação das aves (*Coereba flaveola*), Glória-BA



Fonte: CHESF/PETCOM (2009)

A Figura 5.12 a seguir, mostra os dados de avifauna armazenados no SIG-Itaparica.

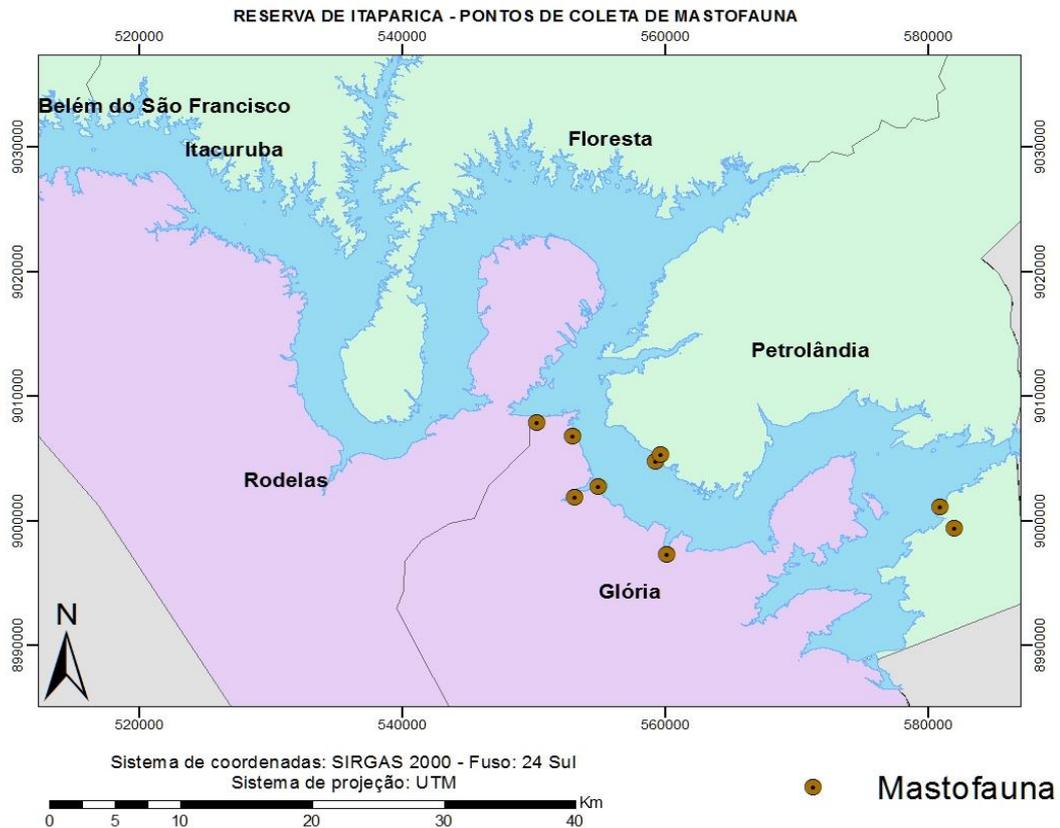
Figura 5.12 - Dados de avifauna armazenados no SIG-Itaparica

Attributes of avifauna											
FID	Shape *	CAMPAN	COORD	COORD Y	URREA	ESPCIE	NOME POPUL	MIGRANTES	STATUS	USO HABITA	SENSIBILID
0	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Nothura boraquira	codorna-do-nordeste				
1	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Dendrocygna viduata	lerer	austrais parciais	Cineg.ticas	Semi-Dependente	M.dia
2	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Amazonetta brasiliensis	p-vermelho		Cineg.ticas	Independente	Baixa
3	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Phalacrocorax brasilianus	Bigu	austrais parciais		Independente	Baixa
4	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Podilymbus podiceps	mergulh/Éo-caçador	ne rricos parciais		Independente	M.dia
5	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Tigrisoma lineatum	socó-boi			Independente	M.dia
6	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Dutondes striata	Socozinho	ne rricos parciais, Austrais parciais		Independente	Baixa
7	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Bubulcus bis	garça-vaqueira	ne rricos parciais	Colonizadora	Independente	Baixa
8	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Ardea coccy	garça-moura			Independente	Baixa
9	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Ardea alba	garça-branca-grande	ne rricos que se reproduzem no Brasil		Independente	Baixa
10	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Egretta thula	garça-branca-pequena	ne rricos que se reproduzem no Brasil		Independente	Baixa
11	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Cathartes aura	urubu-de-cabeça-vermelha	ne rricos parciais, Austrais parciais		Independente	Baixa
12	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Cathartes burrovianus	urubu-de-cabeça-amarela			Independente	M.dia
13	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Coragyps atratus	urubu-de-cabeça-preta			Independente	Baixa
14	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Rosthamus sociabilis	gavi/Éo-caramujeiro	austrais parciais		Independente	Baixa
15	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Buteogallus urubitinga	gavi/Éo-preto			Semi-Dependente	M.dia
16	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Rupornis magnirostris	gavi/Éo-carijó			Independente	Baixa
17	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Buteo albicaudatus	gavi/Éo-de-rabo-branco			Independente	Baixa
18	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Caracara plancus	Caracará			Independente	Baixa
19	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Herpetotheres cachimans	Acaçu/É			Semi-Dependente	Baixa
20	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Falco rufigularis	Caur			Dependente	Baixa
21	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Falco femoralis	falc/Éo-de-coleira	austrais parciais		Independente	M.dia
22	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Gallinula chloropus	frango-d' qua-comum	ne rricos parciais, Austrais parciais	Cineg.ticas	Independente	Baixa
23	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Cariama cristata	Seriema		Cineg.ticas	Independente	M.dia
24	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Jacana jacana	Jatã/É		Cineg.ticas	Independente	Baixa
25	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Vanellus chilensis	quero-quero	austrais parciais		Independente	Baixa
26	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Charadrius collaris	batuça-de-coleira			Independente	Alta
27	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Columbina picui	rolinha-picui	austrais	Cineg.ticas	Independente	Baixa
28	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Patagioenas picazuro	Pomb/Éo		Cineg.ticas	Semi-Dependente	M.dia
29	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Zenaidia auriculata	pomba-de-bando		Cineg.ticas	Independente	Baixa
30	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Aratinga cactorum	periquito-da-caatinga		End'mica	Semi-Dependente	M.dia
31	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Crotophaga ani	anu-preto			Independente	Baixa
32	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Guiraca quira	anu-branco			Independente	Baixa
33	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Athene cucularia	coruja-buraqueira	ne rricos parciais		Independente	M.dia
34	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Chordeiles pusillus	bacurauzinho	ne rricos parciais		Independente	Baixa
35	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Hydropsalis torquata	bacurau-tsoura			Independente	Baixa
36	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Eupetomena macroura	beija-flor-tesoura			Independente	Baixa
37	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Chlorostilbon aureoventris	besourinho-de-bico-vermelh			Semi-Dependente	Baixa
38	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Helimaster squamosus	bico-reto-de-banda-branca			Dependente	M.dia
39	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Ceryle torquatus	martim-pescador-grande	austrais parciais		Independente	Baixa
40	Point	Primeira	552958	9006072	Glória	Nivstalius maculatus	ranazinho-dns-velhos			Semi-Dependente	M.dia

Fonte: Elaborado pelo autor

A coleta de mastofauna ocorreu no período de setembro de 2007 a junho de 2009, durante as estações seca e chuvosa, abrangendo a margem direita da barragem de Itaparica localizada nos municípios de Glória e Rodelas, na Bahia, e a margem esquerda localizada no município de Petrolândia, em duas localidades, o projeto Barreiras e o projeto Icó Mandantes Bloco-3, conforme mostra a Figura 5.13, elaborada pelo SIG-Itaparica.

Figura 5.13 - Mapa dos pontos de captura de mastofauna



Fonte: Elaborado pelo autor

Foram catalogadas 37 espécies de mamíferos, esses animais encontram-se distribuídos em oito ordens, quatro famílias de mamíferos alados e 15 famílias de mamíferos não alados para as áreas de caatinga do entorno do Reservatório de Itaparica. Dessas espécies, 46% estão classificadas como de baixo risco, 24% encontram-se na categoria de não ameaçadas, e não há informação sobre o status de conservação de 21% delas. Os 9% restantes referem-se a espécies introduzidas, quase ameaçadas e vulneráveis. Destacam-se *Leopardus tigrinus* (gato-do-mato-pequeno), *T. tetradactyla* (tamanduá mirim).

Na estação chuvosa, foram capturados 82 espécimes de morcegos no estado da Bahia (Glória/Rodelas) e 20 em Petrolândia, Pernambuco, pertencentes a quatro famílias e 11 espécies. São elas: *Peropteryx macrotis*, *Rhynchonycteris naso*, *Desmodus rotundus*, *Glossophaga soricina*, *Lonchophylla mordax*, *Artibeus planirostris*, *Platyrrhinus lineatus*, *Sturnira lilium*, *Phyllostomus hastatus*, *Molossops matogrossensis* e *Myotis nigricans*. A Figura 5.14 a seguir, mostra os dados de mastofauna armazenados no SIG-Itaparica e as Fotografias 5.5 e 5.6 mostram espécies da mastofauna da área de estudo.

Figura 5.14 - Dados de mastofauna armazenados no SIG-Itaparica

ID	Shape	CAMPANH	COORD X	COORD Y	µREA	FAMoLIA	ESPCIE	NºMERO IN	REGISTRO	ALIMENTA
0	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Didelphidae	Didelphis albiventris	2	Entrevista	Frugivoro/Onivoro
1	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Myrmecophagidae	Tamandua tetradactyla	1	Entrevista	Insetivoro
2	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Myrmecophagidae	Euphractus sexcinctus	2	Entrevista	Onivoro
3	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Myrmecophagidae	Dasybus septemcinctus	2	Entrevista	Insetivora/Onivoro
4	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Cebidae	Callithrix jacchus	2	Entrevista	Onivoro
5	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Felidae	Leopardus tigrinus	3	Observat./Eo/Entrevista	Pequenos Vertebrados/M. dios Vertebrados/Insetivo
6	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Felidae	Herpailurus yagouaroundi	2	Entrevista	Pequenos Vertebrados/M. dios Vertebrados/Insetivo
7	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Canidae	Cercocyon thous	4	Observat./Eo/Entrevista	Onivoro
8	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Mustelidae	Galictis vittata	2	Entrevista	Vertebrados/Invertebrados/Frugivoro
9	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Mephitidae	Conepatus semistriatus	2	Entrevista	Onivoro
10	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Procyonidae	Procyon cancrivorus	2	Entrevista	Onivoro
11	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Cervidae	Mazama gouazoubira	1	Entrevista	Frugivoro/Vegetais
12	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Caviidae	Galea spixii	2	Entrevista	Vegetais
13	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Caviidae	Kerodon rupestris	3	Observat./Eo/Entrevista	Vegetais
14	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Dasyproctidae	Dasyprocta prymnolopha	2	Entrevista	Frugivoro/Raizes/Vegetais
15	Point	Primeira	550228	9007894	Rodelas	Echimyidae	Thrichomys laurentius	9	Captura	Frugivoro/Raizes/Vegetais
16	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Didelphidae	Didelphis albiventris	4	Entrevista	Frugivoro/Onivoro
17	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Myrmecophagidae	Euphractus sexcinctus	5	Captura/Observat./Eo/Entrevista	Onivoro
18	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Myrmecophagidae	Dasybus novemcinctus	3	Entrevista	Invertebrados/Pequenos Invertebrados
19	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Myrmecophagidae	Dasybus septemcinctus	3	Entrevista	Insetivora/Onivoro
20	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Cebidae	Callithrix jacchus	1	Entrevista	Onivoro
21	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Felidae	Leopardus tigrinus	1	Entrevista	Pequenos Invertebrados/Frugivoro
22	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Felidae	Herpailurus yagouaroundi	3	Entrevista	Pequenos Invertebrados/M. dios Invertebrados/Inset
23	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Canidae	Cercocyon thous	2	Entrevista	Onivoro
24	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Mephitidae	Conepatus semistriatus	5	Entrevista	Onivoro
25	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Procyonidae	Procyon cancrivorus	2	Entrevista	Onivoro
26	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Citellidae	Calomys expulsus	1	Entrevista	Granivoro
27	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Citellidae	Wiedomys pyrrhohinus	1	Entrevista	Vegetais
28	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Caviidae	Galea spixii	3	Entrevista	Vegetais
29	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Caviidae	Hydrochoerus hydrochaeris	4	Entrevista	Vegetais
30	Point	Primeira	553449	9001816	Glória/Jusant	Dasyproctidae	Dasyprocta prymnolopha	2	Entrevista	Frugivoro/Raizes/Vegetais
31	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Phyllostomidae	Desmodus rotundus	1	Entrevista	Hematófago
32	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Phyllostomidae	Lonchophylla mordax	1	Captura	Nectarivoro
33	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Vespertilionidae	Monodelphis domestica	1	Captura	Insetivo / Onivoro
34	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Canidae	Cercocyon thous	1	Observat./Eo/Vestigio	Onivoro
35	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Mephitidae	Conepatus semistriatus	1	Vestigio	Onivoro
36	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Procyonidae	Procyon cancrivorus	1	Vestigio	Onivoro
37	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Caviidae	Kerodon rupestris	2	Captura	Vegetais
38	Point	Segunda	559206	9005280	lc Mandantes	Echimyidae	Thrichomys laurentius	5	Captura	Frugivoro / Raizes / Vegetais
39	Point	Segunda	581546	9001860	Ranrais	Phyllostomidae	Desmodus rotundus	1	Entrevista / Vestigin	Hematófago

Fonte: Elaborado pelo autor

Fotografia 5.5 – Indivíduos de *Artibeus planirostris* abrigados em um coqueiro em área antrópica do Projeto de Irrigação Glória



Fonte: CHESF/PETCOM (2009)

Fotografia 5.6 - Indivíduo de *Peropteryx macrotis* capturado na área de Icó Mandantes Bloco-3

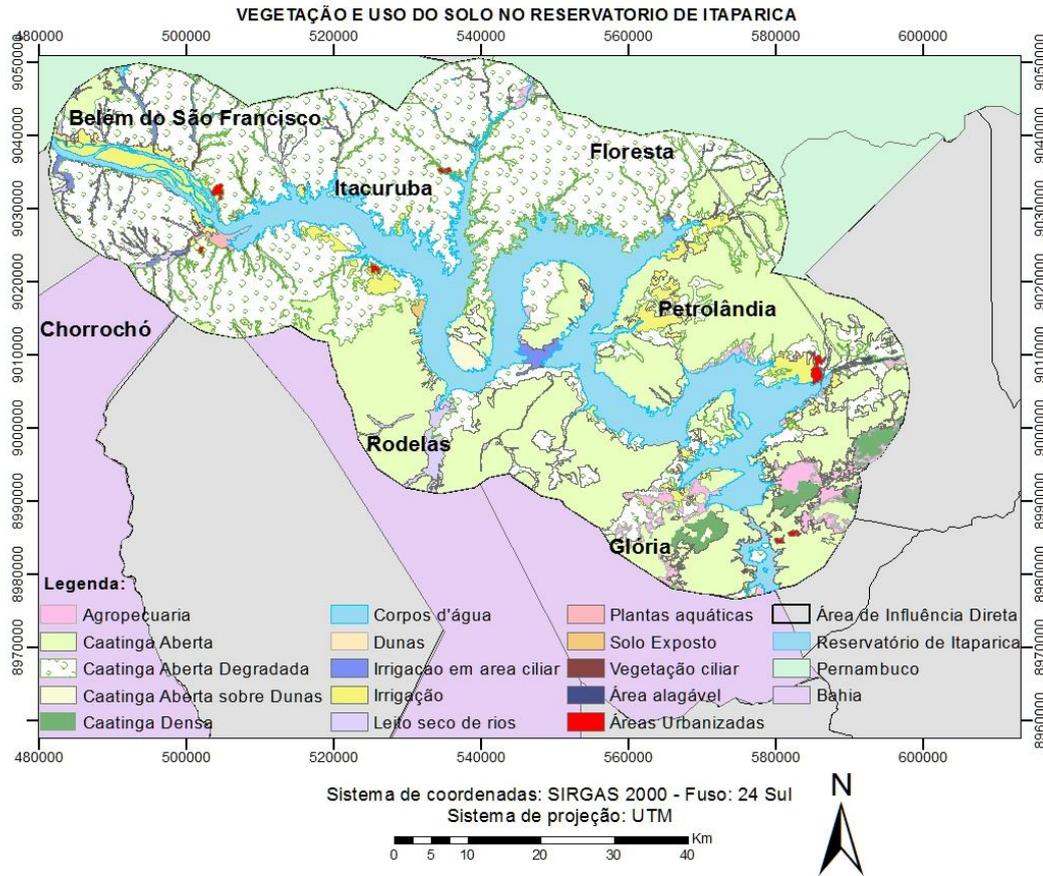


Fonte: CHESF/PETCOM (2009)

ii) Vegetação

Na Figura 5.15, elaborada a partir do SIG-Itaparica, observa-se o uso e ocupação do solo, com ênfase aos tipos de vegetação presentes no entorno do reservatório: caatinga densa, caatinga aberta e caatinga aberta degradada. O referido mapa foi criado a partir de dados da CHESF/GREENTEC (2007).

Figura 5.15 – Mapa de vegetação e uso e ocupação do solo



Fonte: Elaborado pelo autor

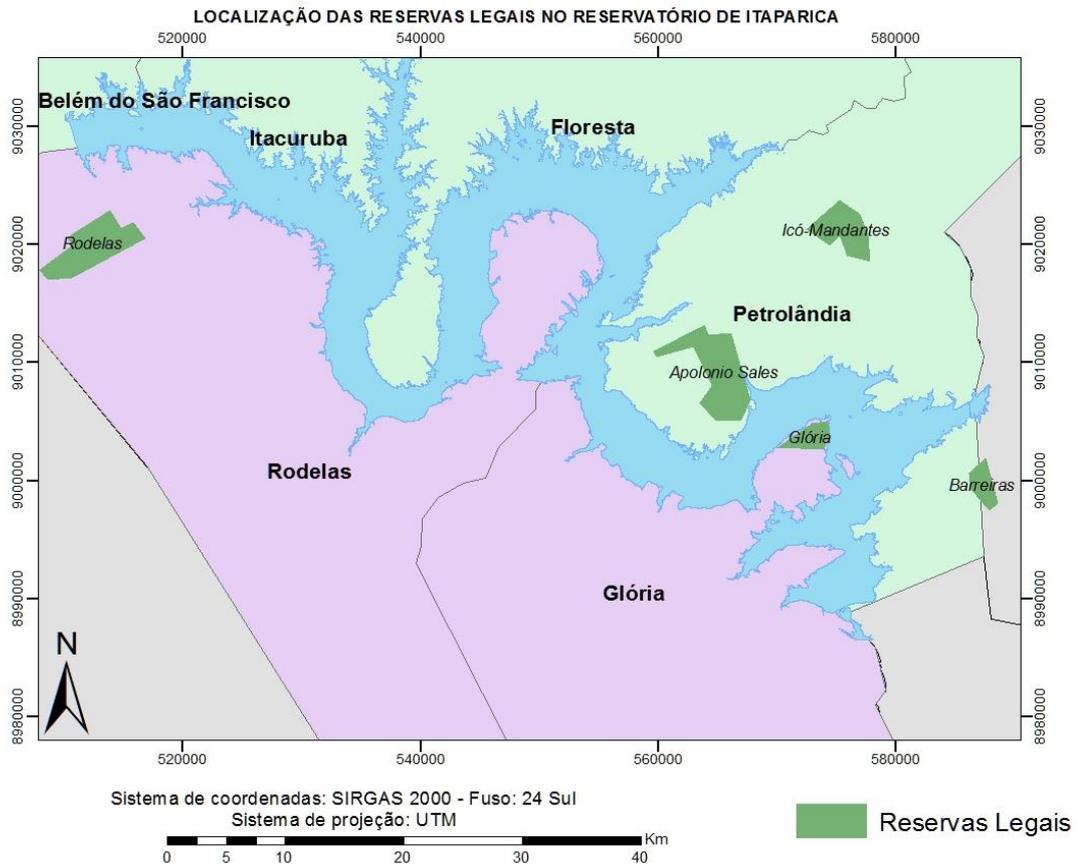
No entorno do reservatório de Itaparica observa-se a presença das reservas legais dos projetos de irrigação, que conforme o Código Florestal são áreas localizadas no interior de uma propriedade rural, que variam de acordo com o bioma e o tamanho da propriedade. Para o bioma caatinga, a reserva legal consiste de 20% da área total de cada propriedade. A partir do SIG-Itaparica foi elaborada a Tabela 5.2, que informa a área de cada reserva legal, e a Figura 5.16, que mostra a localização das reservas legais.

Tabela 5.2 – Área das reservas legais dos projetos de irrigação localizados no entorno do reservatório de Itaparica

Projeto	Município	Estado	Área total (ha)	Área reserva legal (ha)
Apolônio Sales	Petrolândia	PE	3.506,00	701,20
Icó-Mandantes	Petrolândia		22.881,00	4.576,20
Barreiras Bl. 1 e 2	Petrolândia/ Tacaratu		11.974,00	2.394,80
Glória	Glória	BA	14.074,00	2.814,80
Rodelas	Rodelas			

Fonte: Elaborado pelo autor

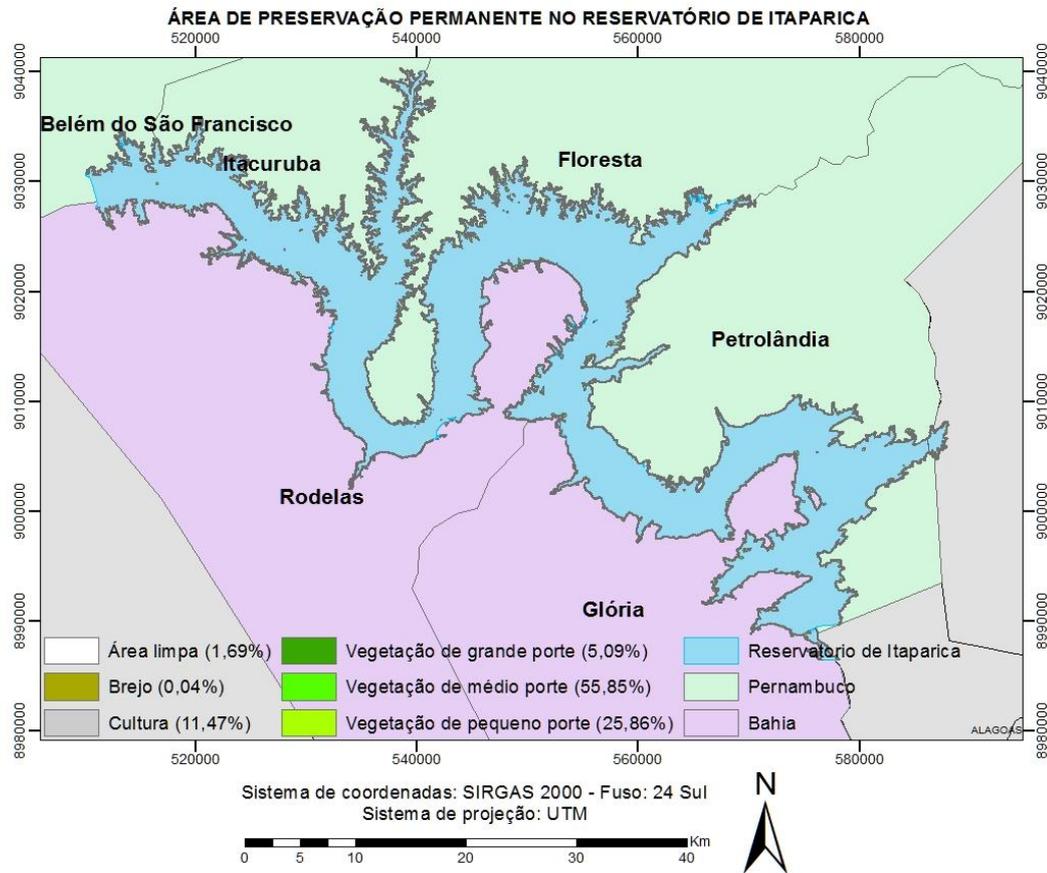
Figura 5.16 – Localização das reservas legais



Fonte: Elaborado pelo autor

A vegetação da Área de Preservação Permanente (APP) foi projetada conforme estabelece o Código Florestal (Lei Federal 4.771/1965) e a Resolução CONAMA 302/2002, que determinam uma largura mínima de 100 m, em projeção horizontal, medida a partir do nível máximo normal, no entorno dos reservatórios artificiais localizados em áreas rurais. Para definir a APP do reservatório de Itaparica foi criado um “*buffer*” de 100 m no PI “Reservatório de Itaparica”. Em seguida foi feito um “*clip*” com o “*layer*” Vegetação Borda do Reservatório para então definir o uso e ocupação da borda do reservatório, obtendo o mapa apresentado na Figura 5.17. Como resposta, pode-se observar que cerca de 86,80 % dessa área está ocupada com vegetação (grande, médio e pequeno porte), 11,47 % com culturas e o restante consiste de área limpa e brejo.

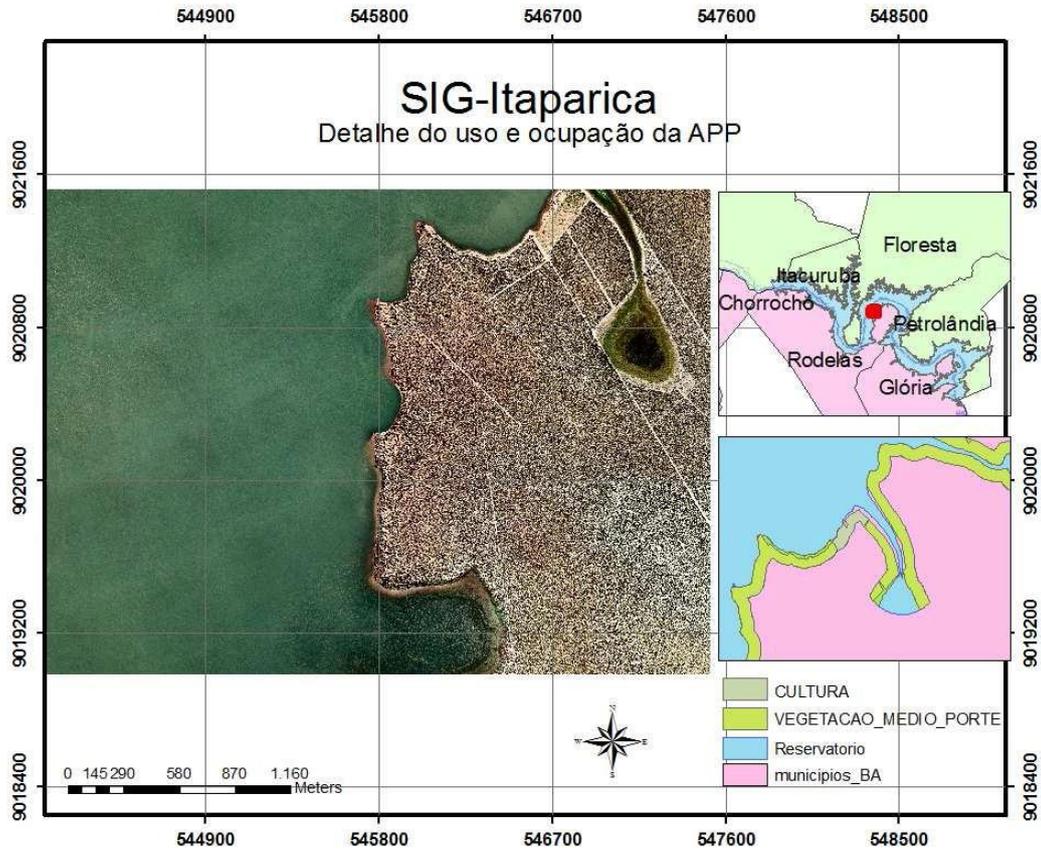
Figura 5.17 – Uso e ocupação da APP



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a análise do uso e ocupação da área de APP, pode-se utilizar as imagens aerofotogramétricas para uma melhor visualização da área. Na Figura 5.18 observa-se um recorte do município de Rodelas de uma área com cultura e vegetação de médio porte.

Figura 5.18 – Área de cultura e vegetação de médio porte no município de Rodelas

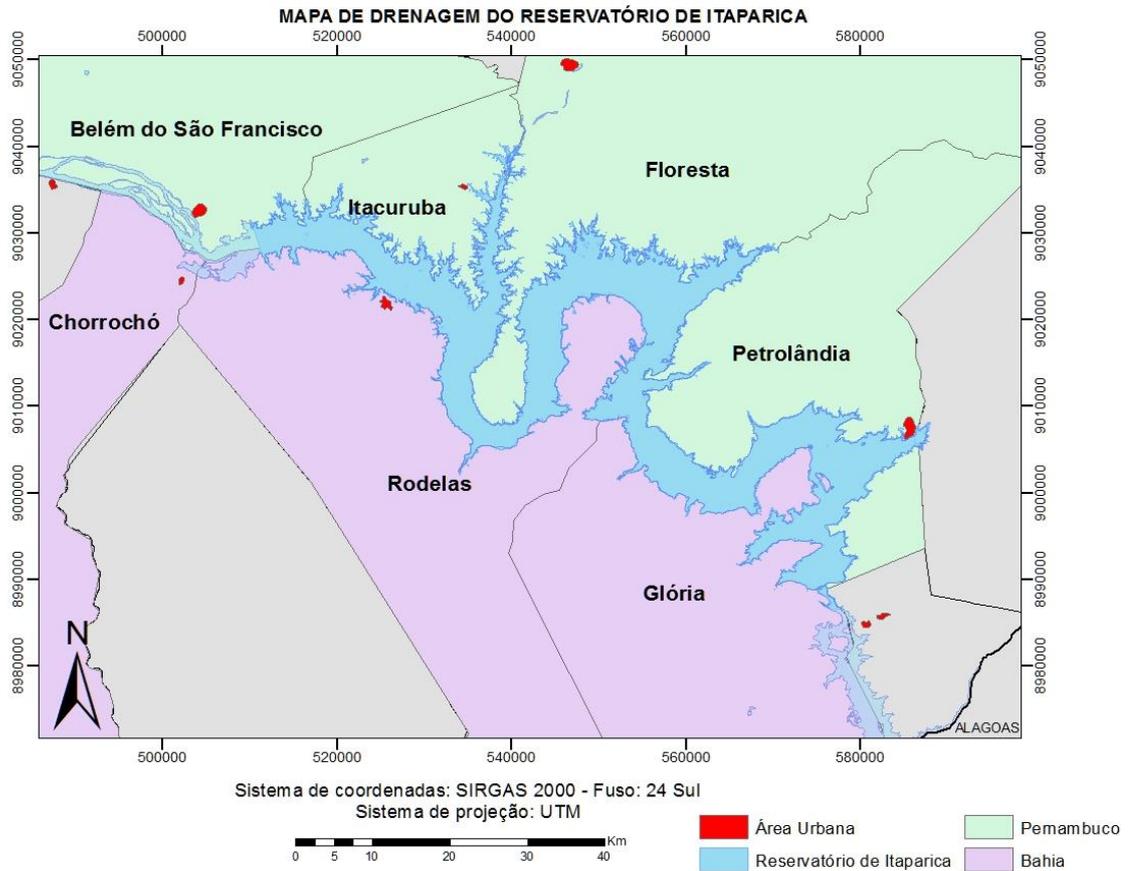


Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.1.3 Meio antrópico

Com a implantação da UHE Luiz Gonzaga, foram reconstruídas as cidades de Petrolândia/PE, Itacuruba/PE, Rodelas/BA e o povoado de Barra do Tarrachil no Município de Chorrochó/BA, totalizando uma população de 14.745 habitantes relocados. A Figura 5.19, elaborada a partir do SIG-Itaparica, mostra a localização das áreas urbanas localizadas no entorno do reservatório.

Figura 5.19 – Localização das áreas urbanas



Fonte: Elaborado pelo autor

A baixa centralidade dos núcleos urbanos da área, ao mesmo tempo que reflete o fraco dinamismo da economia dos municípios a que pertencem, revela porte dos equipamentos urbanos que possuem e a natureza dos serviços que oferecem. Em geral, desprovidas de indústrias, essas cidades possuem apenas comércio varejista de pequeno alcance: mercadinhos, padaria, farmácia, armarinhos, um ou dois postos de venda de combustível, loja de móveis, pequeno armazém de material de construção, mercado público e feira livre), oficinas e alguns serviços básicos (ensino até segundo grau, hospital, delegacia de polícia, agência bancária, uma ou duas pousadas, restaurantes, bares, clube recreativo, posto dos correios, orelhões, lan house). As cidades de maior porte (Petrolândia, Floresta e Belém de São Francisco) possuem, além dos equipamentos citados, um ou dois hotéis, emissora de rádio, unidades de ensino superior, centro de distribuição de produtos e escritório de órgãos públicos (CHESF/FADE, 2009).

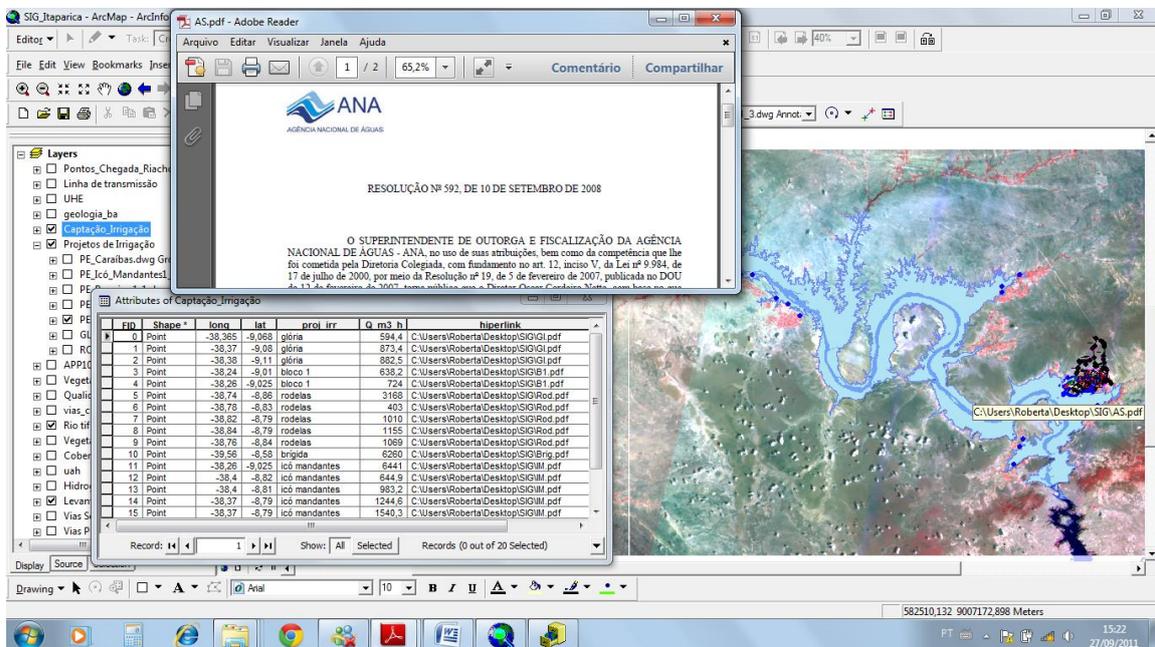
A economia dos municípios do entorno do reservatório de Itaparica tem como base a agropecuária e a pesca artesanal. Fortemente dependente da água para sua realização no semiárido, a agricultura da área em questão concentra-se nas margens do reservatório de

Itaparica e dos açudes localizados no alto, médio e baixo curso dos rios principais e dos tributários mais extensos da rede hidrográfica que corta esses municípios.

ii) Projetos de irrigação

Através do SIG-Itaparica é possível visualizar a localização de cada lote irrigado, as licenças ambientais, a quantidade de água captada, a localização da reserva legal, entre outros dados. A Figura 5.20 mostra o projeto de irrigação Apolônio Sales, bem como informações de sua outorga de água. A Tabela 5.3 mostra os dados armazenados para outorgas de água.

Figura 5.20 – Visualização do projeto de irrigação Apolônio Sales e sua outorga de água



Fonte: Elaborado pelo autor

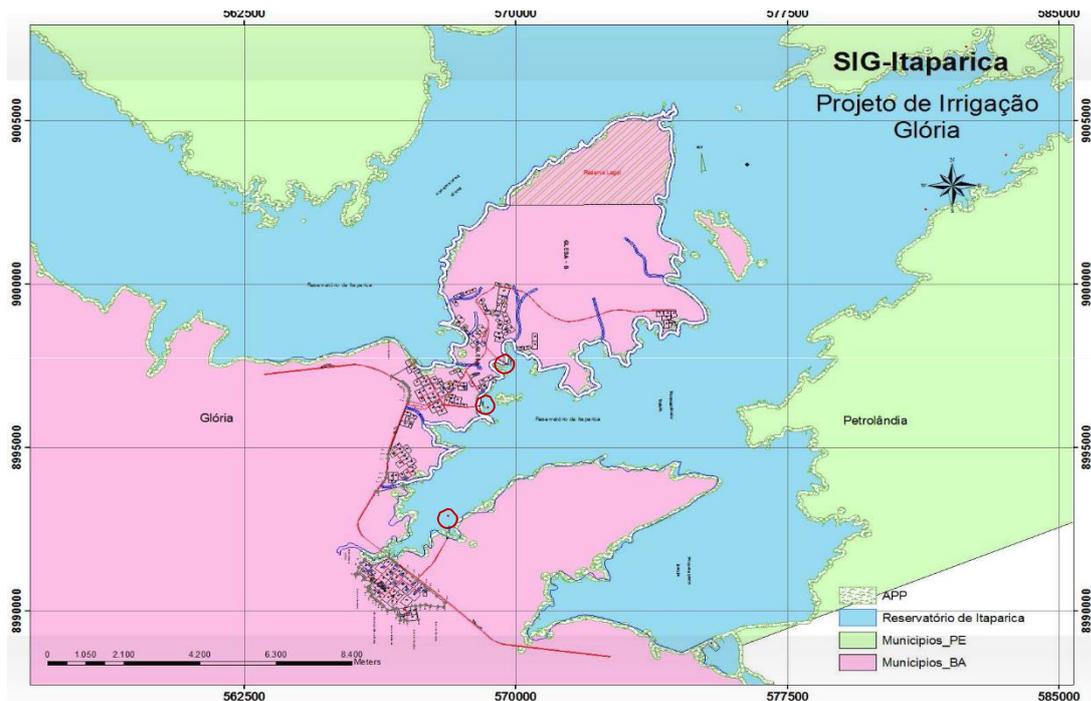
Tabela 5.3 – Dados armazenados para outorgas de água

FID	Shape *	long	lat	proj irr	Q m3 h	hiperlink
0	Point	-38,365	-9,068	glória	594,4	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\GI.pdf
1	Point	-38,37	-9,08	glória	873,4	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\GI.pdf
2	Point	-38,38	-9,11	glória	882,5	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\GI.pdf
3	Point	-38,24	-9,01	bloco 1	638,2	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\B1.pdf
4	Point	-38,26	-9,025	bloco 1	724	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\B1.pdf
5	Point	-38,74	-8,86	rodela	3168	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\Rod.pdf
6	Point	-38,78	-8,83	rodela	403	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\Rod.pdf
7	Point	-38,82	-8,79	rodela	1010	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\Rod.pdf
8	Point	-38,84	-8,79	rodela	1155	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\Rod.pdf
9	Point	-38,76	-8,84	rodela	1069	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\Rod.pdf
10	Point	-39,56	-8,58	brigida	6260	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\Brig.pdf
11	Point	-38,26	-9,025	icó mandantes	6441	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\IM.pdf
12	Point	-38,4	-8,82	icó mandantes	644,9	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\IM.pdf
13	Point	-38,4	-8,81	icó mandantes	983,2	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\IM.pdf
14	Point	-38,37	-8,79	icó mandantes	1244,6	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\IM.pdf
15	Point	-38,37	-8,79	icó mandantes	1540,3	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\IM.pdf
16	Point	-38,25	-8,98	apolonio sales	3784	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\AS.pdf
17	Point	-38,86	-8,76	manga de baixo	440	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\mb.pdf
18	Point	-39,67	-8,64	fulgêncio	19518,4	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\Car.pdf
19	Point	-39,48	-8,59	pedra branca	10440	C:\Users\Roberta\Desktop\SIG\PB.pdf

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Tabela 5.6 observa-se que para o Projeto de Irrigação Glória existem 3 pontos de captação de água, com vazões de 594,4 m³/h, 873,4 m³/h e 882,5 m³/h, os quais podem ser visualizados na Figura 5.21. A Fotografia 5.7 mostra a captação junto a Agrovila G1 do projeto Glória.

Figura 5.21 – Visualização do projeto de irrigação Glória e pontos de captação de água



Fonte: Elaborado pelo autor

Fotografia 5.7 – Captação próxima à Agrovila G1 – Projeto Glória



Fonte: CHESF/FADE (2009)

As Fotografias 5.8, 5.9 e 5.10 mostram as produções de manga (Projeto Glória), coco (Projeto Apolônio Sales) e uva (Apolônio Sales), respectivamente.

Fotografia 5.8 – Cultivo de manga no projeto Glória



Fonte: CHESF/FADE (2009)

Fotografia 5.9 – Cultivo de coco no projeto Apolônio Sales



Fonte: CHESF/FADE (2009)

Fotografia 5.10 – Cultivo de uva no projeto Apolônio Sales



Fonte: CHESF/FADE (2009)

iii) Saneamento ambiental

Com relação ao saneamento ambiental, a cidade de Petrolândia é a que apresenta uma melhor situação sanitária, sendo atendida por 02 estações de tratamento de esgotos, composta por

lagoas de estabilização, bem como possui um aterro sanitário que atende todo o município. A partir do SIG-Itaparica foi elaborada a Figura 5.22 que mostra uma das estações de tratamento de esgoto do município e as Fotografias 5.11 e 5.12 mostram o aterro sanitário.

Figura 5.22 – Localização da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Petrolândia



Fonte: Elaborado pelo autor

Fotografia 5.11 e 5.12 – Aterro sanitário do município de Petrolândia



Fonte: Roberta Paes, 2009

5.3.2 Análise de qualidade de água

Para exemplificar a utilização do SIG-Itaparica como ferramenta de auxílio à gestão ambiental, foi escolhido o tema qualidade de água. Além de ser um tema de extrema importância, tanto para a manutenção da qualidade ambiental do reservatório e seu entorno, como para as bacias de Pernambuco e Paraíba que receberão suas águas, através do Eixo Leste do Projeto de Integração de Bacias, possui um acervo de dados disponível para as aplicações de geotecnologias.

Dessa forma, a presente pesquisa realizou uma análise temporal (2007 a 2010) e espacial (24 pontos ao longo do reservatório), buscando relacionar o uso e ocupação de seu entorno com a qualidade da água. Para a análise temporal considerou-se como período seco os meses de junho e setembro e como período chuvoso dezembro e março. Para complementar a presente análise, foram calculados os índices de estado trófico (IET) e o índice de qualidade da água de Bascarán (IQA_B).

Para o estudo espaço-temporal da qualidade da água foram analisados parâmetros físico-químicos em 12 pontos ao longo do corpo d'água, 6 pontos próximos às estações de pisciculturas e 5 pontos próximos à captação de água dos municípios do entorno, os quais serão analisados em conjunto, uma vez que foram estudados os mesmos parâmetros. Além desses pontos também foram analisados 3 pontos a montante e 2 a jusante da UHE Luiz Gonzaga (Itaparica) para verificar contaminação por óleos e graxas e 6 pontos relacionados com a agricultura irrigada (níveis de agrotóxicos). A seguir, a utilidade do SIG na avaliação espaço-temporal da qualidade de água será exemplificada através da análise dos seguintes parâmetros: (i) pH; (ii) turbidez; (iii) condutividade elétrica; (iv) sólidos totais dissolvidos; (v) oxigênio dissolvido; (vi) nitrogênio amoniacal; (vii) nitrito; (viii) nitrato e (ix) fósforo total.

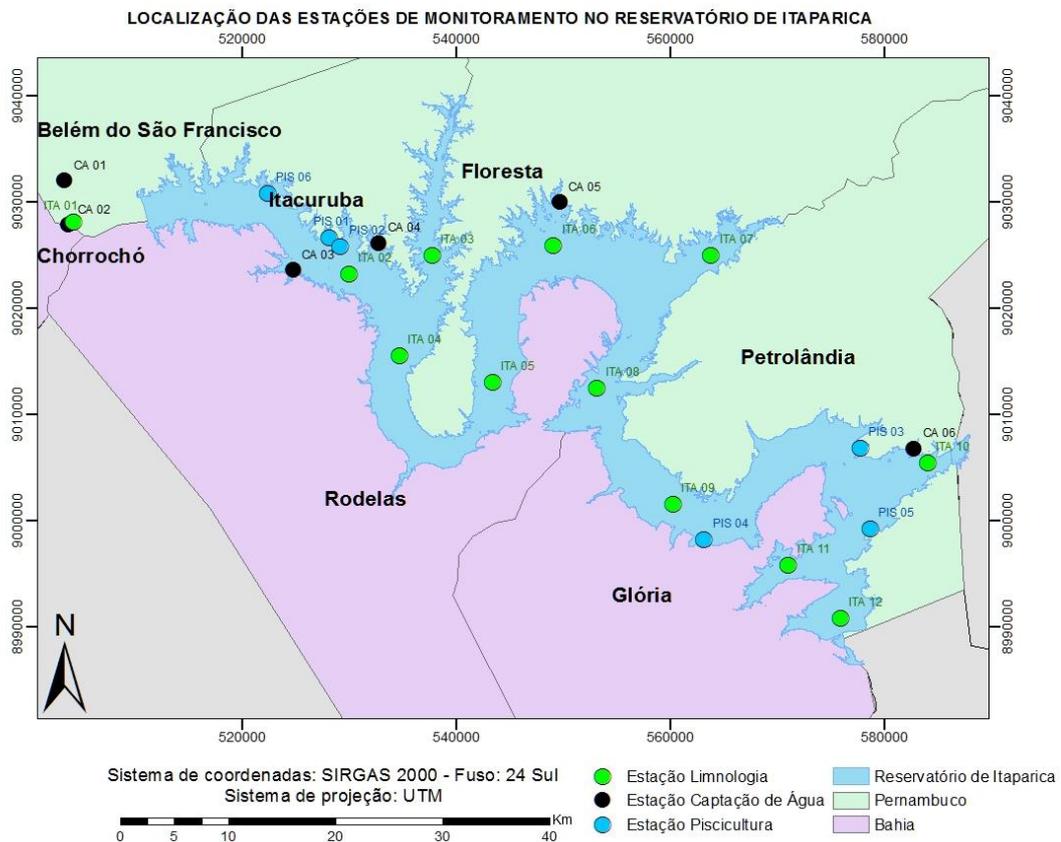
5.3.2.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos foram analisados em amostras coletadas em 24 estações de monitoramento, conforme mostra a Figura 5.23.

No SIG-Itaparica, consultando a tabela de atributos do *layer* “Qualidade de água superficial” é possível gerar uma estatística descritiva para cada parâmetro da tabela em referência (*Attributes*

of *Qualidade de água superficial* → *Options* → *Statistics*). Também podem ser elaborados gráficos mostrando a evolução espaço-temporal dos parâmetros em análise (*Attributes of Qualidade de água superficial* → *Options* → *Create Graph*). Outra forma de verificar a distribuição da qualidade da água é através de mapas de interpolação, para esta pesquisa foi utilizado o método IDW. A seguir, a utilidade do SIG na avaliação espaço-temporal da qualidade de água será exemplificada através da análise de alguns parâmetros.

Figura 5.23 – Localização dos pontos de amostragem de água para análises de limnologia

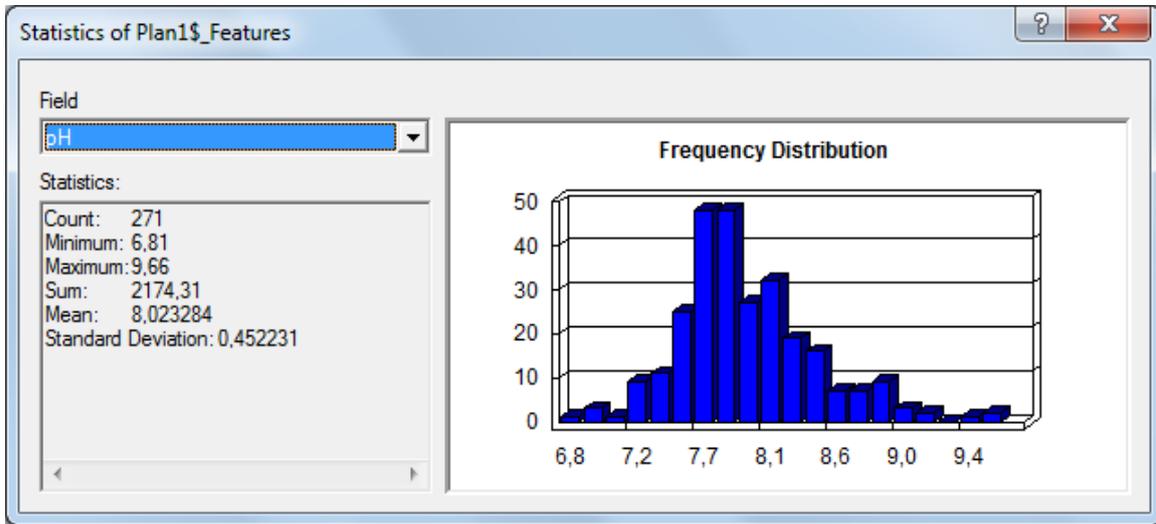


Fonte: Elaborado pelo autor

i) Análise do pH

Para avaliação do potencial hidrogeniônico (pH) no reservatório de Itaparica durante o período de monitoramento foi realizada a estatística descritiva (Figura 5.24), a qual mostra que o pH, parâmetro de importância relevante para o consumo humano, que mede a concentração relativa dos íons de hidrogênio em uma solução, variou entre 6,81 e 9,66, apresentando um valor médio de 8,92 e desvio padrão de 0,45.

Figura 5.24 – Estatística descritiva para o pH medido em amostras de água do reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece para corpos d’água Classe 2 que o pH deve variar entre 6,0 e 9,0. Através da Figura 5.24 foi possível verificar que não houve valor inferior a 6,0, entretanto foram medidos alguns valores superiores a 9,0. Assim, foi realizada consulta na tabela de atributos para visualizar as estações e os meses em que o valor do parâmetro foi acima do estabelecido em legislação (Figura 5.25). Observa-se que os maiores valores de pH foram medidos em dez/2007, mar/08 e jun/09 para diversos pontos (CA 04, CA 05, CA 06, ITA 03, ITA 04, ITA 06 e ITA 10).

Figura 5.25 – Resultado da consulta realizada na tabela de atributos (pH maior que 9,0)

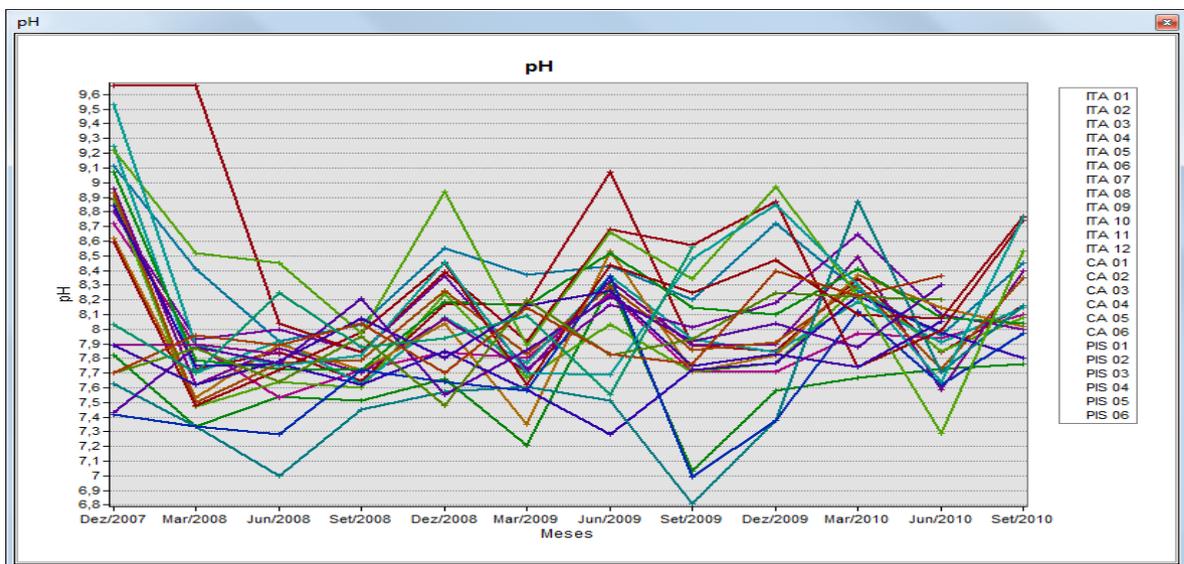
Estação	longitude	latitude	meses	T	OD	DQO	pH	Alcal T	Dureza T
CA 04	532772	9026130	01/12/2007	30,1	8,85	0	9,66	28	24,221352
CA 04	532772	9026130	01/03/2008	30,1	8,85	0	9,66	28	24,221352
CA 05	549671	9029956	01/12/2007	28,14	7,57	0	9,22	33,5	27,824736
CA 06	582781	9006784	01/12/2007	28,71	9,76	0	9,53	33	28,225269
ITA 03	537712	9025017	01/12/2007	28,55	7,99	20,13	9,11	36,5	29,83
ITA 04	534660	9015545	01/06/2009	25,85	7,97	36,631524	9,07	32	27,223446
ITA 06	549059	9025948	01/12/2007	27,74	7,82	10,06	9,25	37	26,42
ITA 10	583995	9005441	01/12/2007	28,19	8,12	7,45	9,07	34	25,62

Fonte: Elaborado pelo autor

Quando se analisa esses valores em relação a portaria N° 508/GM praticamente todos os valores encontram-se dentro do estabelecido para consumo humano (entre 6,0 e 9,5). É importante que o pH se encontre nessa faixa, pois é um fator preponderante para reações e solubilização de

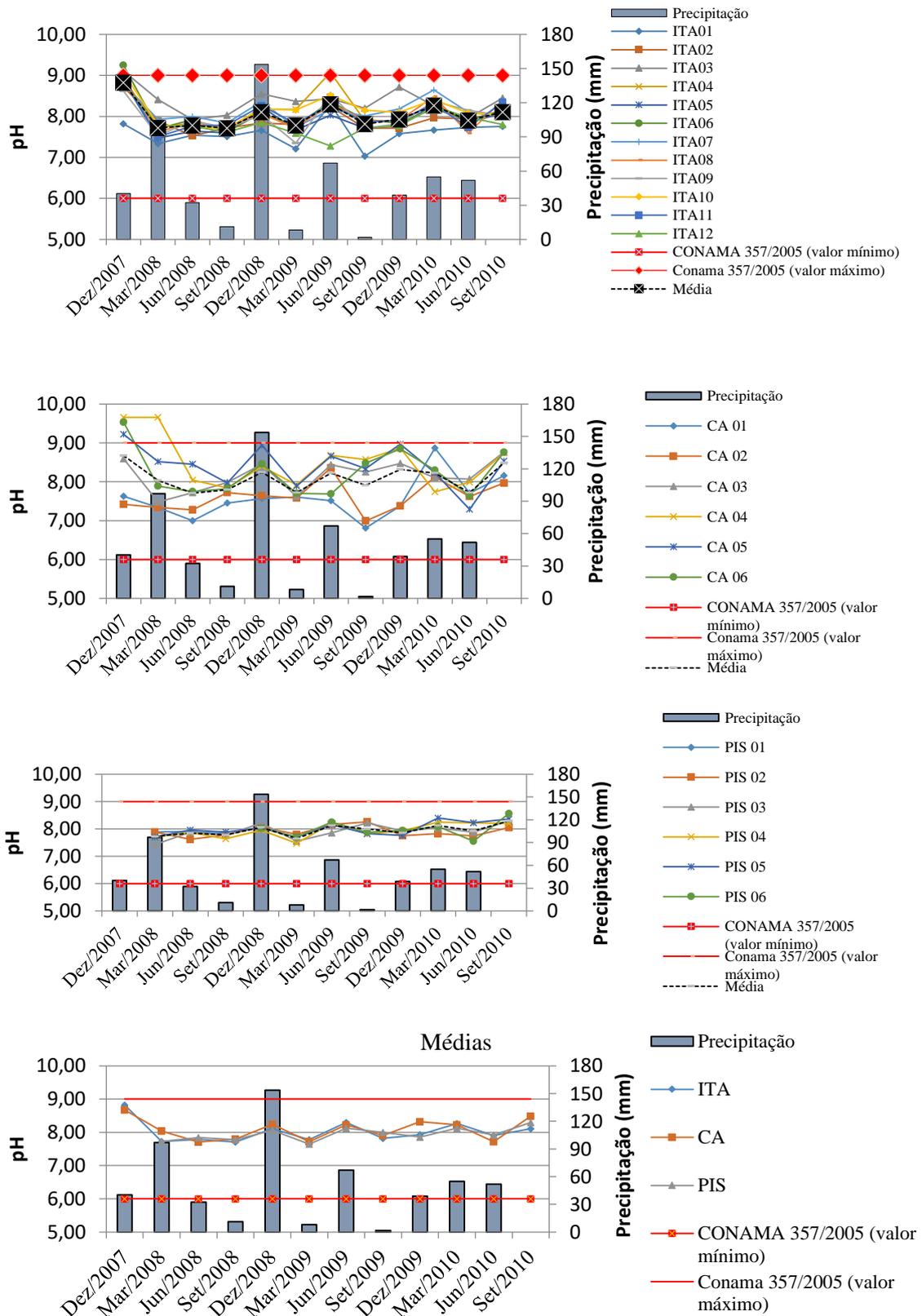
várias substâncias. Além disso, a água com pH baixo compromete o gosto e aumenta a corrosão, enquanto que águas com pH elevado comprometem a palatabilidade e aumentam a formação de incrustações (Sperling, 2005). A Figura 5.26 e 5.27 apresentam a variação temporal do parâmetro em referência, sendo a 5.26 elaborada a partir do ArcGIS. Para uma melhor apresentação dos resultados desta pesquisa, foram utilizados gráficos gerados com auxílio do Microsoft Excel, entretanto deixa-se registrado a possibilidade do SIG-Itaparica de gerar esse tipo de gráfico.

Figura 5.26 – Variação temporal do pH



Fonte: Elaborado pelo autor

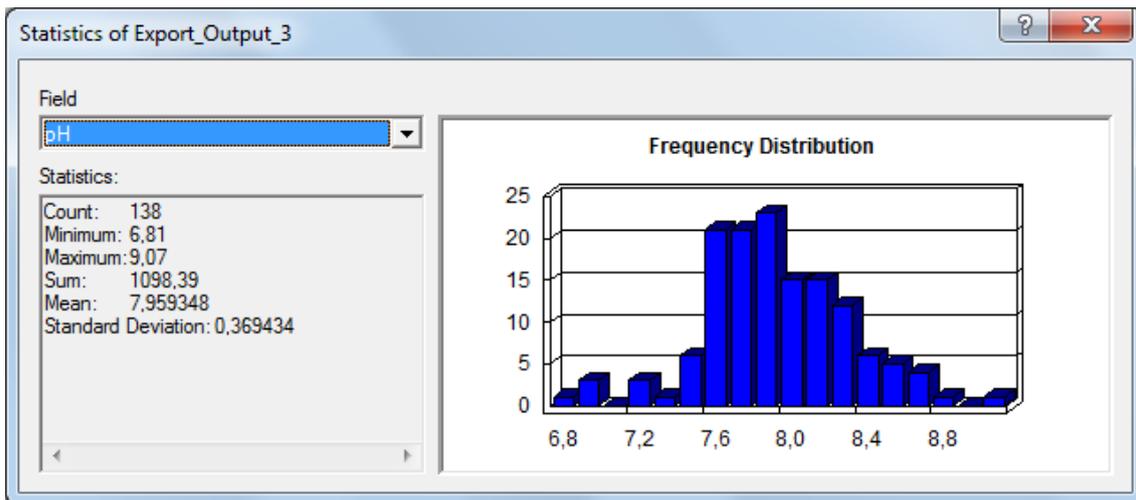
Figura 5.27 – Variação temporal do pH



Fonte: Elaborado pelo autor

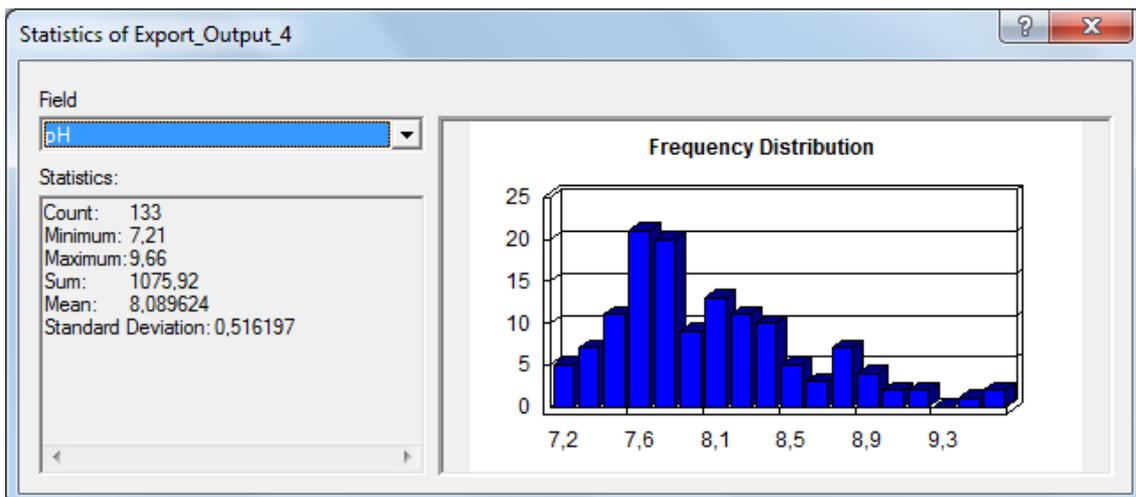
Através do SIG-Itaparica foi possível analisar o comportamento do pH nas estações chuvosa e seca (Figuras 5.28 e 5.29). Os valores no período seco (valor médio de 7,96) foram discretamente inferiores ao período chuvoso (média de 8,09). Para auxiliar nas análises espaciais, a Figura 5.30 (a) e (b) apresentam um mapa de interpolação dos valores médios para o período seco e para o período chuvoso.

Figura 5.28 - Estatística descritiva para o pH para o período seco



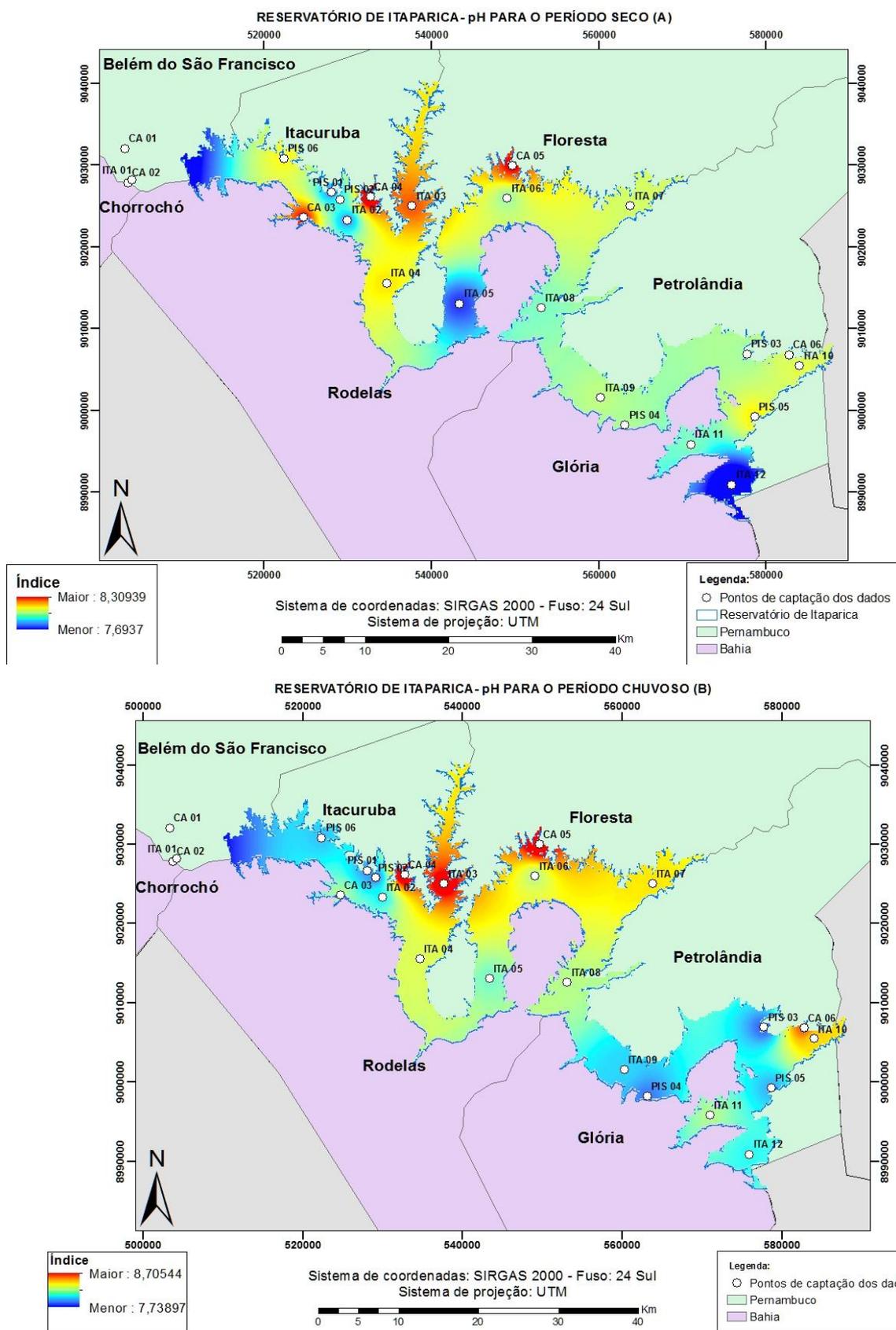
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.29 - Estatística descritiva para o pH para o período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.30 – Distribuição espacial do pH para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação

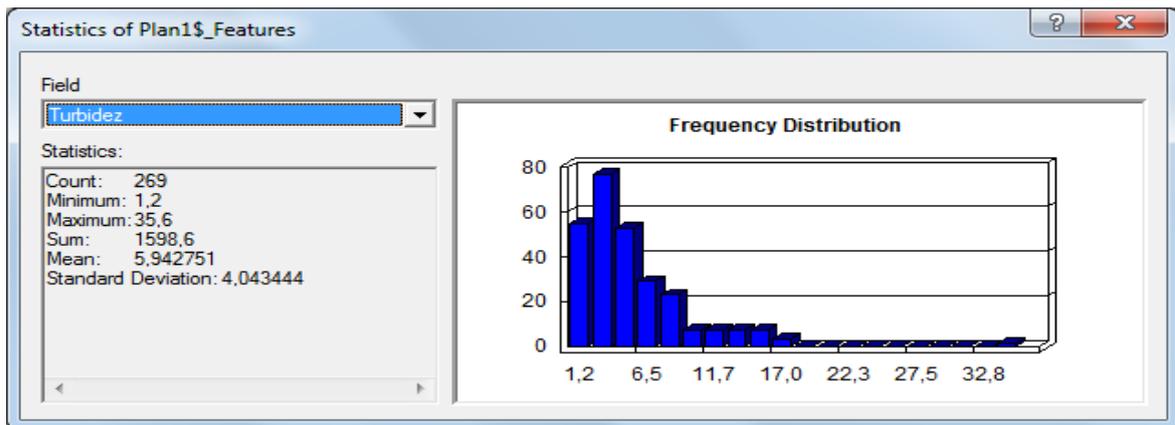


Fonte: Elaborado pelo autor

ii) Análise da turbidez

A turbidez representa a medida da dificuldade de um feixe de luz de atravessar uma certa quantidade de água. Para as amostras analisadas, a estatística descritiva (Figura 5.31) mostrou que a turbidez variou de 1,20 UNT a 35,60 UNT, encontrando-se dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 que é 100 UNT para corpos d'água Classe 2. Entretanto não atendeu a Portaria 518/MS do Ministério da Saúde (5 UNT) para potabilidade da água para consumo humano, mostrando a necessidade de um tratamento prévio para diminuir a turbidez. Em geral, a turbidez é causada pela presença de matéria sólida em suspensão (orgânica e inorgânica), microrganismos, algas, entre outros.

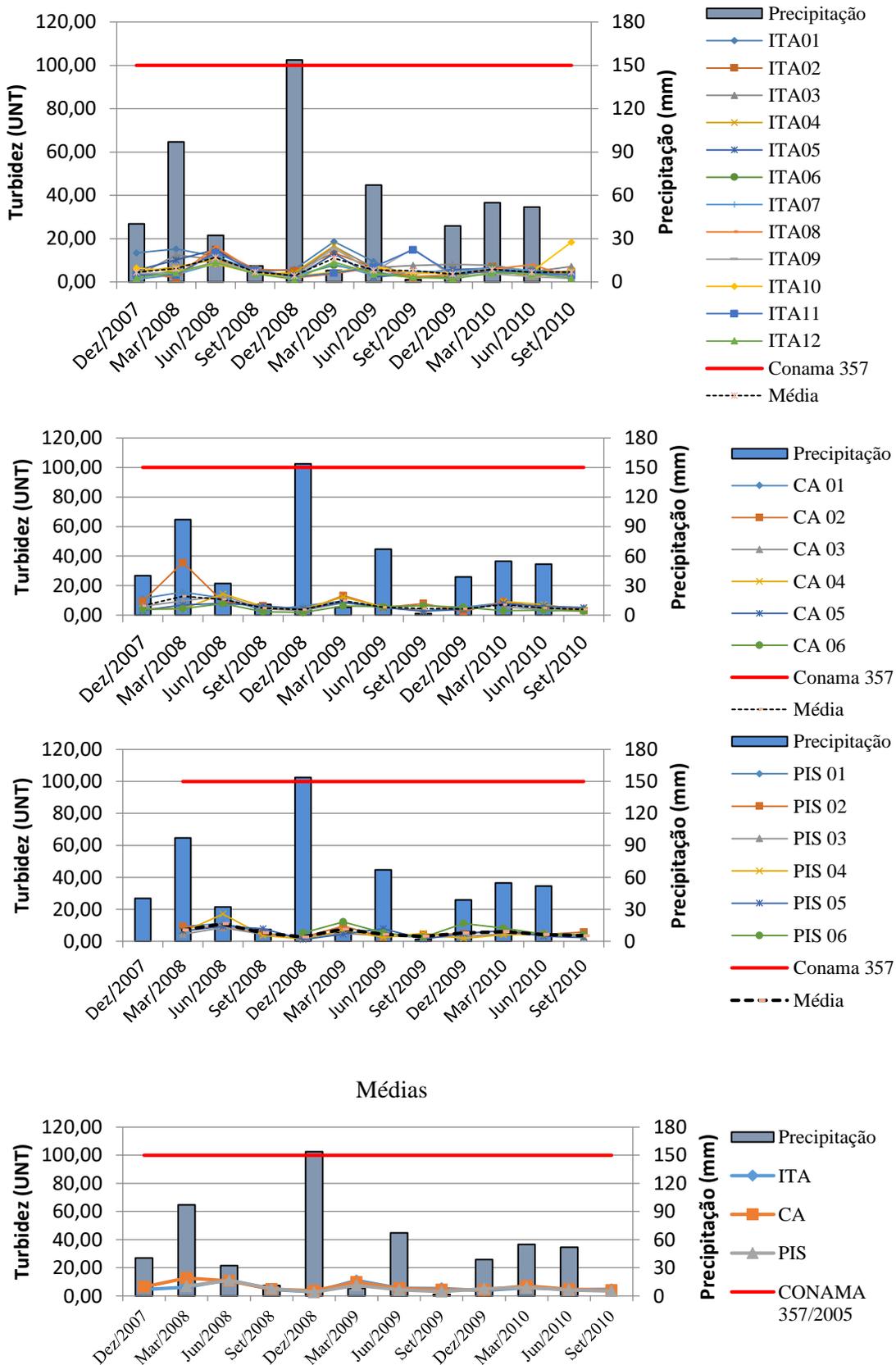
Figura 5.31 – Estatística descritiva para a turbidez medida em amostras de água do reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisar a Figura 5.32, a qual mostra a variação espaço-temporal da turbidez no reservatório de Itaparica, percebe-se que o maior valor foi obtido para o ponto CA 02 (35,60 UNT).

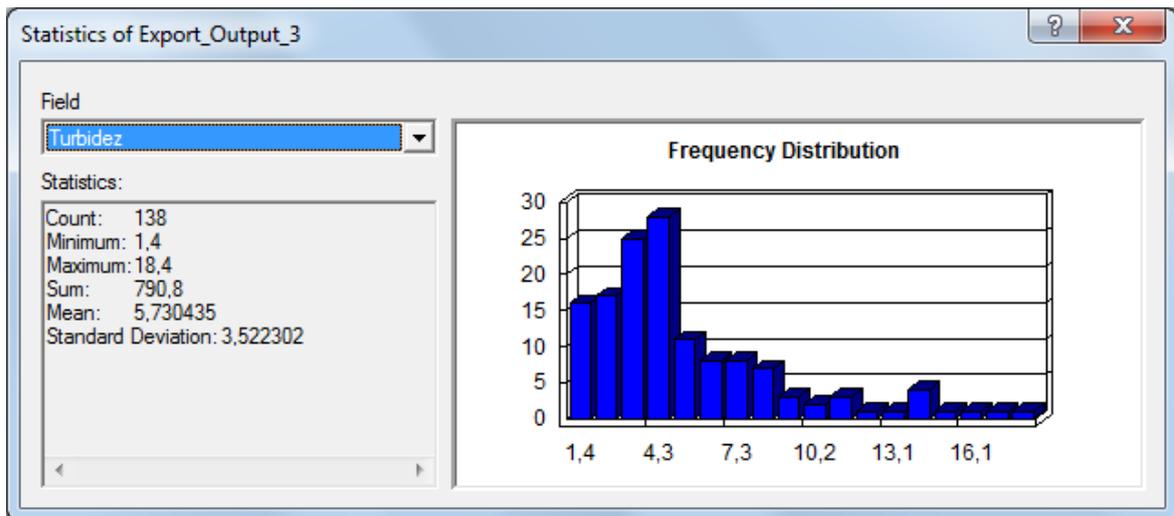
Figura 5.32 – Variação temporal da turbidez



Fonte: Elaborado pelo autor

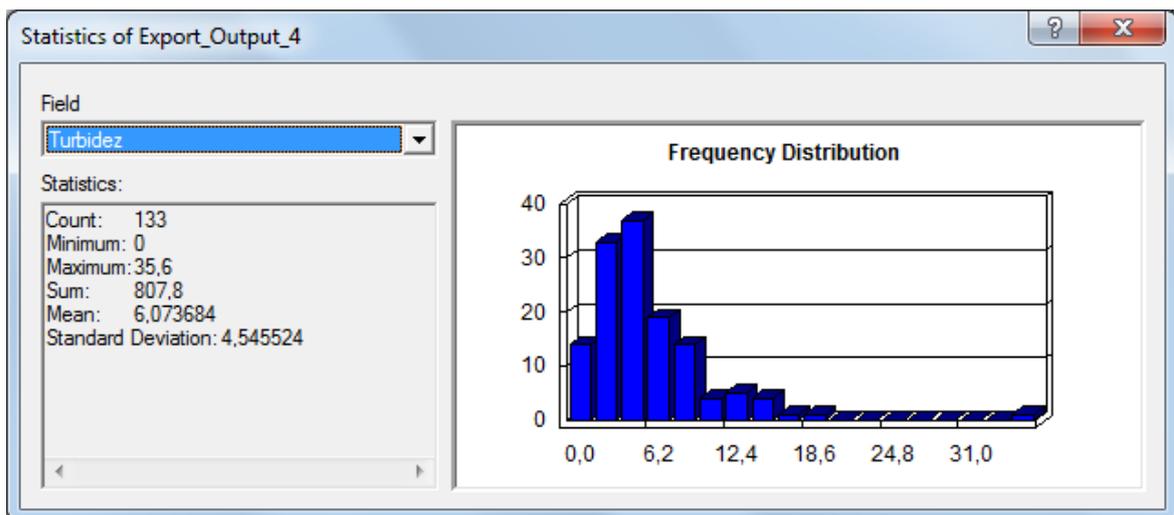
Verifica-se que no período chuvoso (Figura 5.33), a turbidez apresentou valor médio um pouco mais elevado (6,07 UNT) que no período seco (Figura 5.34) (5,7 UNT) devido a um maior carregamento de matéria em suspensão. Raposo (2011) analisaram taxas de turbidez e relações com usos e cobertura do solo na bacia do rio Itabirito (MG) também obtendo os maiores valores na estação chuvosa.

Figura 5.33 – Estatística descritiva para a turbidez para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

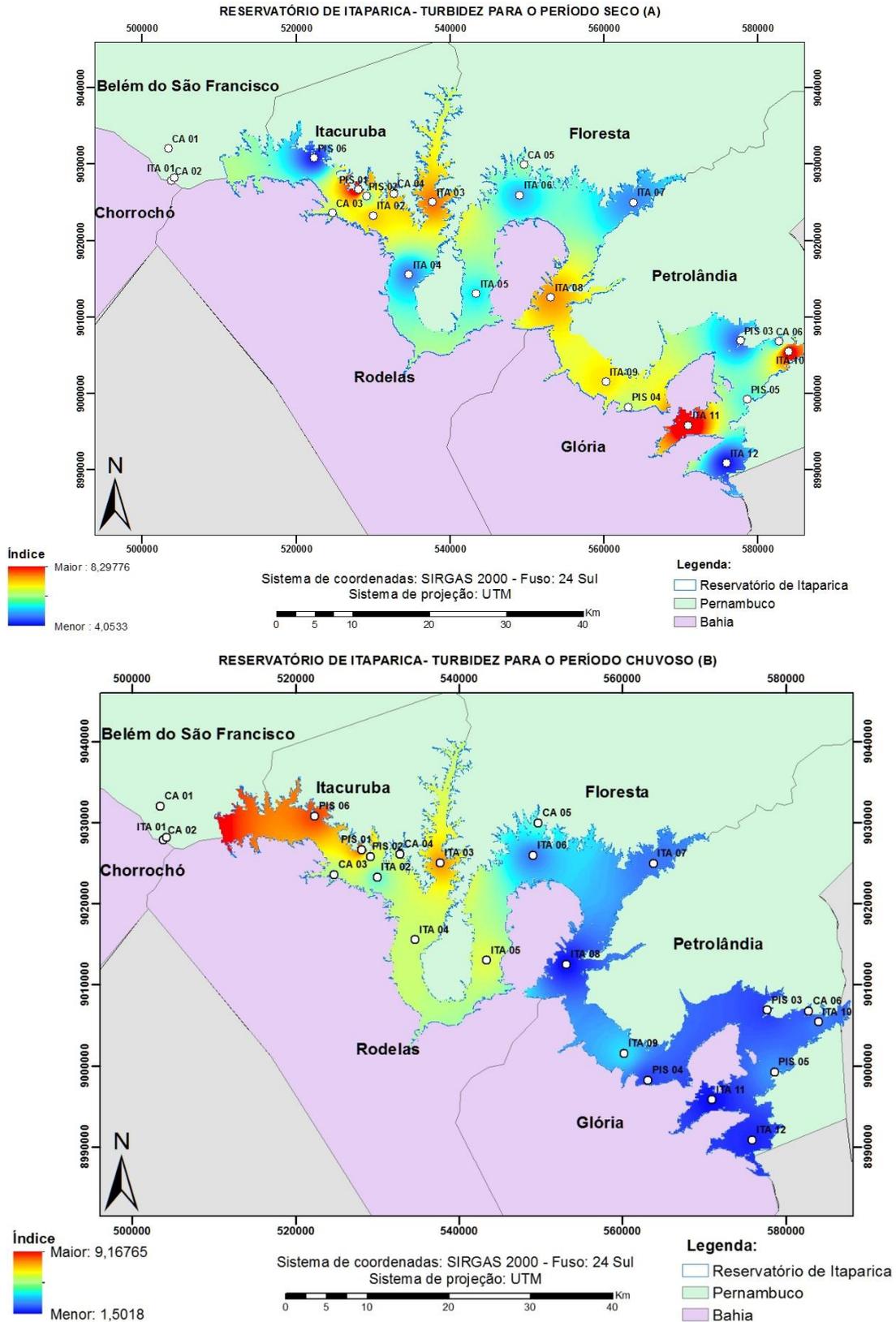
Figura 5.34 – Estatística descritiva para a turbidez para o período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 5.35 (a) e (b) mostram as interpolações, através do método IDW, para a turbidez no período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 5.35 – Distribuição espacial da turbidez para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação

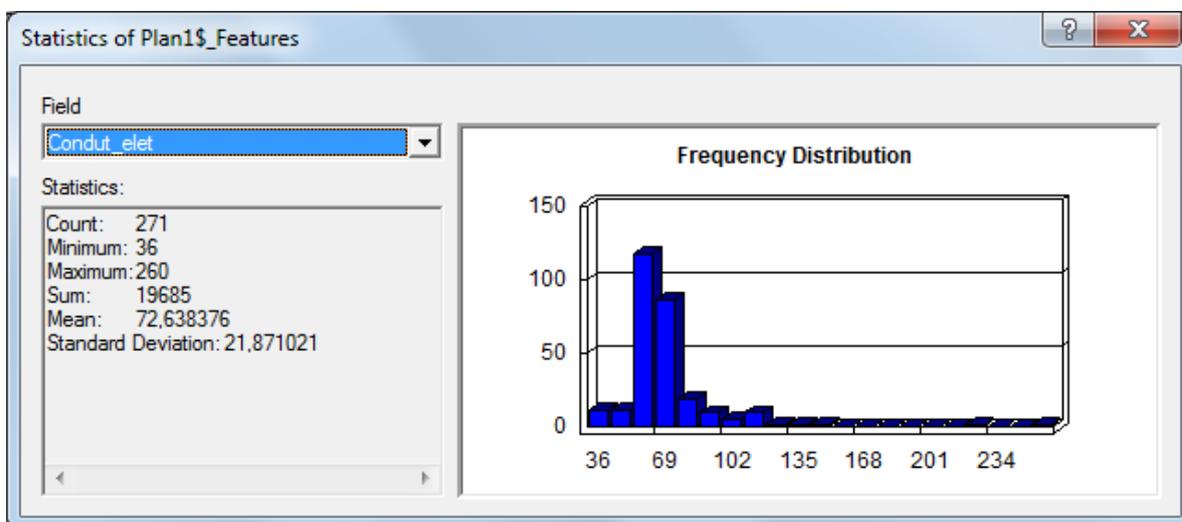


Fonte: Elaborado pelo autor

iii) Análise da condutividade elétrica

A condutividade elétrica representa a capacidade que a água possui em conduzir corrente elétrica e está relacionada com a presença de íons dissolvidos na água. Conforme a Figura 5.36, a condutividade elétrica variou entre 36 e 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentando valor médio de 72,64 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A Figura 5.37 mostra a variação temporal da condutividade elétrica. A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limites para este parâmetro.

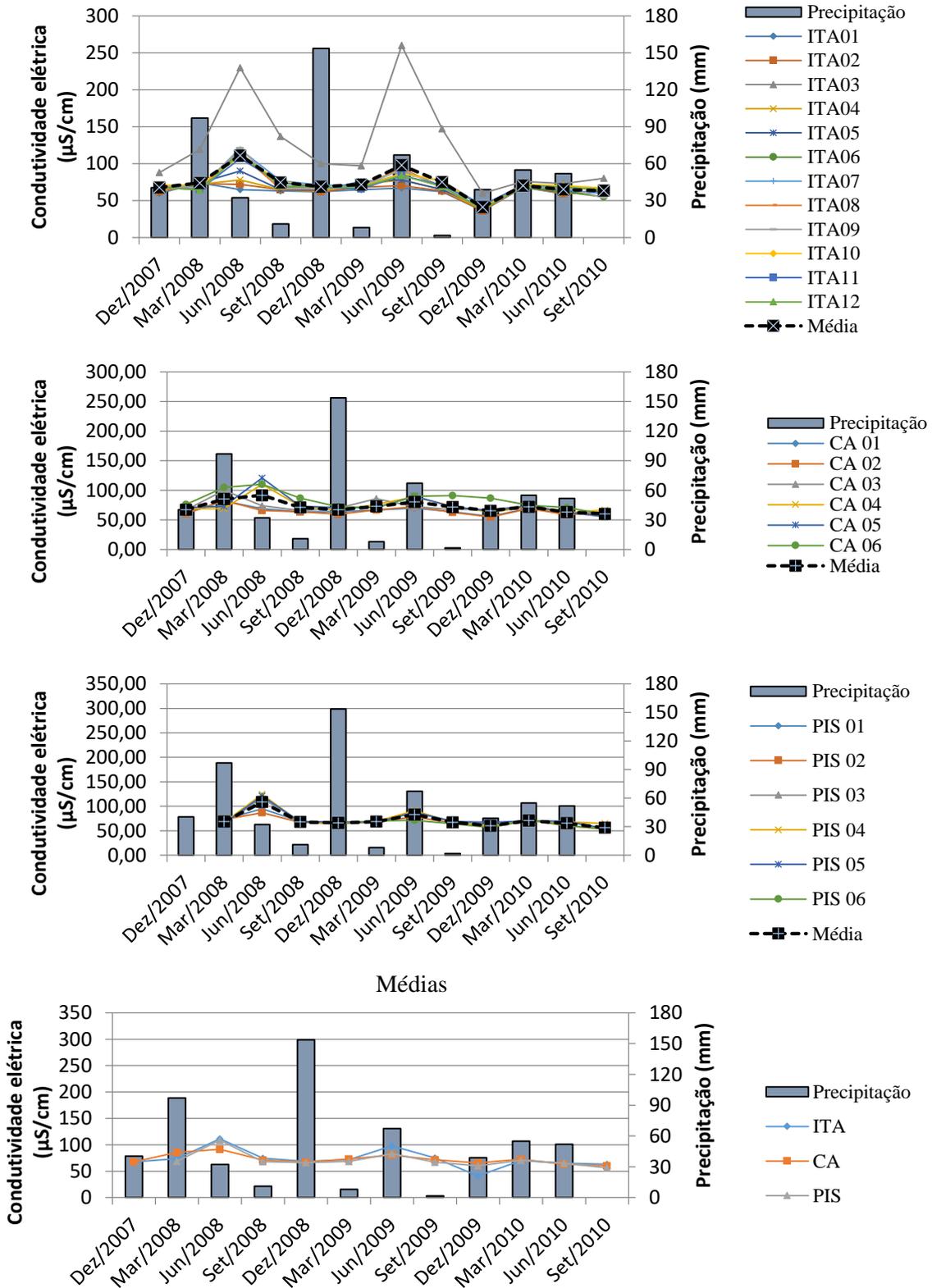
Figura 5.36 – Estatística descritiva para a condutividade elétrica medida em amostras de água do reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao observar a Figura 5.37 percebe-se que os maiores valores foram medidos no ponto ITA 03, o qual está localizado em um trecho que recebe grande contribuição de materiais em suspensão do rio Pajeú, principalmente durante o período chuvoso. Para os demais pontos, observa-se um comportamento semelhante para o parâmetro em estudo.

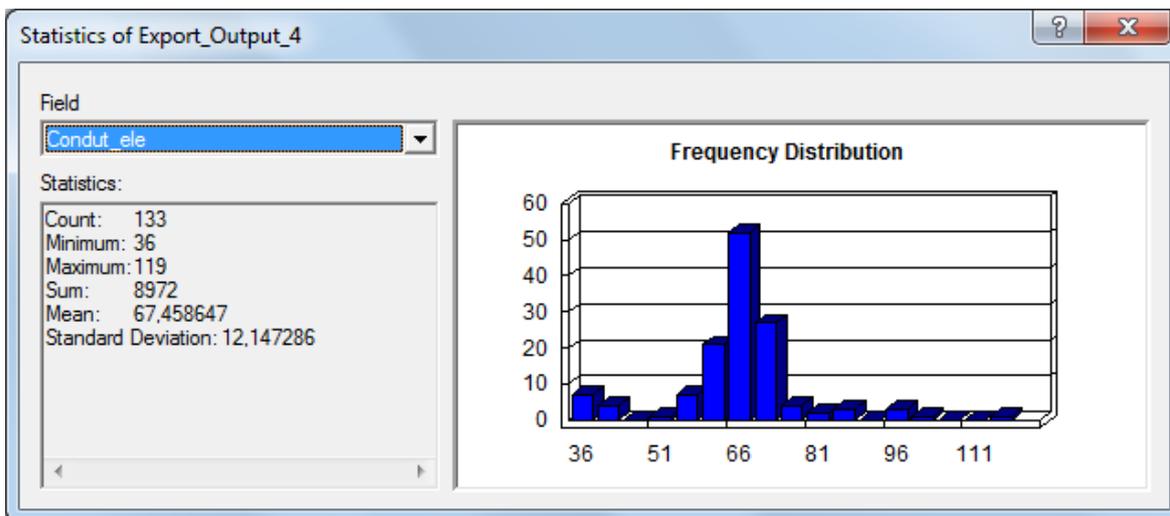
Figura 5.37 - Variação temporal da condutividade elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor

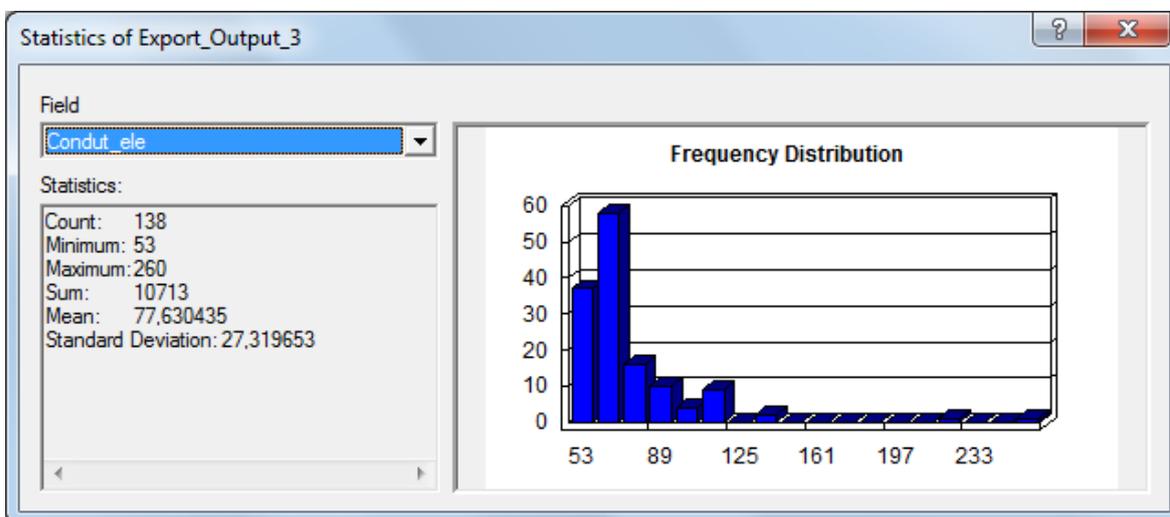
Observou-se para o reservatório de Itaparica uma média de 67,46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ da condutividade elétrica para o período chuvoso e média de 77,63 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o período seco conforme Figuras 5.38 e 5.39.

Figura 5.38 - Estatística descritiva para a condutividade elétrica para o período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor

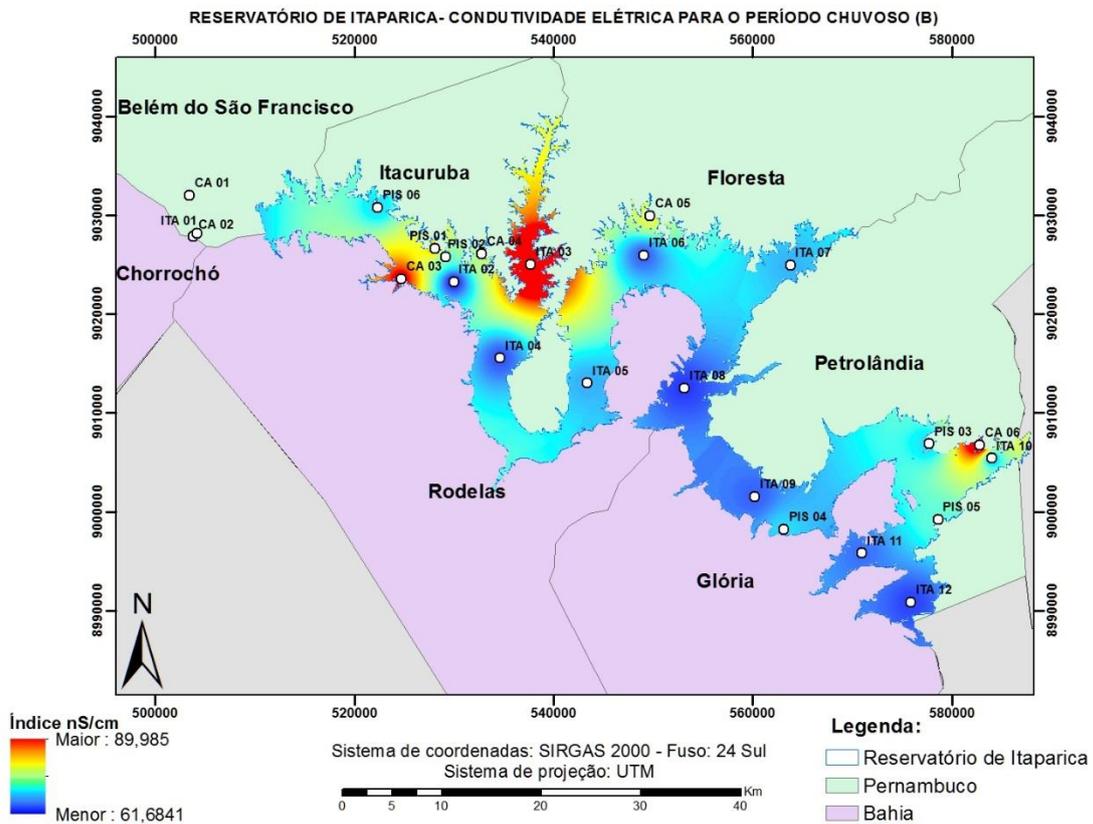
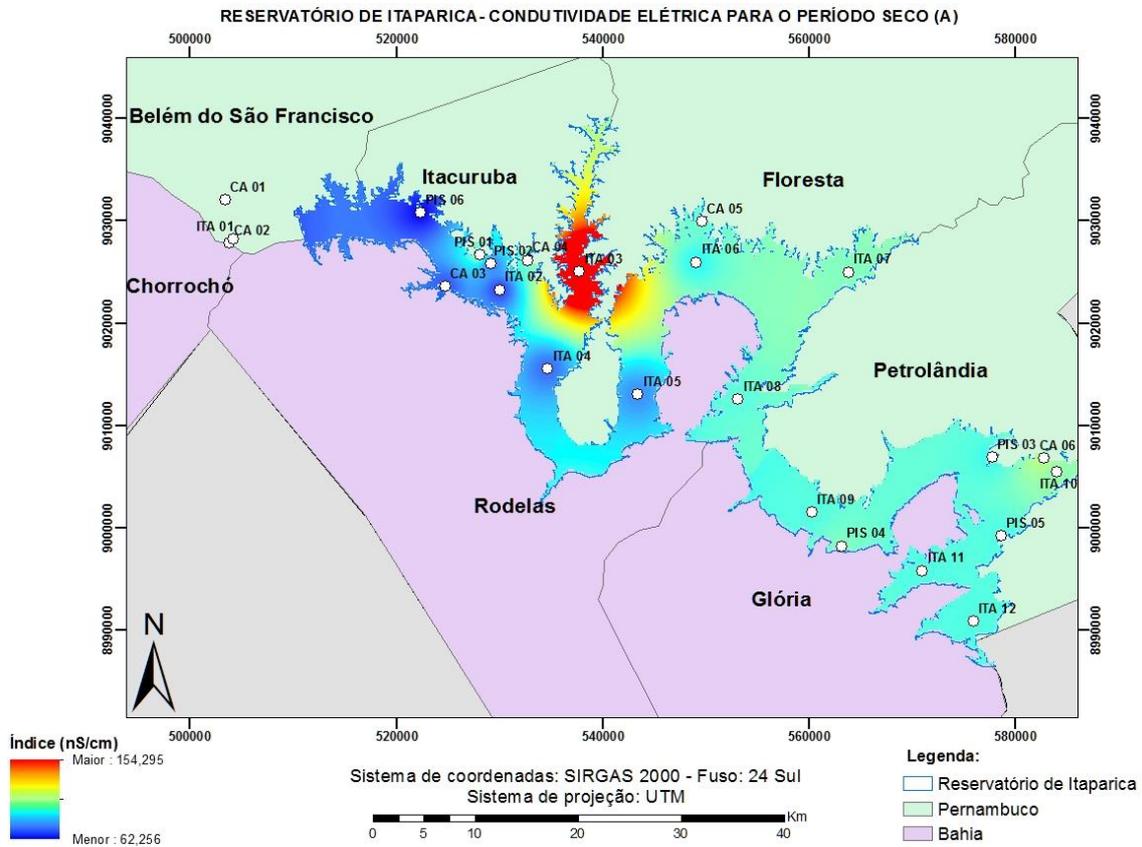
Figura 5.39 - Estatística descritiva para a condutividade elétrica para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

Através da Figura 5.40 (a) e (b) observa-se a variação espacial nos períodos chuvoso e seco da condutividade elétrica para o reservatório de Itaparica.

Figura 5.40 – Distribuição espacial da condutividade elétrica para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação

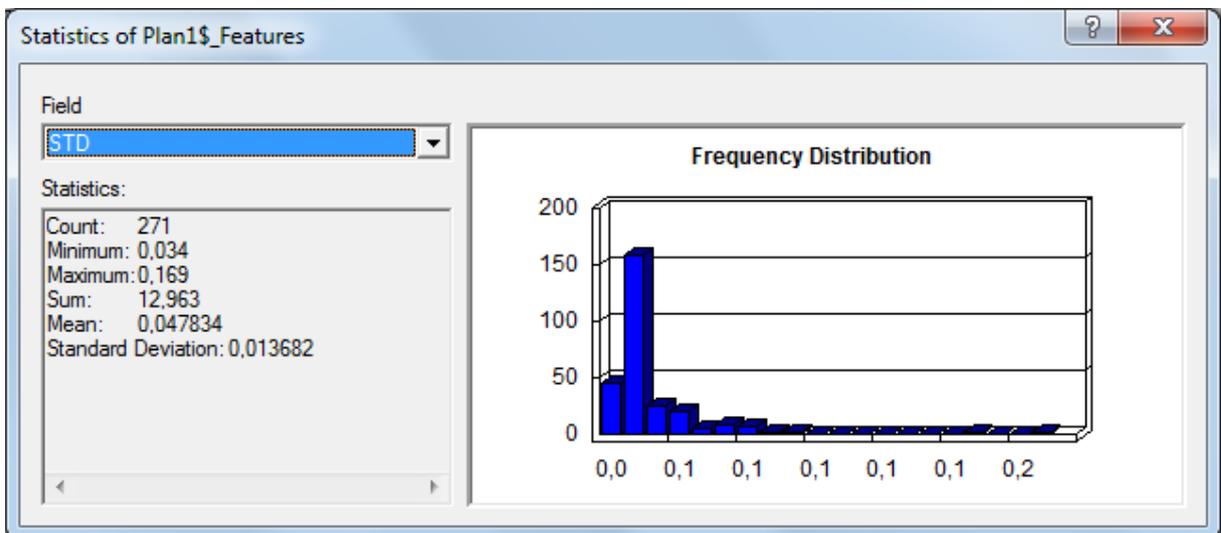


Fonte: Elaborado pelo autor

iv) Análise dos Sólidos Totais Dissolvidos

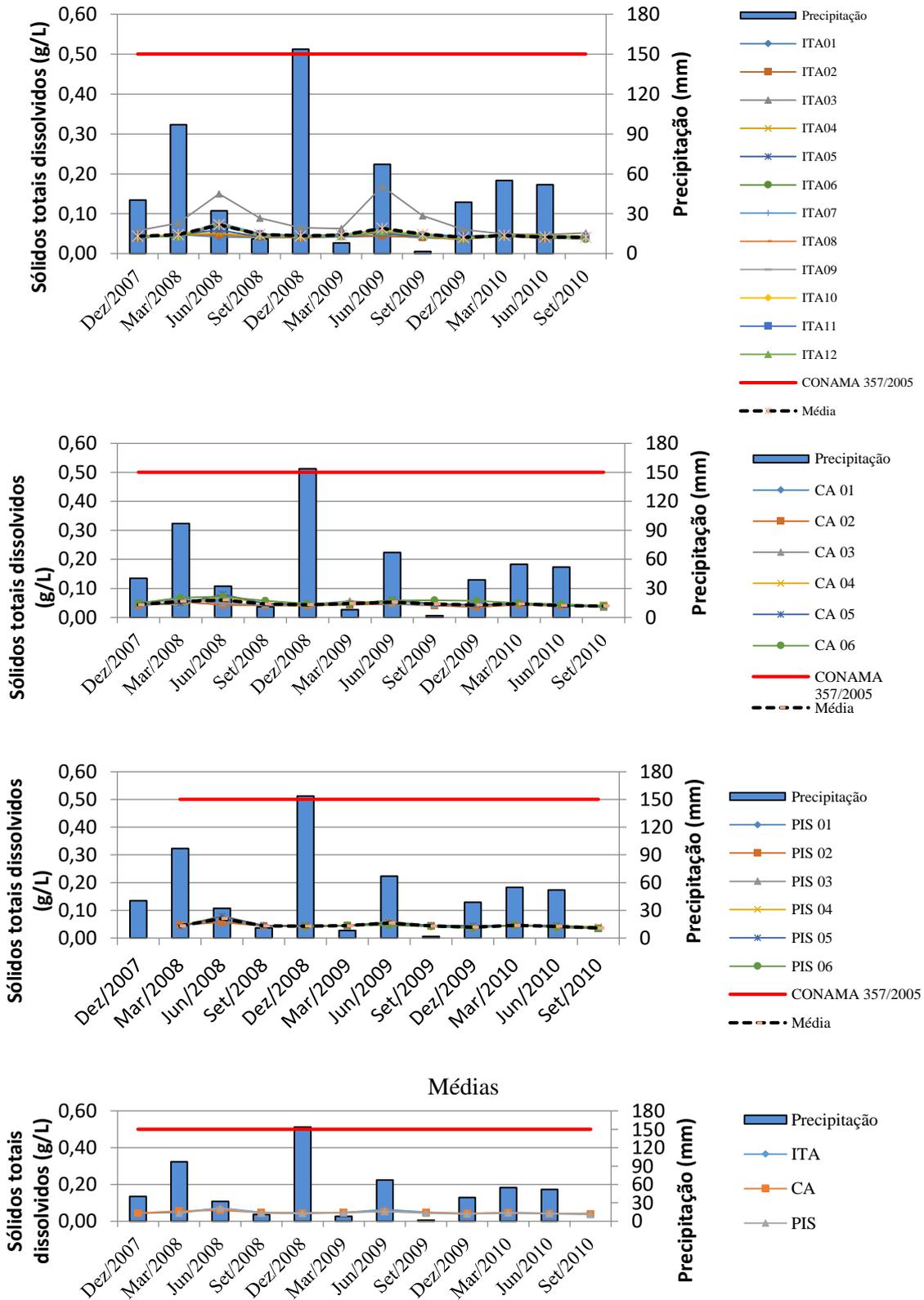
Os sólidos totais dissolvidos (STD) representam a quantidade de substâncias dissolvidas na água, que podem alterar suas propriedades físicas e químicas. Pode ser devido à dissolução de minerais, através da presença dos íons: sódio, cloreto, magnésio, potássio, sulfato, etc. O excesso de sólidos dissolvidos na água pode causar alterações no sabor e problemas de incrustação. Além de ser prejudicial ao consumo humano, também seria bastante prejudicial para a operação de uma usina hidrelétrica. Águas com STD acima de 2 g/L pode causar efeitos laxativos, se consumidas. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece um limite de 0,5 g/L, dessa forma, verifica-se que o reservatório de Itaparica atende a referida resolução, apresentando durante o período de monitoramento valor médio de 0,048 g/L, variando entre 0,034 e 0,169 g/L (Figura 5.41). A Figura 5.42 apresenta a variação temporal do parâmetro em estudo.

Figura 5.41 – Estatística descritiva para a turbidez medida em amostras de água do reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.42 – Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos

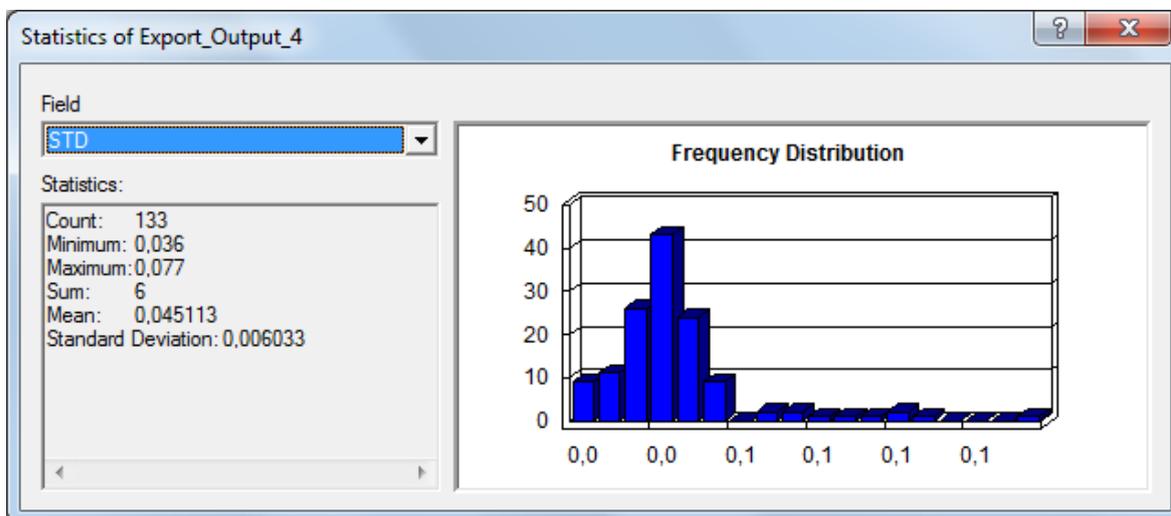


Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como a condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos também apresentaram valores inferiores para o período chuvoso (média de 0,045 g/L), enquanto que no período seco

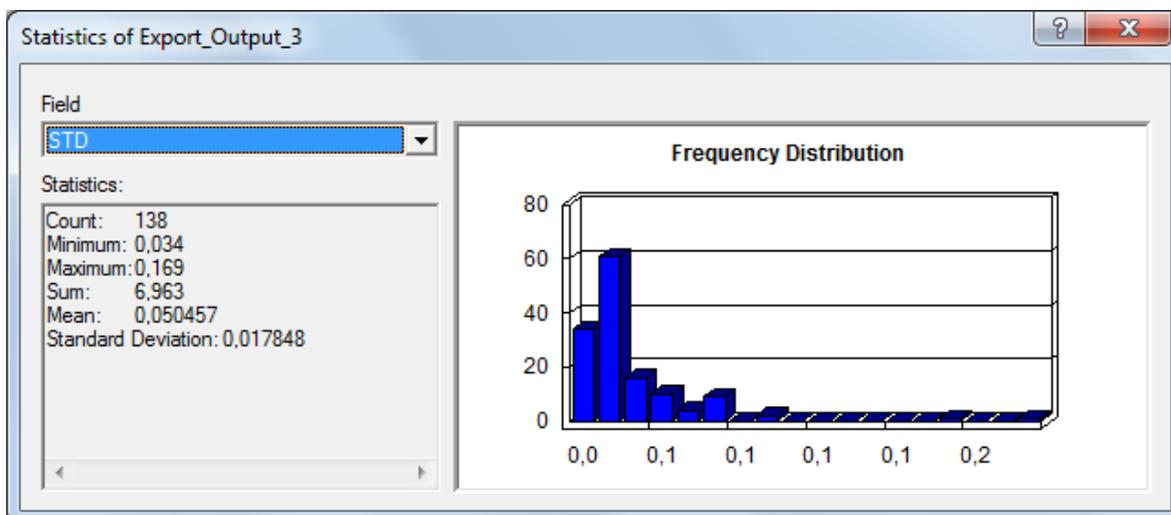
a média foi de 0,05 g/L. As Figuras 5.43 e 5.44 apresentam a variação espacial dos STD para os períodos seco e chuvoso.

Figura 5.43 – Estatística descritiva para STD para o período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor

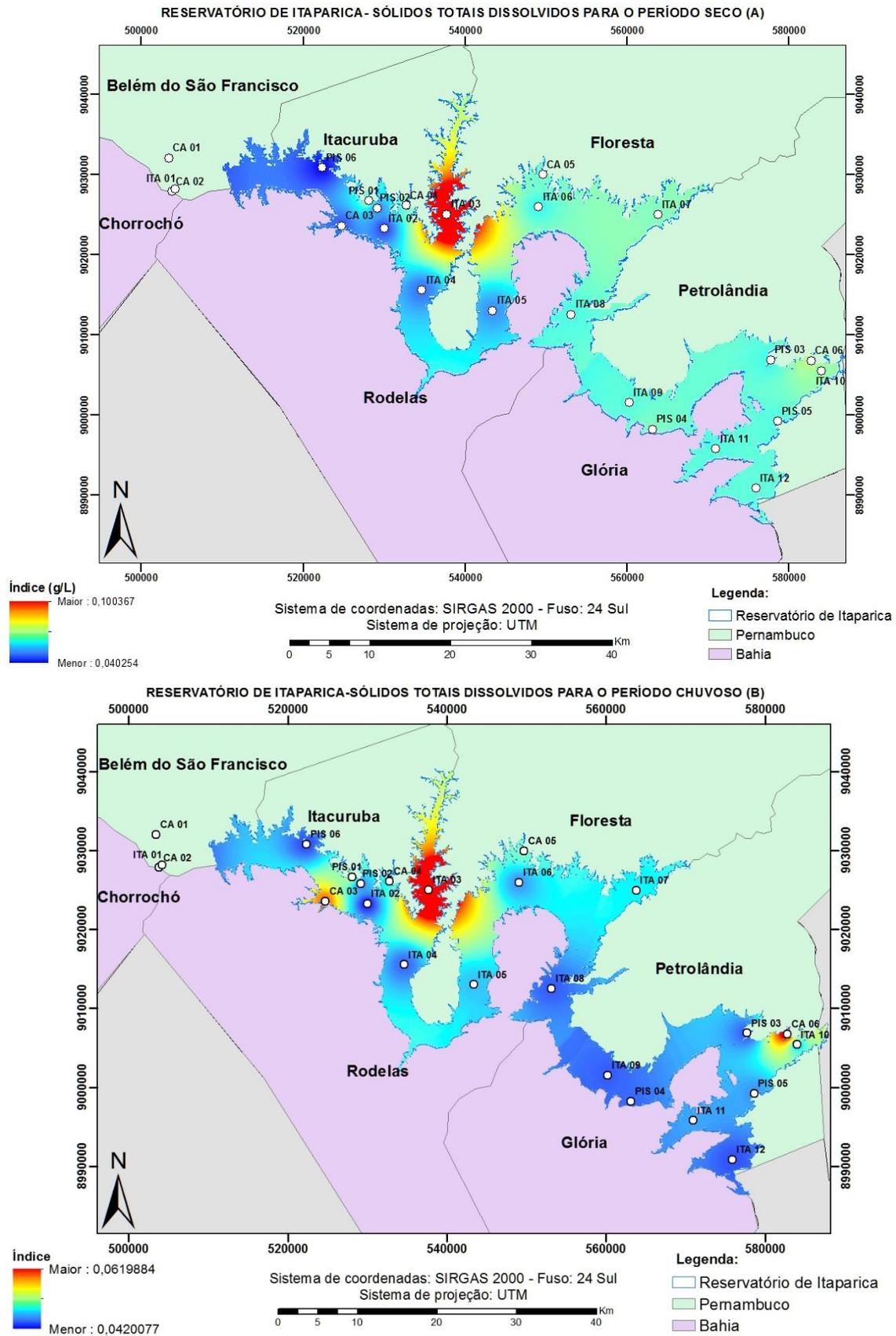
Figura 5.44 – Estatística descritiva para STD para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

Através da Figura 5.45 observa-se a variação espacial nos períodos seco e chuvoso dos sólidos totais dissolvidos para o reservatório de Itaparica, através do método de interpolação IDW.

Figura 5.45 – Distribuição espacial dos sólidos totais dissolvidos para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação

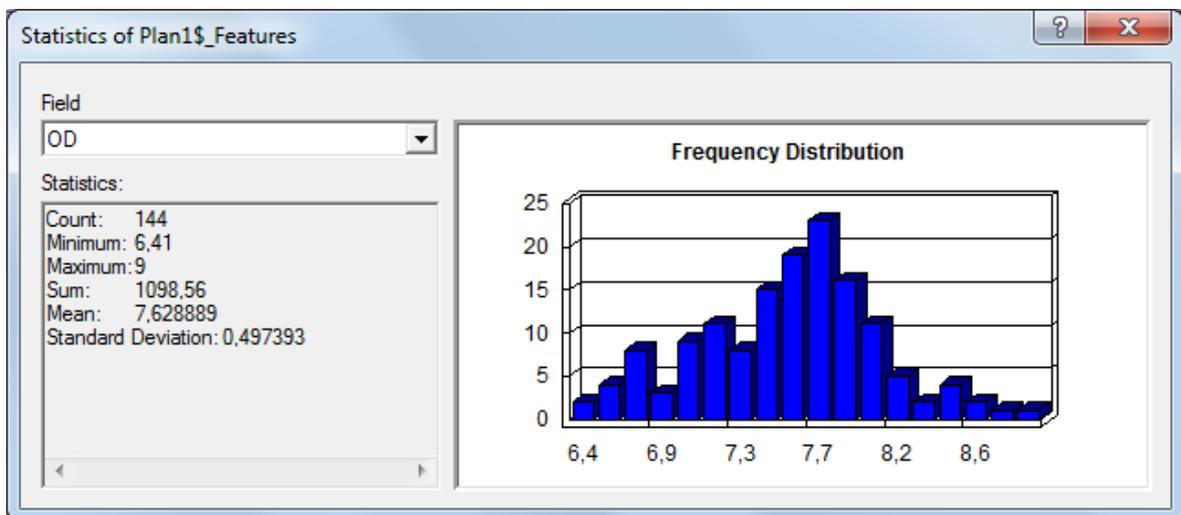


Fonte: Elaborado pelo autor

v) Análise do Oxigênio Dissolvido (OD)

Para avaliação do Oxigênio Dissolvido (OD) durante o período de monitoramento foi realizada a estatística descritiva (Figura 5.46), a qual mostra que o OD, parâmetro de importância relevante para o consumo humano e para vida aquática, o qual mede a concentração de Oxigênio Dissolvido na água, variou entre 6,41 e 9,00, apresentando um valor médio de 7,63 e desvio padrão de 0,50.

Figura 5.46 - Estatística descritiva para o oxigênio dissolvido medido em amostras de água do reservatório de Itaparica

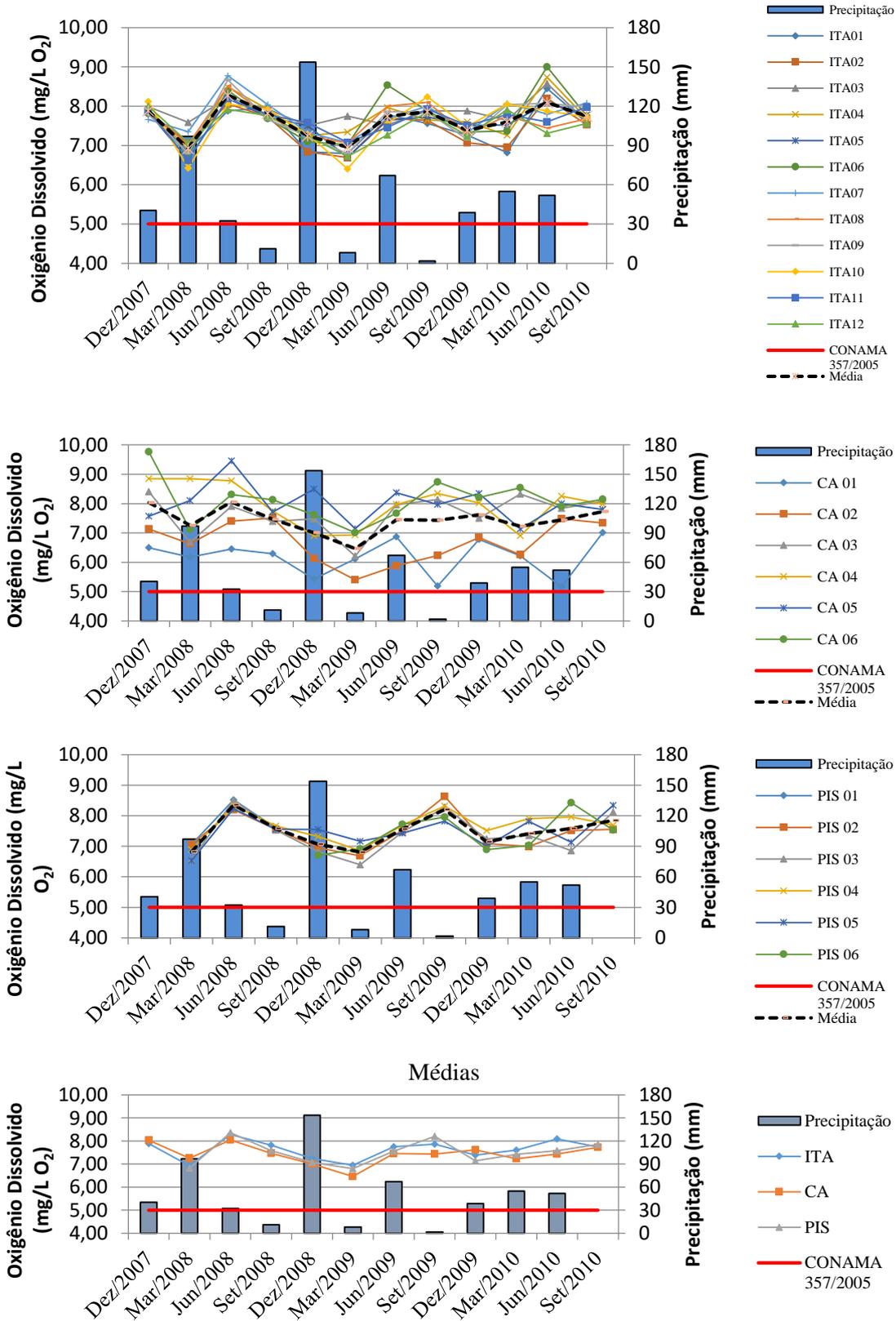


Fonte: Elaborado pelo autor

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece para corpos d'água Classe 2 que o OD não pode ser inferior a 5,0 mg/L O₂. Através da estatística descritiva obtida através do SIG-Itaparica foi possível verificar que todos os valores medidos durante o período de 2007 a 2010 encontram-se acima do estabelecido pela referida resolução normativa, evidenciando uma boa qualidade da água do reservatório de Itaparica. A Figura 5.47 mostra a variação temporal para o Oxigênio Dissolvido.

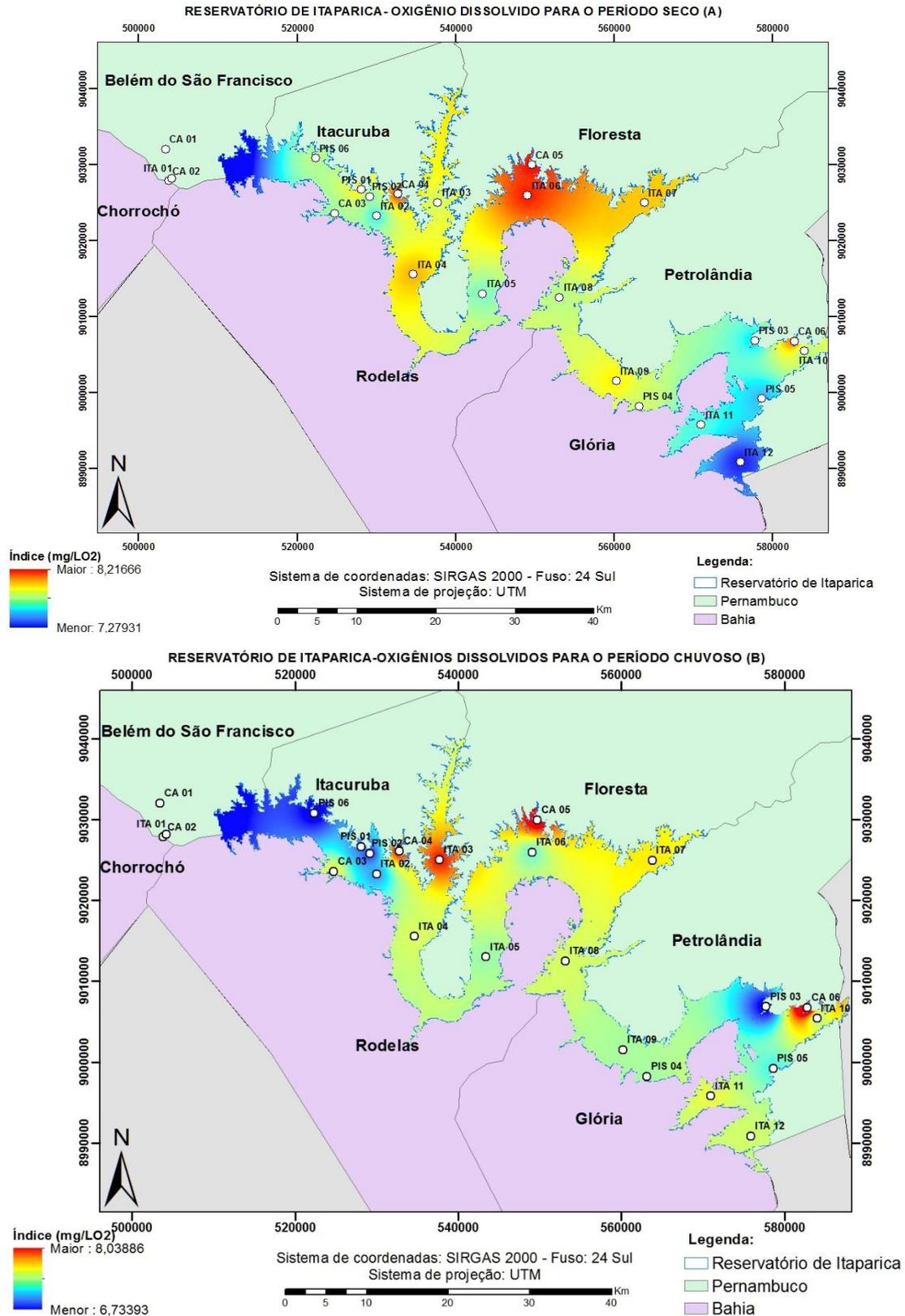
A Figura 5.48 (a) e (b) mostra a distribuição espacial do Oxigênio Dissolvido durante os períodos seco e chuvoso para o reservatório de Itaparica, obtido com auxílio do método de interpolação IDW.

Figura 5.47 – Variação temporal do oxigênio dissolvido (OD)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.48 – Distribuição espacial do oxigênio dissolvido para o período seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação



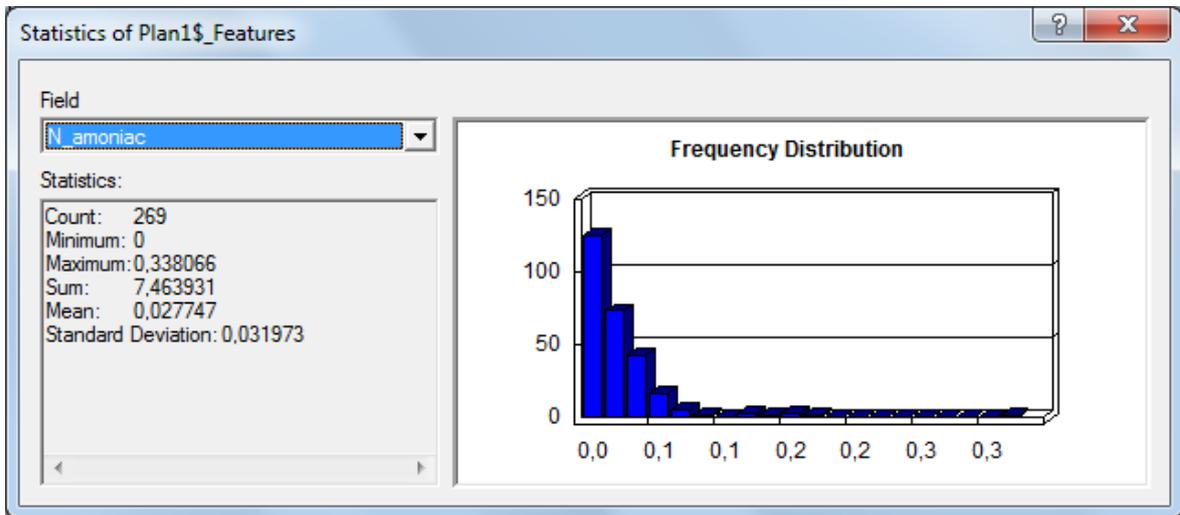
Fonte: Elaborado pelo autor

vi) Análise do nitrogênio amoniacal

O Nitrogênio amoniacal presente nas águas significa matéria orgânica em decomposição. O nitrogênio nos processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido no meio, podendo afetar a vida aquática. Contudo, o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos.

A estatística descritiva (Figura 5.49) para o nitrogênio amoniacal mostra que o parâmetro variou de 0 a 0,34 mg/L, com valor médio de 0,03 mg/L. Esses valores encontram-se de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, a qual estabelece para corpos d'água Classe 2 o limite de 0,5 mg/L (pH > 8,5).

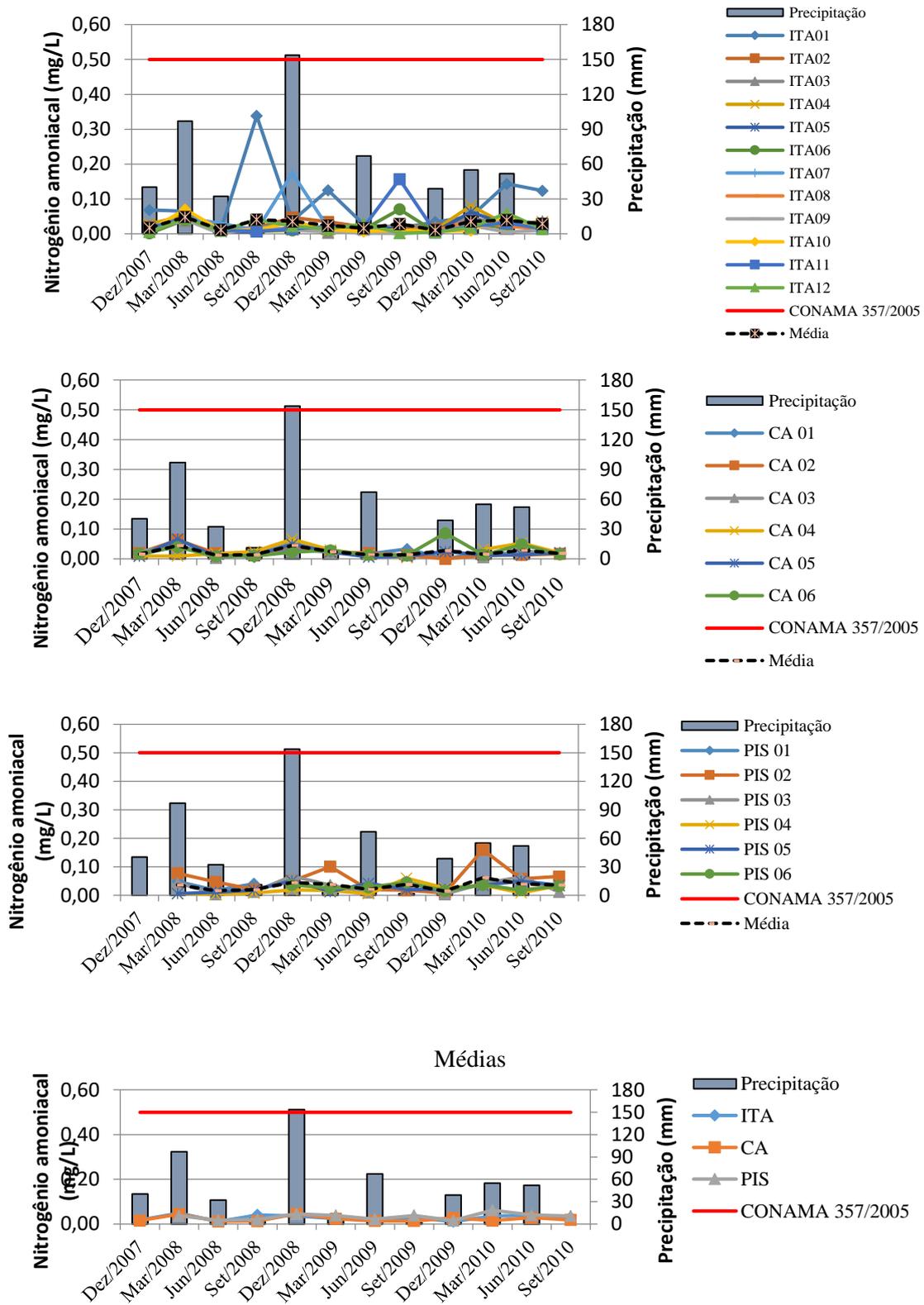
Figura 5.49 - Estatística descritiva para o Nitrogênio amoniacal medido em amostras de água do reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

O maior valor registrado foi no mês de setembro de 2008, para o ponto ITA 01, o qual está localizado no trecho do rio São Francisco a montante do reservatório de Itaparica, conforme pode ser visto na Figura 5.50 que mostra a variação temporal do Nitrogênio amoniacal.

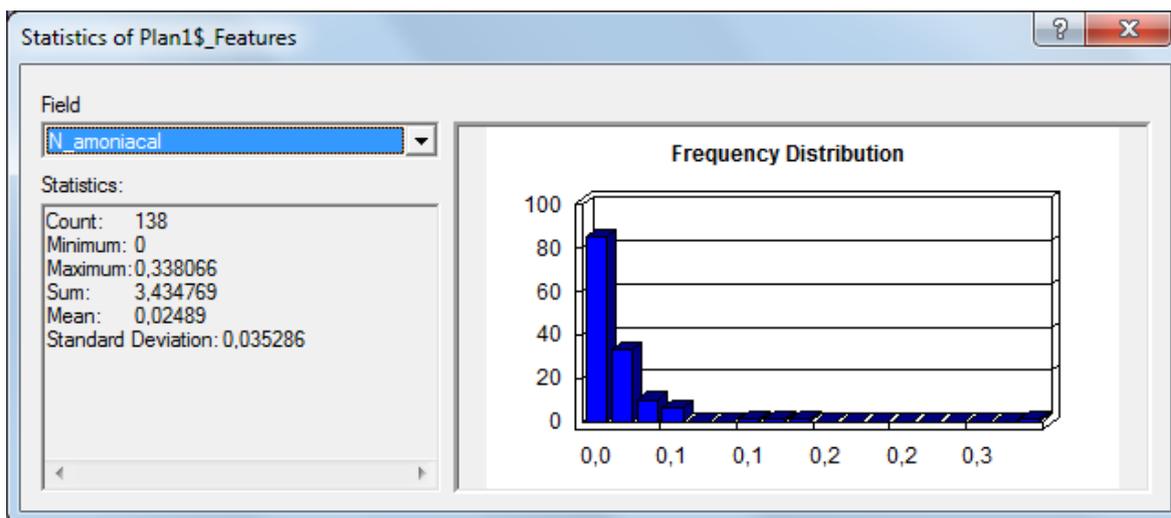
Figura 5.50 – Variação temporal do nitrogênio amoniacal



Fonte: Elaborado pelo autor

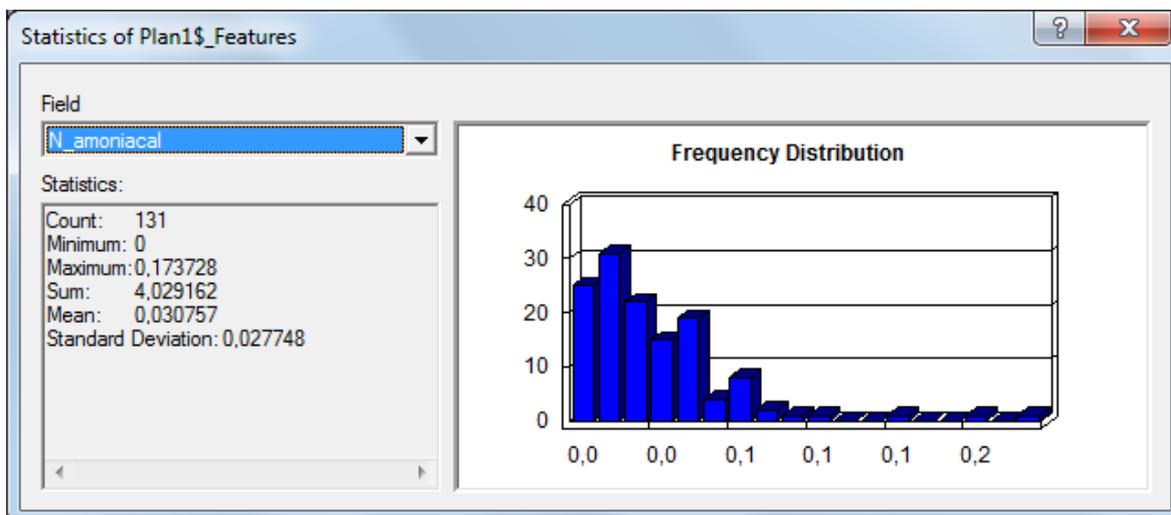
Através do SIG-Itaparica foi possível analisar o comportamento do Nitrogênio amoniacal nas estações seca (Figura 5.51) e chuvosa (Figura 5.52), observando um comportamento bem semelhante. Os valores no período seco (valor médio de 0,02 mg/L) foram discretamente inferiores ao período chuvoso (média de 0,03).

Figura 5.51 – Estatística descritiva para Nitrogênio amoniacal para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

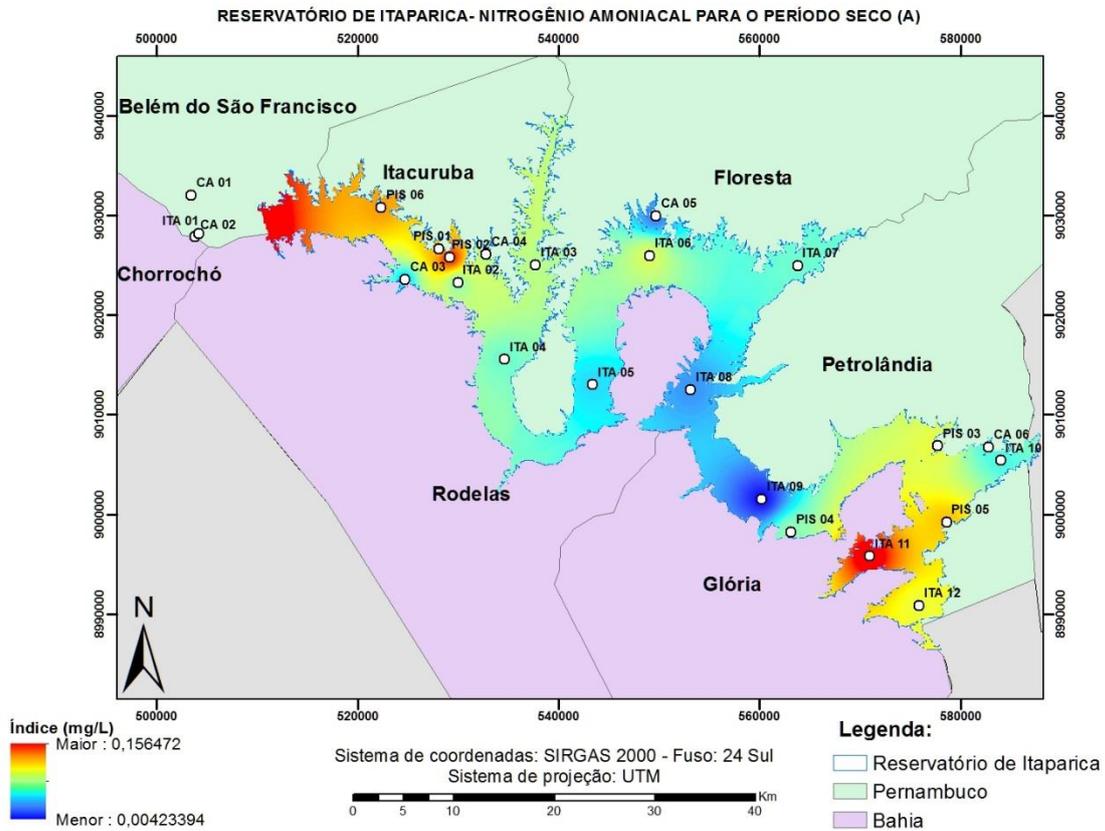
Figura 5.52 – Estatística descritiva para Nitrogênio amoniacal para o período chuvoso



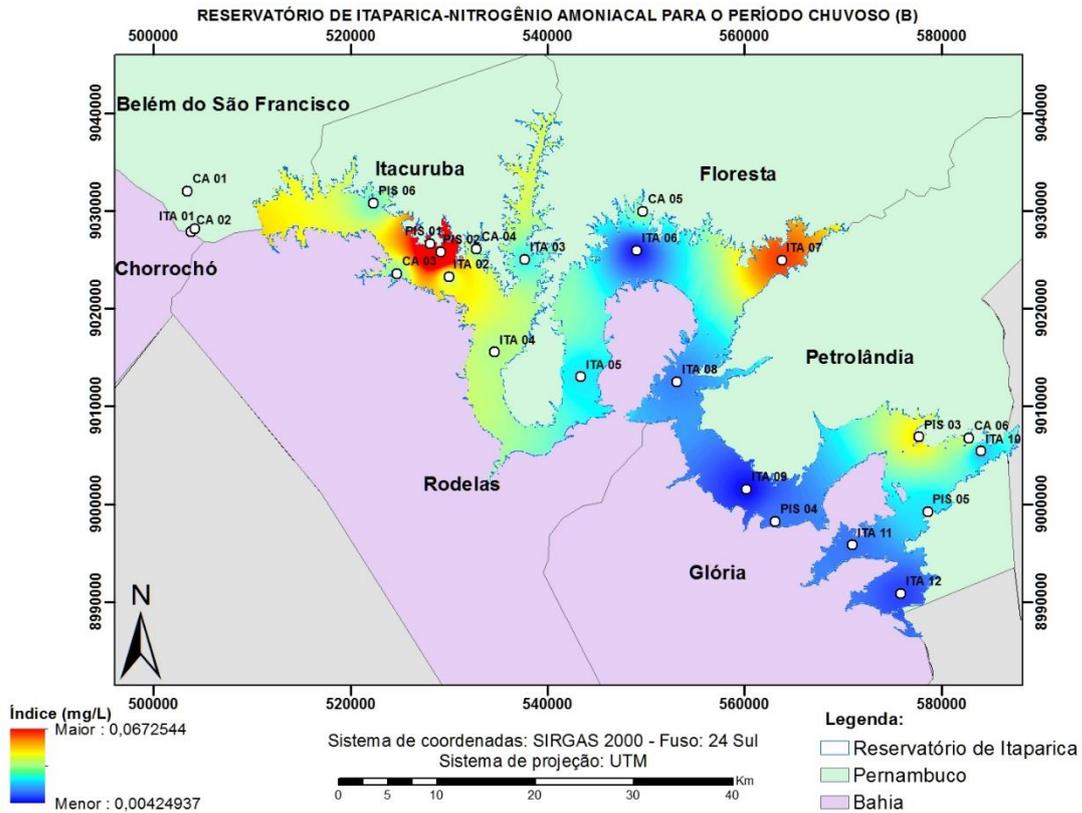
Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir, a Figura 5.53 (a) e (b) mostra a superfície de interpolação para o Nitrogênio amoniacal durante os períodos seco e chuvoso para o reservatório de Itaparica utilizando o método de interpolação IDW.

Figura 5.53 – Distribuição espacial do Nitrogênio amoniacal para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação



Fonte: Elaborado pelo autor



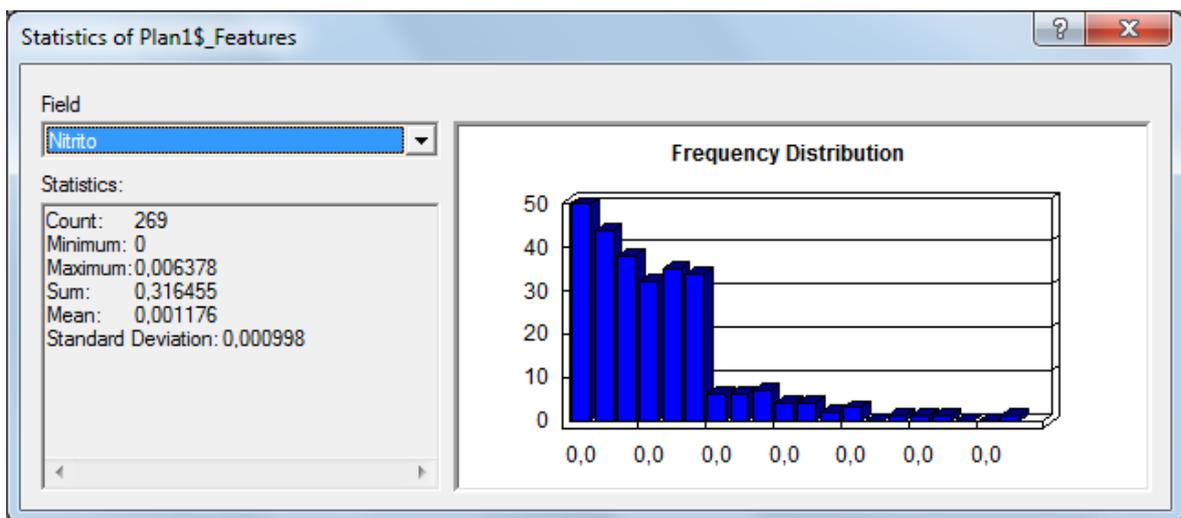
Fonte: Elaborado pelo autor

vii) Análise do nitrito

Entre as formas nitrogenadas, o nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) apresentou baixos valores, variando entre 0 e 0,006 mg/L N, apresentando valor médio de 0,01 mg/L N (Figura 5.54), encontrando-se dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, que é 1,0 mg/L N para corpos d'água Classe 2. A Figura 5.55 mostra a variação temporal do nitrito para o período estudado.

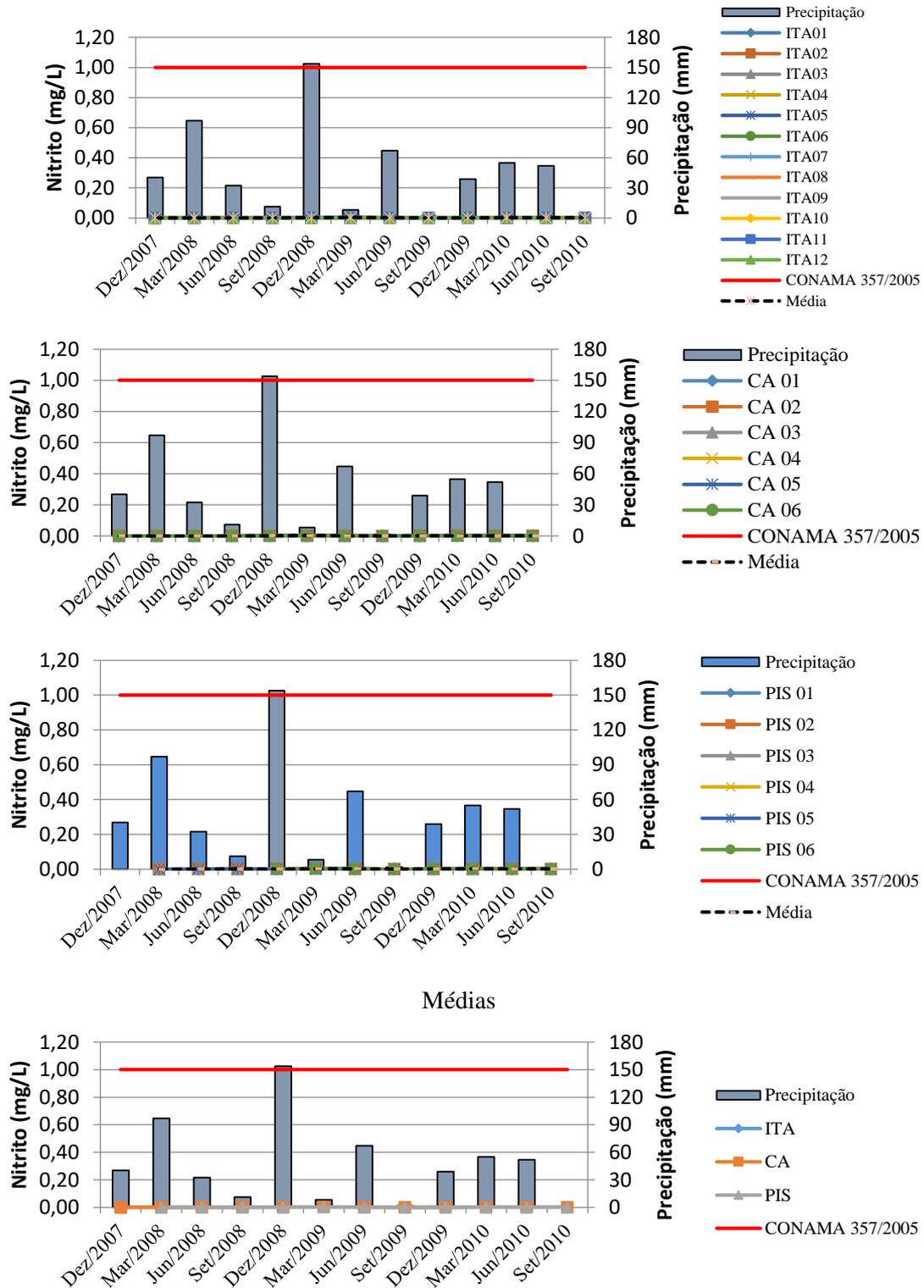
PRADO (2004) observou para o reservatório de Barra Bonita (SP) que os valores mais elevados de nitrato, os quais ultrapassaram 4.000 $\mu\text{g/L}$, foram medidos na estação chuvosa, sugerindo que neste período chuvoso, os nutrientes foram transportados dos braços do reservatório para o corpo central, sem considerar a contribuição das fontes difusas.

Figura 5.54 - Estatística descritiva para o nitrito medido em amostras de água do reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

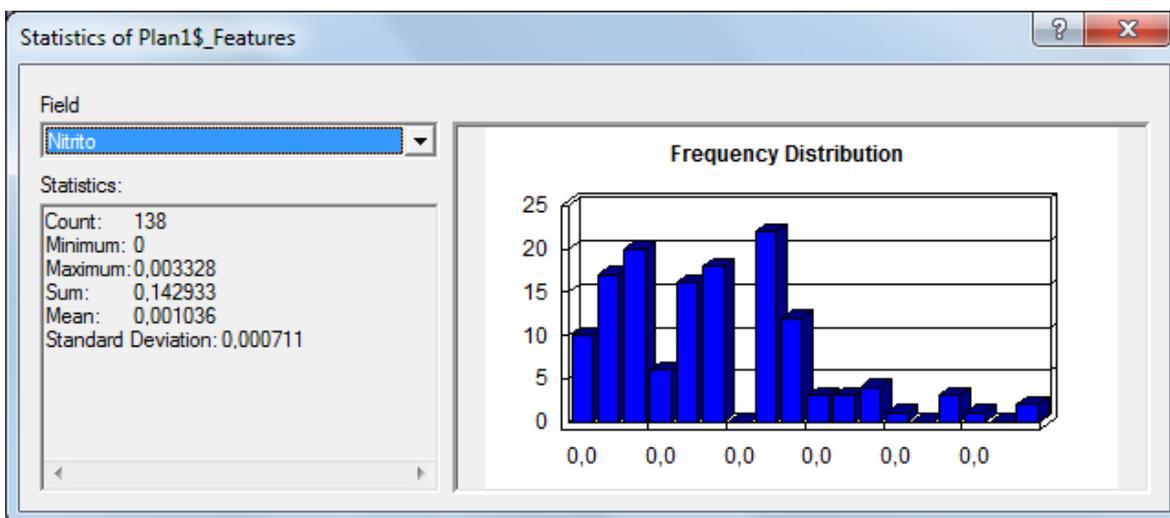
Figura 5.55 – Variação temporal do nitrato



Fonte: Elaborado pelo autor

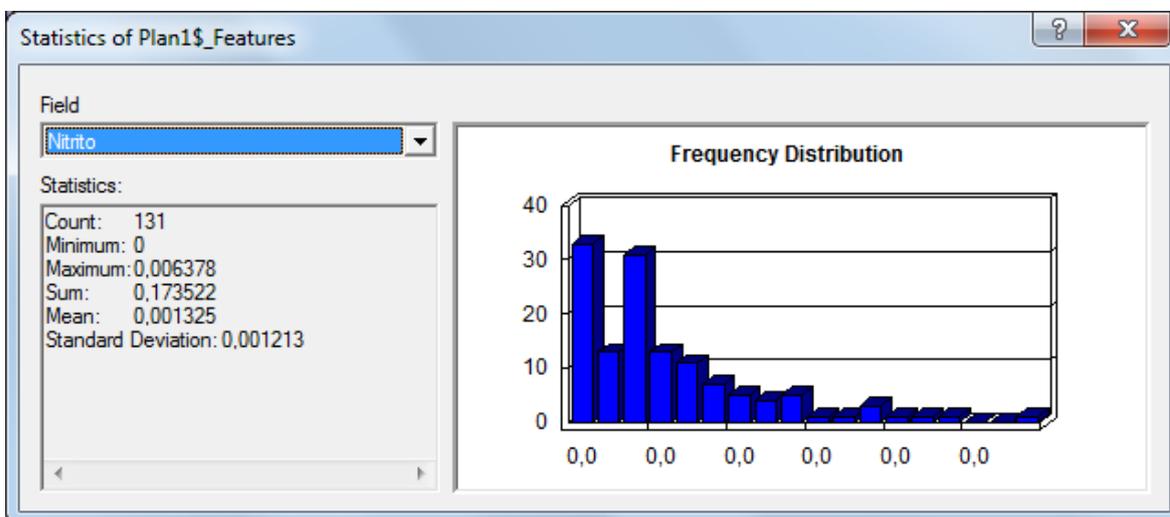
A estatística descritiva realizada para os períodos seco e chuvoso mostram que não houve variação entre os valores médios medidos para o parâmetro em estudo, o qual foi de 0,001 mg/L, conforme pode ser visto nas Figuras 5.56 e 5.57.

Figura 5.56 – Estatística descritiva para o nitrato para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

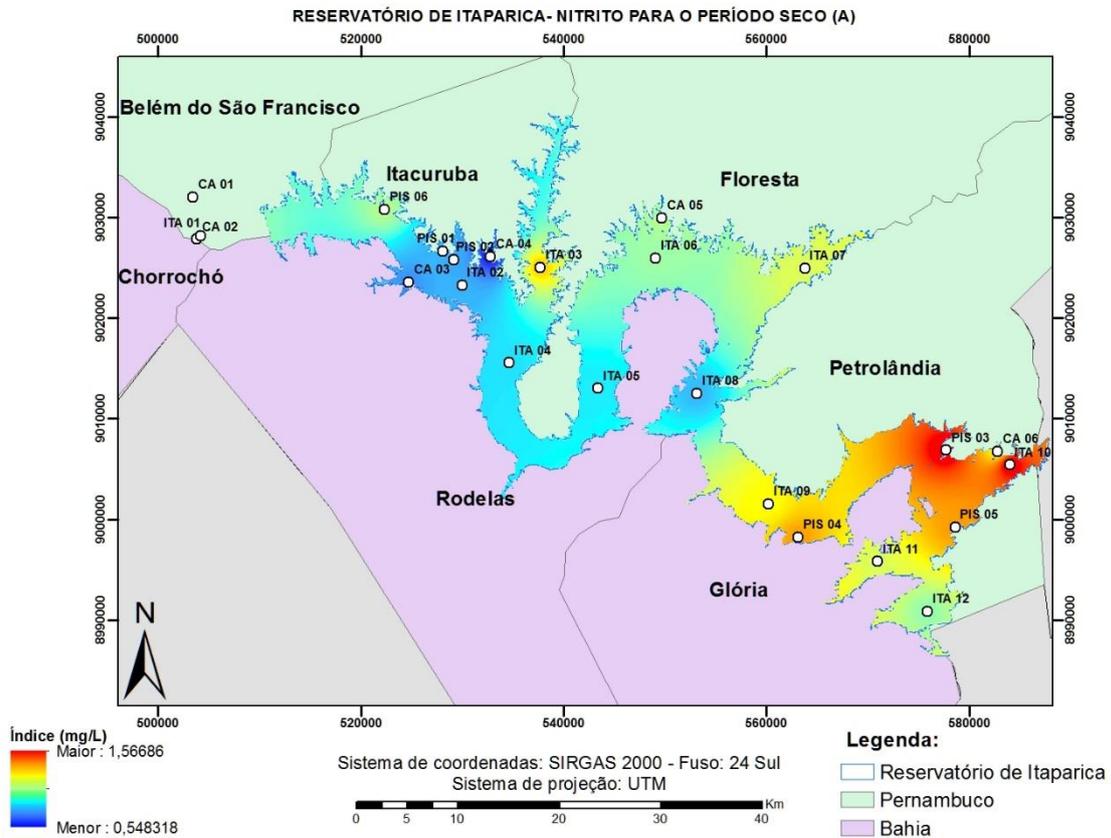
Figura 5.57 – Estatística descritiva para o nitrato para o período chuvoso



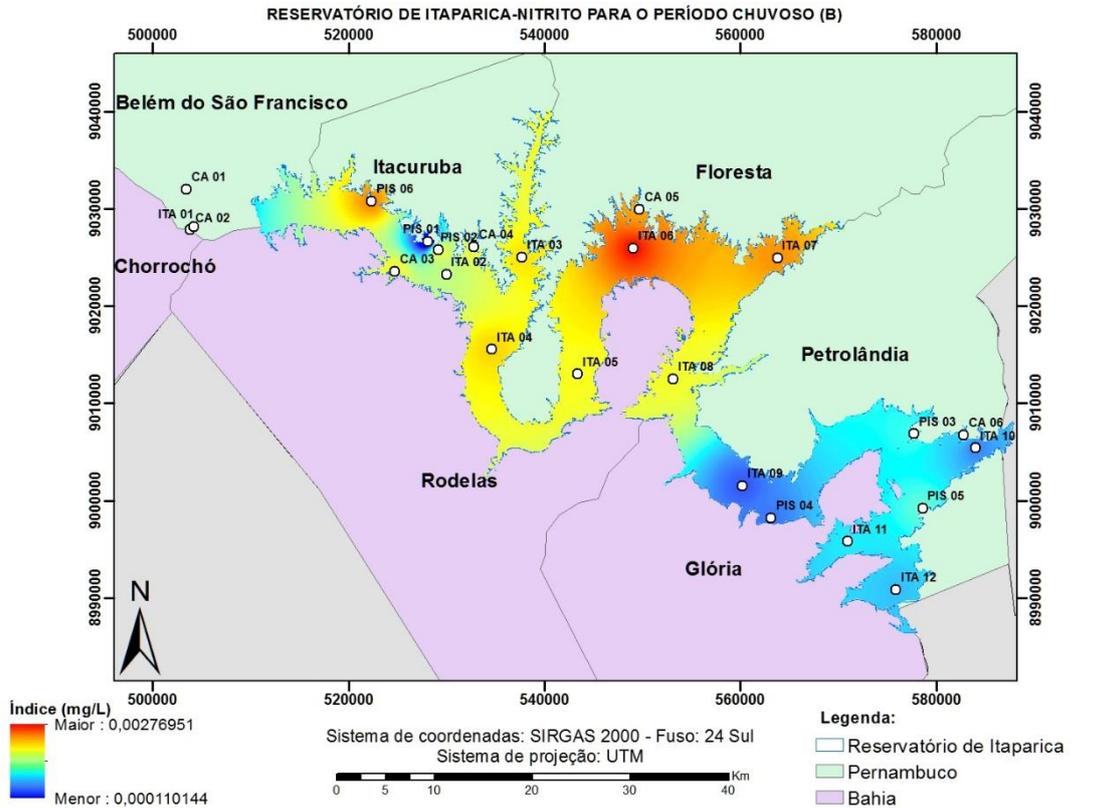
Fonte: Elaborado pelo autor

Para uma melhor visualização espacial da variação do nitrato, a Figura 5.58 (a) e (b) mostra a superfície de interpolação para o parâmetro em estudo, através do método de interpolação IDW.

Figura 5.58 – Distribuição espacial do Nitrito para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação



Fonte: Elaborado pelo autor

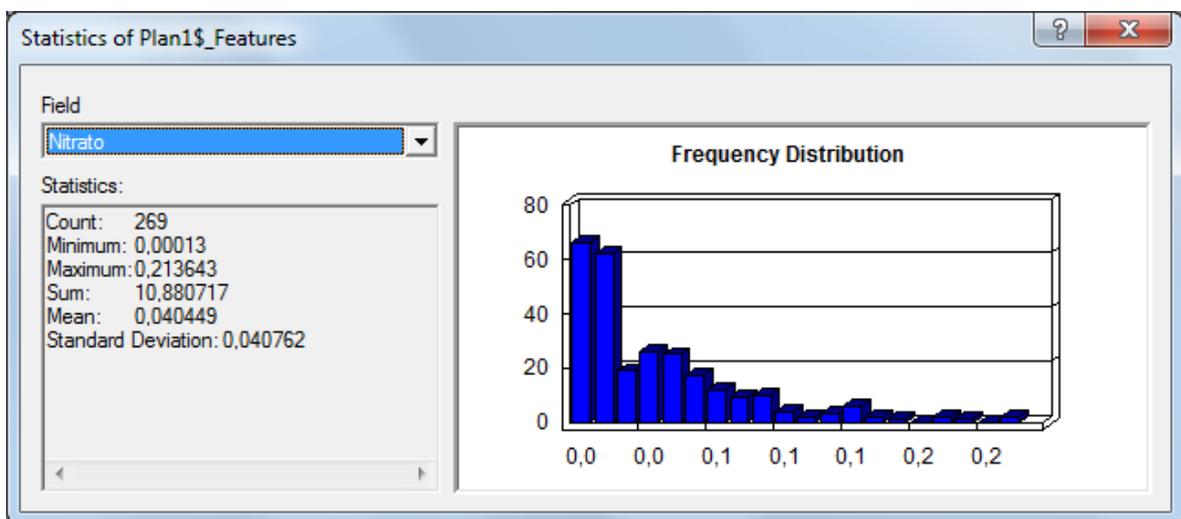


Fonte: Elaborado pelo autor

viii) Análise do nitrato

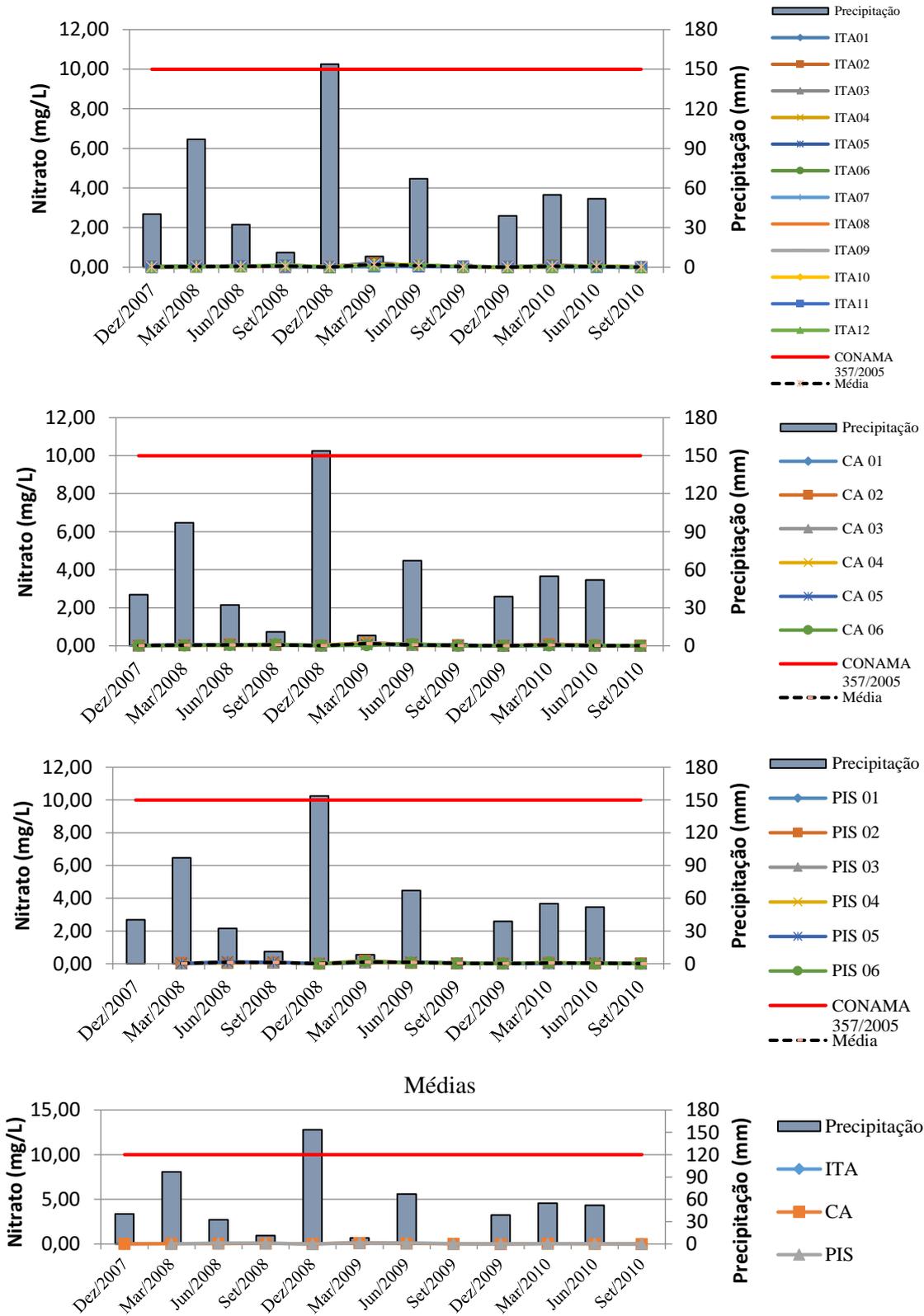
Entre as formas nitrogenadas, o nitrato ($\text{NO}_2\text{-N}$) apresentou baixos valores, variando entre 0 e 0,006 mg/L N, apresentando valor médio de 0,01 mg/L N (Figura 5.59), encontrando-se dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, que é 1,0 mg/L N para corpos d'água Classe 2. A Figura 5.60 mostra a variação temporal do nitrato para o período estudado.

Figura 5.59 - Estatística descritiva para o nitrato medido em amostras de água do reservatório de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor

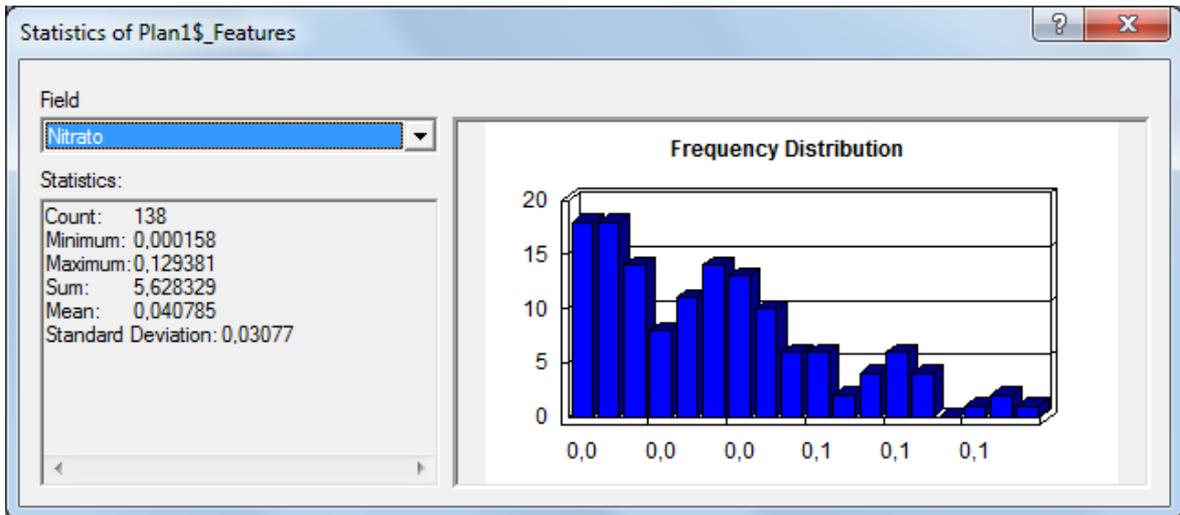
Figura 5.60 – Variação temporal do nitrato



Fonte: Elaborado pelo autor

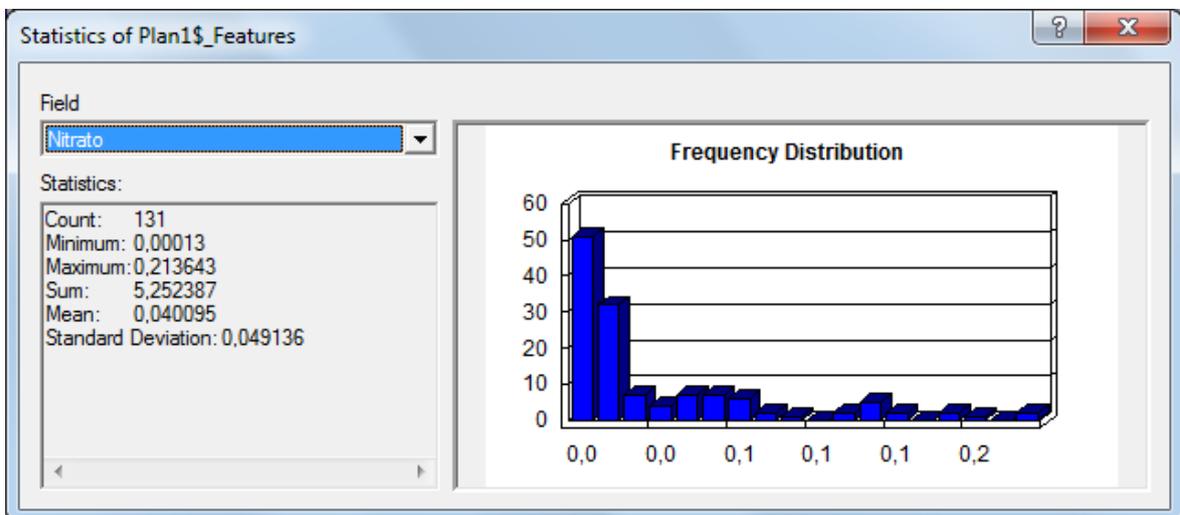
A estatística descritiva realizada para os períodos seco e chuvoso mostram que não houve variação entre os valores médios medidos para o parâmetro em estudo, o qual foi de 0,04 mg/L, conforme pode ser visto nas Figuras 5.61 e 5.62.

Figura 5.61 – Estatística descritiva para o nitrato para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

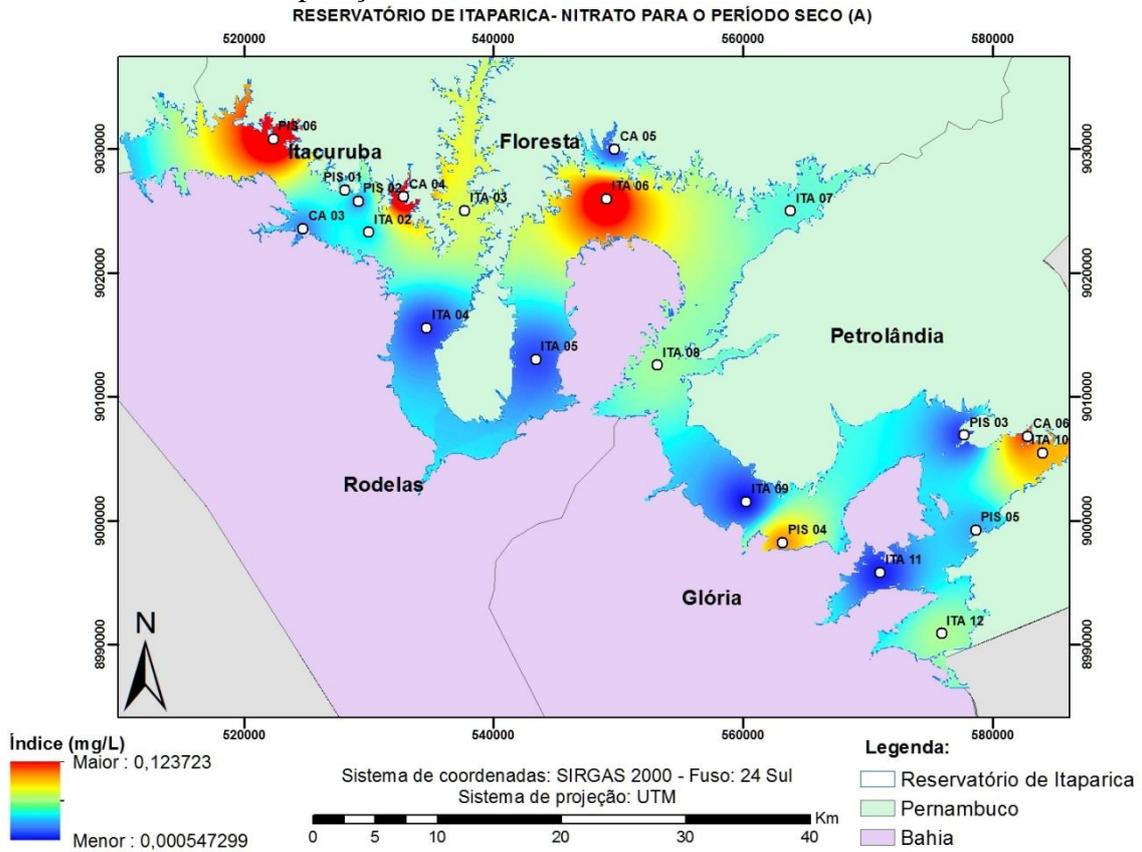
Figura 5.62 – Estatística descritiva para o nitrato para o período chuvoso



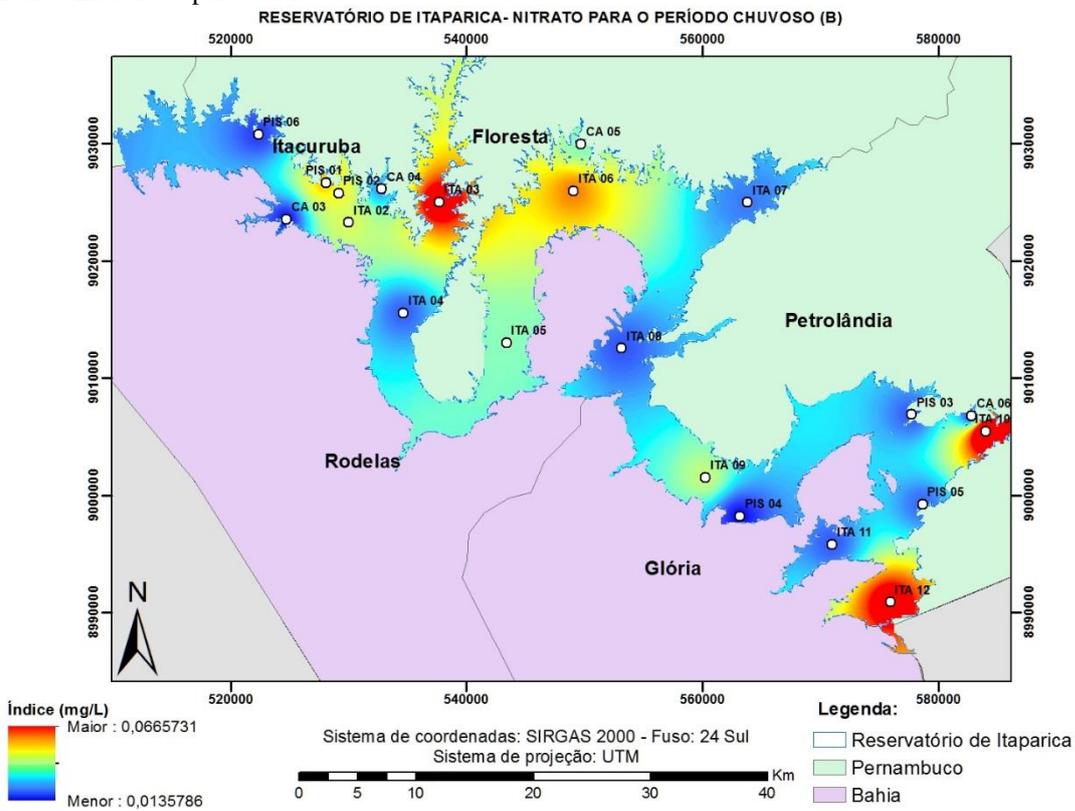
Fonte: Elaborado pelo autor

Para uma melhor visualização espacial da variação do nitrato, a Figura 5.64 (a) e (b) mostra a superfície de interpolação para o parâmetro em estudo, através do método de interpolação IDW.

Figura 5.63 – Distribuição espacial do Nitrato para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação



Fonte: Elaborado pelo autor

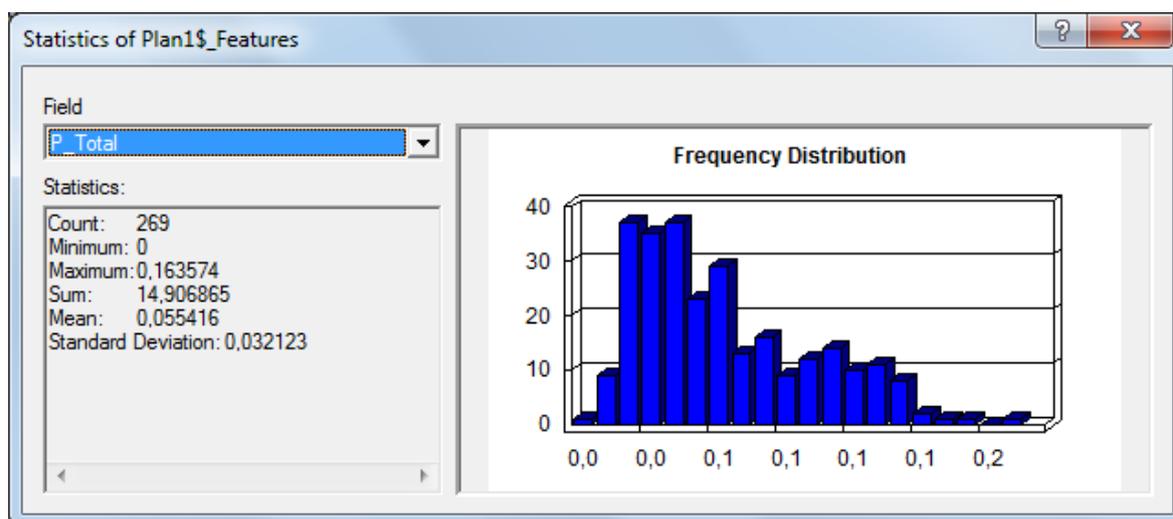


Fonte: Elaborado pelo autor

ix) Análise do fósforo total

Para avaliação do Fósforo Total (P_Total) no reservatório de Itaparica durante o período de monitoramento foi realizada com auxílio do SIG-Itaparica a estatística descritiva (Figura 5.65), a qual mostra que o P_Total variou entre 0 e 0,16 mg/L, apresentando um valor médio de 0,05 mg/L e desvio padrão de 0,03.

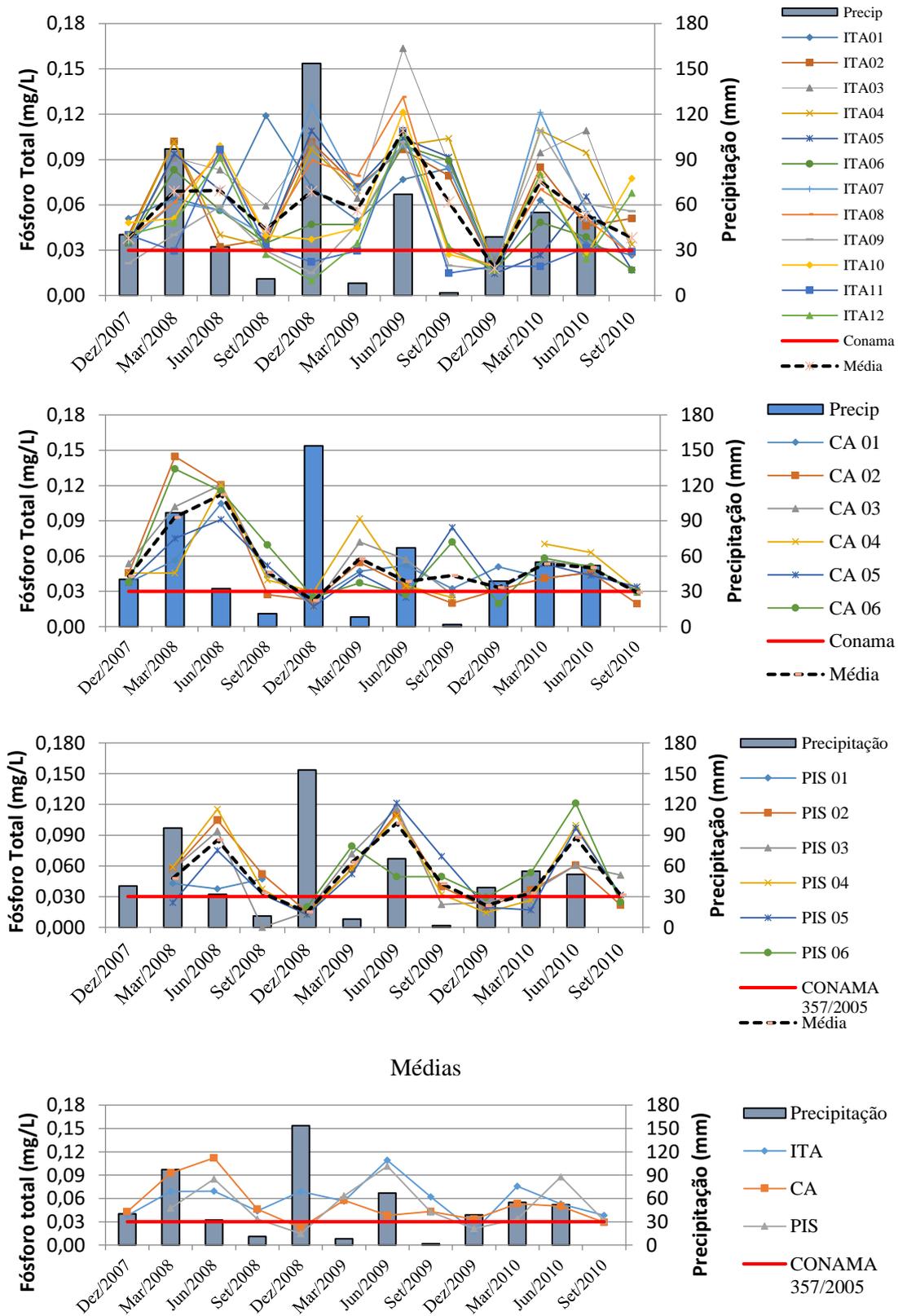
Figura 5.64 – Estatística descritiva para Fósforo Total



Fonte: Elaborado pelo autor

O Fósforo aparece em águas superficiais, principalmente, devido aos efluentes de esgotos sanitários e aos detergentes domésticos. A agricultura é outra fonte importante de aporte de fósforo aos corpos d'água, causada principalmente pelo deflúvio superficial e lixiviação. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o limite máximo de 0,030 mg/L de fósforo em corpos d'água Classe 2. Ao observar a Figura 5.65, percebe que este parâmetro está acima do permitido em praticamente todas as amostras analisadas. O Ponto ITA 03 apresentou o maior valor para o parâmetro em análise no mês de junho de 2009, possivelmente devido ao carreamento de materiais vindo da rede de drenagem do braço do Pajeú, bem como a profundidade nesse ponto não ser tão elevada, favorecendo a concentração de nutrientes. Melo (2007), em estudo sobre a qualidade da água no reservatório de Itaparica, também verificou elevadas concentrações de PT, chegando a 1,4 mg/L no período chuvoso. Estes valores podem estar influenciados pela introdução de material em suspensão e de material orgânico no rio.

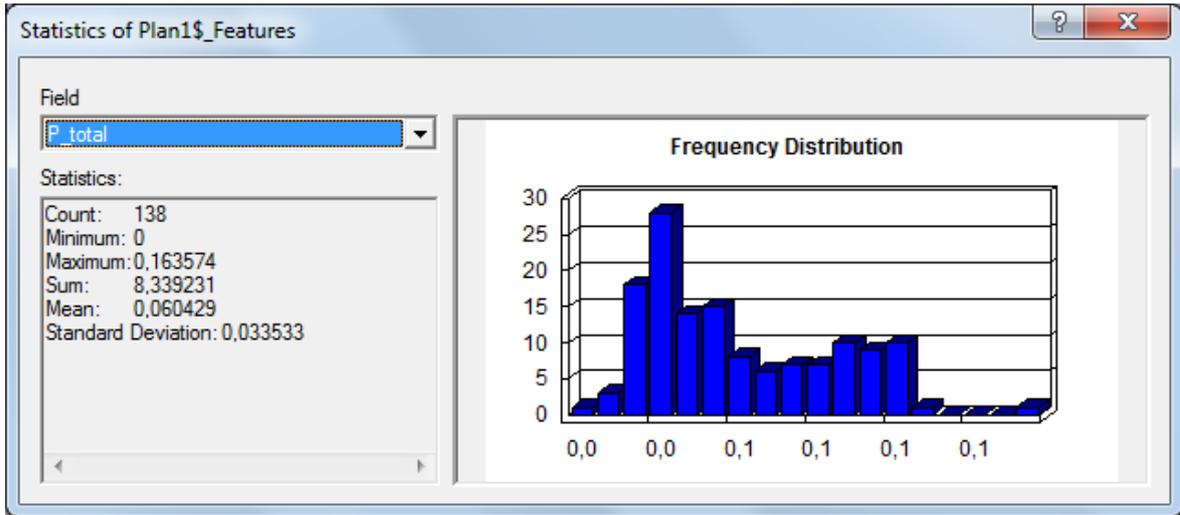
Figura 5.65 – Variação temporal para o fósforo total



Fonte: Elaborado pelo autor

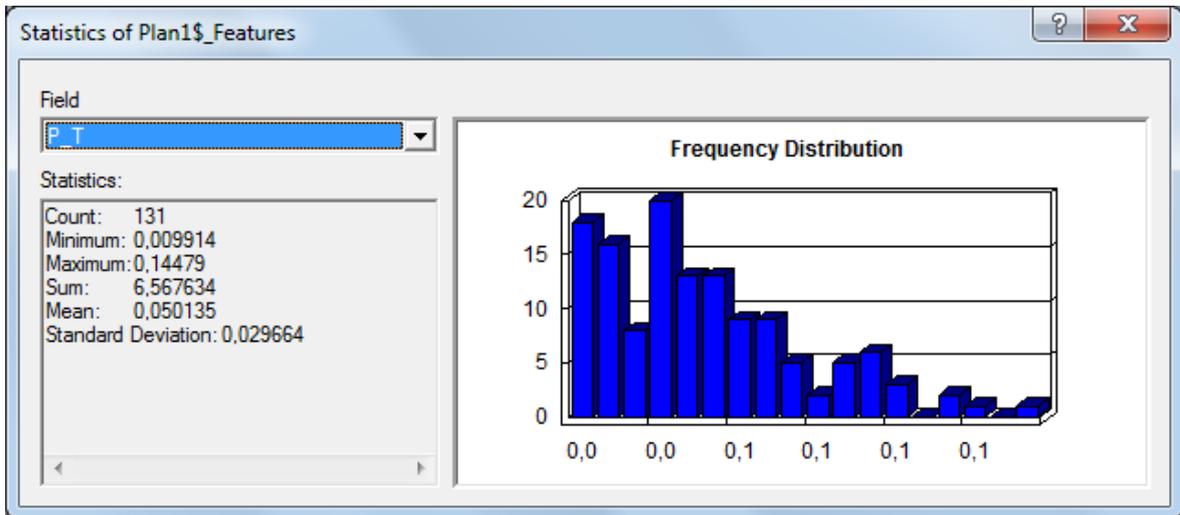
Ao verificar a estatística descritiva do Fósforo Total para os períodos seco (Figura 5.66) e chuvoso (Figura 5.67), verificou-se que os valores do período chuvoso (valor médio de 0,05 mg/L) se apresentaram um pouco inferiores ao período seco (valor médio de 0,06 mg/L), possivelmente devido à diluição causada pelo aumento no volume de água.

Figura 5.66 – Estatística descritiva para o Fósforo Total para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

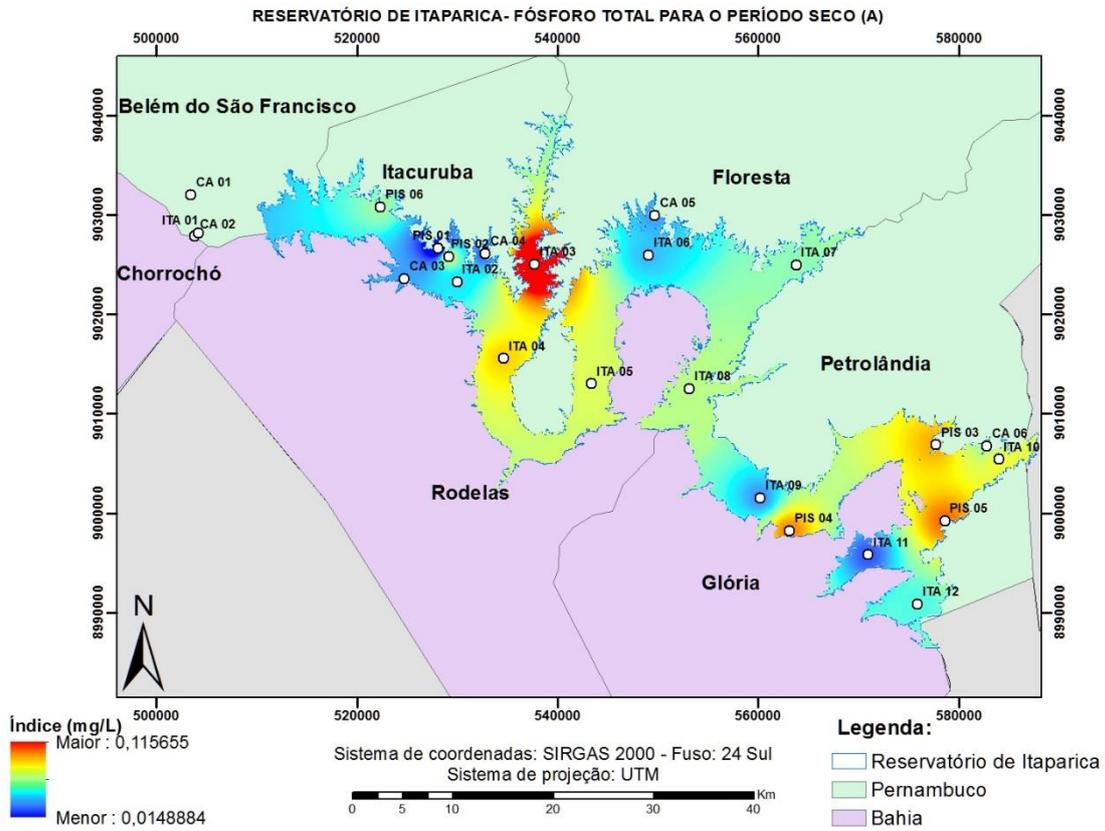
Figura 5.67 – Estatística descritiva para o Fósforo Total para o período chuvoso



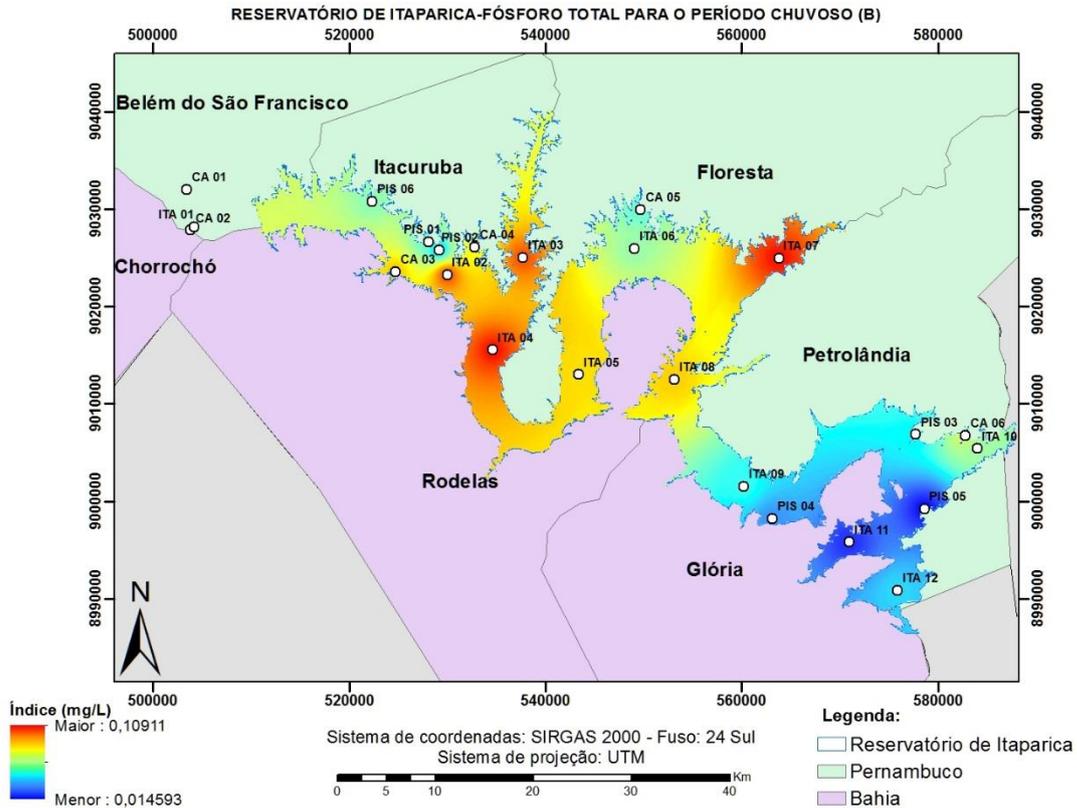
Fonte: Elaborado pelo autor

Para uma melhor visualização espacial da variação do Fósforo Total, a Figura 5.68 (a) e (b) mostra a superfície de interpolação para o parâmetro em estudo, através do método de interpolação IDW.

Figura 5.68 – Distribuição espacial do Fósforo Total para os períodos seco (a) e chuvoso (b) utilizando o método IDW de interpolação



Fonte: Elaborado pelo autor

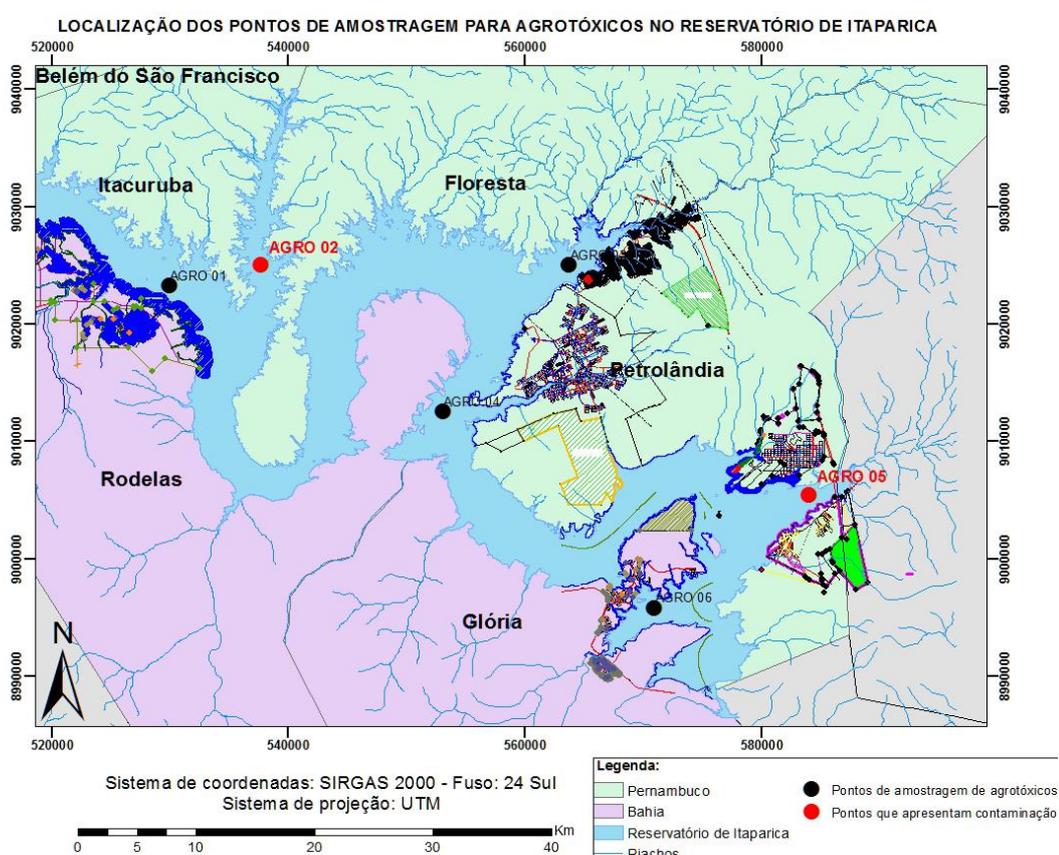


Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2.2 Análise espaço temporal para resíduos de agrotóxicos e óleos e graxas

Durante o período de análise (2007 – 2010), em apenas 2 amostras, das 60 analisadas, foram detectadas contaminação por resíduos de agrotóxicos. No ponto AGRO 02 foi identificado Ametrina (0,04 mg/Kg) no mês de março de 2010, já no ponto AGRO 05 foram identificados no mês de dezembro de 2008: Ametrina (0,06µg/L), Ciromazina (0,02µg/L) e Diazinona (0,05µg/L). A Figura 5.69 mostra a localização dos pontos de contaminação.

Figura 5.69–Localização dos pontos de contaminação por agrotóxicos



Fonte: Elaborado pelo autor

A contaminação verificada no Ponto AGRO 02 provavelmente foi devido ao carreamento de efluentes de irrigação agrícola advindo pela rede de drenagem do braço do Pajeú, já os resíduos de agrotóxicos verificados no AGRO 05 possivelmente foi devido à utilização de defensivos agrícolas no Projeto de Irrigação Apolônio Sales, localizado nas proximidades do ponto de coleta. Observa-se que os resíduos de agrotóxicos foram observados durante o período chuvoso, evidenciando a possibilidade de solubilização desses resíduos pela água das chuvas.

Os projetos de irrigação localizados no entorno do reservatório e que foram construídos para relocar a população rural quando da construção da UHE Luiz Gonzaga (Itaparica) recebem, através da CHESF e CODEVASF, assistência técnica rural qualificada, de forma a orientar os produtores quanto a produção, comercialização e manejo dos perímetros irrigados. Apesar do trabalho permanente de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) sendo prestado aos agricultores, onde além de palestras informativas, técnicos e engenheiros agrícolas fazem um trabalho individual informativo e prático sobre os usos de defensivos agrícolas, os agricultores ainda utilizam de forma errada esses agrotóxicos.

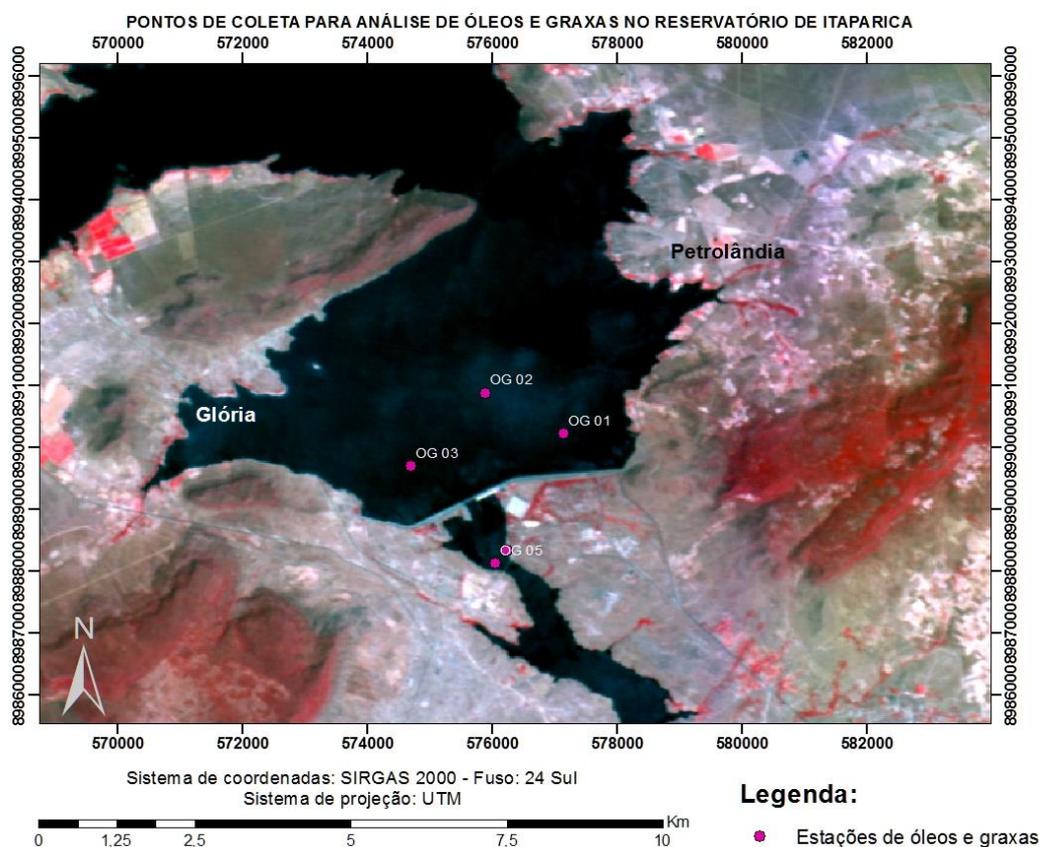
A água do sistema de drenagem superficial que escoar naturalmente para o reservatório tem sua qualidade degradada, com a adição de sais, pesticidas, metais pesados e sedimentos. Observa-se que a irrigação tem um importante papel na qualidade da água, pressionando a cobertura vegetal e acarretando o assoreamento de cursos d'água e dos reservatórios.

A Ametrina e a ciromazina, grupo das triazinas, são prejudiciais para a flora e tóxico para organismos aquáticos, podendo causar efeitos adversos ao ambiente aquático. De acordo com informações do fabricante (INDUKERN, 2007), a dose letal (LD50 oral) de ciromazina em experimentos utilizando ratos é de 500 mg/Kg, muito superior ao encontrado no reservatório, que foi de 0,04 mg/Kg.

Também verificou presença de resíduos de agrotóxicos (diazinona - 0,223 µg/L) para as águas da bacia hidrográfica do rio São Domingos – RJ, relacionando com a atividade agrícola e o período chuvoso. Já Maraschin (2003) ao avaliar contaminação por pesticidas na água dos principais rios formadores do Pantanal Mato-Grossense obteve que das 45 amostras analisadas, 14 apresentaram contaminação por pesticidas, entretanto nenhum dos pesticidas encontrados apresentou concentração acima do limite permissível, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

Com relação a óleos e graxas, foram analisados 5 pontos, sendo 3 a montante da UHE Luiz Gonzaga (Itaparica) e 2 a jusante da usina, conforme mostra a Figura 5.70.

Figura 5.70 – Distribuição espacial dos pontos de amostragem de água para análise de óleos e graxas



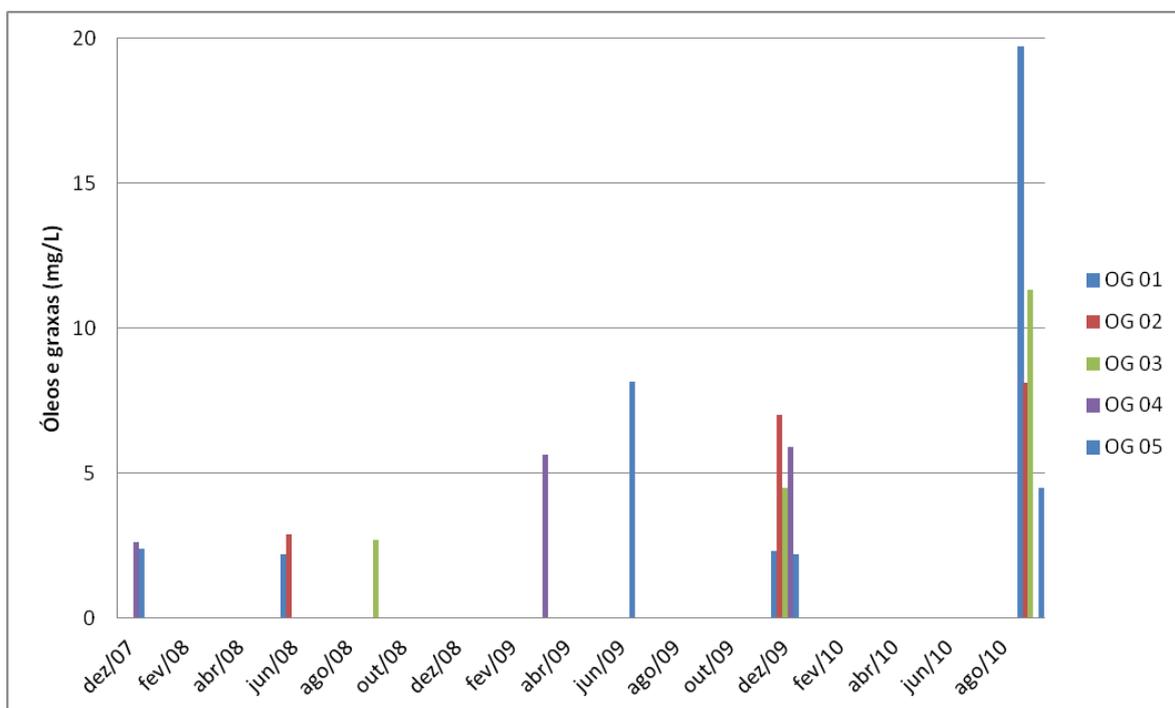
Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com as análises realizadas para avaliação da contaminação por óleos e graxas percebe-se que durante o período de monitoramento, que compreendeu a análise de 60 amostras (12 coletas com 5 amostras cada), a maioria dos resultados foi menor que 2,1 mg/L, que é o valor de detecção do método empregado.

Observa-se na Figura 5.71 que no mês de agosto de 2010 foram obtidos os maiores valores para o parâmetro analisado. Observa-se também que os maiores valores foram medidos nas amostras coletadas a montante da UHE (19,7 mg/L - OG 1; 8,1 mg/L - OG 2 e 11,3 mg/L - OG 3). A jusante da UHE também foram observados índices de contaminações, entretanto em valores menores. Tais resultados não definem contaminação a partir da UHE Luiz Gonzaga (Itaparica), uma vez que os valores não são tão elevados, bem como não houve uma caracterização qualitativa dos óleos e graxas detectados. Ao analisar os múltiplos usos do reservatório, entre as principais possibilidades de contaminação, estão: o uso de motor à óleo diesel para captação

de água, navegação em barcos com motor e ainda o uso de rações nas pisciculturas (acréscimo de antibiótico à ração utilizando óleo vegetal para a homogeneização).

Figura 5.71 – Pontos de amostragem para coleta de água para análise de óleos e graxas



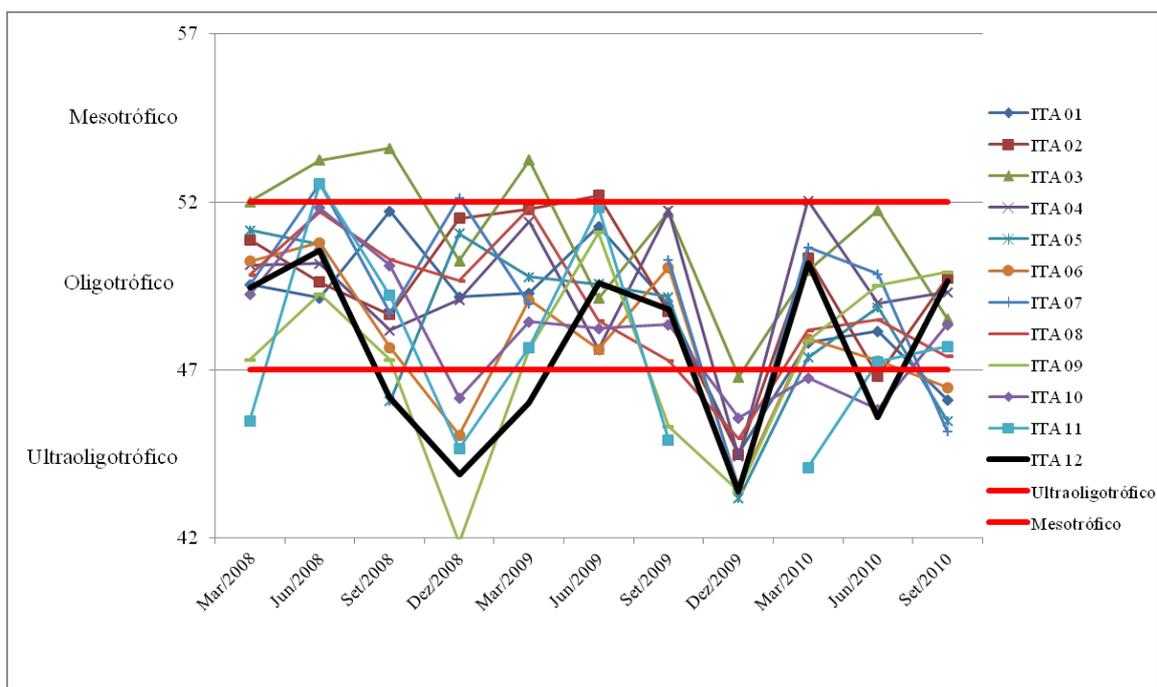
Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2.3 Indicadores de qualidade de água

i) Índice do estado trófico

Para o cálculo do IET foram utilizados os valores de fósforo e clorofila-a. O índice do estado trófico calculado para o reservatório de Itaparica apresentou valores variando entre 42 e 54, intervalo entre ultraoligotrófico e mesotrófico, conforme mostra a Figura 5.72.

Figura 5.72 – Valores do IET para o reservatório de Itaparica

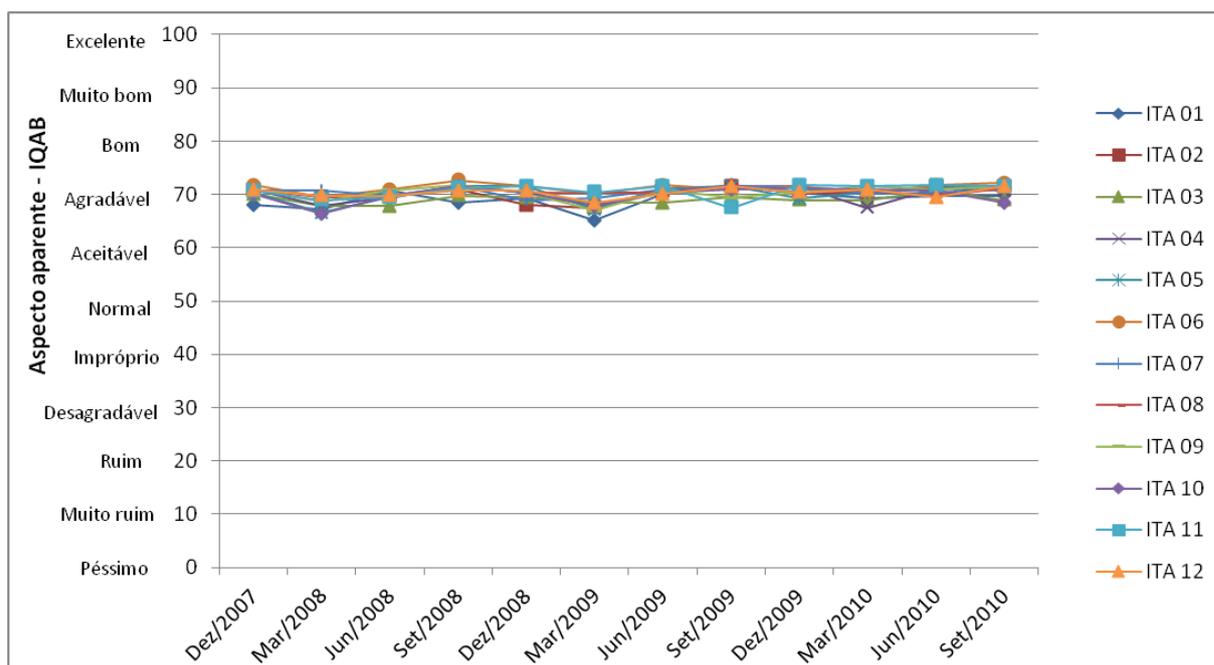


ii) Índice da qualidade de água de Bascarán (IQA_B)

O Índice da Qualidade de Água de Bascarán (IQA_B) calculado para o reservatório de Itaparica incorporou os seguintes parâmetros em sua composição: pH, OD, Condutividade elétrica, Turbidez, Alcalinidade, Dureza, Fosfato Total, Nitrogênio Amoniacoal, Nitrato, Nitrito, Cálcio, Magnésio e Cloreto. O referido índice estabelece um valor global de qualidade de água para cada ponto analisado, em função de valores genéricos, conforme mostrado na Tabela 3.3, o que aumenta a possibilidade de erro do método.

O IQA_B foi aplicado para os pontos ITA 01 a ITA 12 e para os pontos CA 01 a CA 06 visando verificar a qualidade da água bruta. Para os pontos ITA 01 a ITA 12 foi obtido o valor médio de 70, correspondendo a uma água de qualidade agradável (Figura 5.73). Enquanto que para o outro conjunto de pontos foi obtido um valor médio de 69 (Figura 5.74), também correspondendo a uma água de qualidade agradável. Visto que o parâmetro varia de 0 a 100, o resultado obtido reforça a necessidade de um tratamento prévio para a água destinada ao consumo humano.

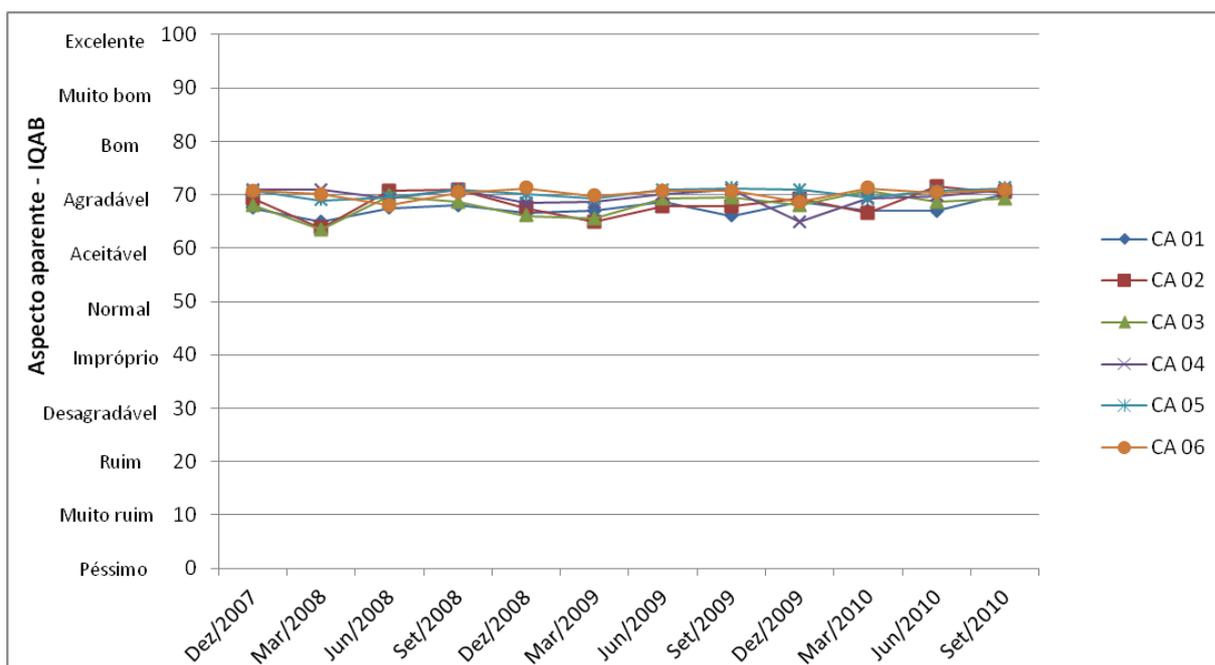
Figura 5.73 – Representação do IQA_B para o reservatório de Itaparica (ITA 1 a ITA 12)



Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação à possibilidade de erro do método, verificou-se que ao aplicar a Tabela 3.3 para estabelecer os valores de Ci para cada parâmetro analisado, os intervalos são muito genéricos. Analisando os parâmetros individualmente, observa-se que, enquanto a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que para uma água de Classe 2 a turbidez atinja um valor de até 100 UNT, para o Índice de Bascarán o valor de 100 UNT corresponde a uma água de aspecto desagradável.

Figura 5.74 – Índice de qualidade de água de Bascarán para os pontos CA 01 a CA 06



Fonte: Elaborado pelo autor

Diante das análises realizadas para avaliar a qualidade da água do reservatório de Itaparica, observou-se que, em geral, seus parâmetros encontram-se dentro do esperado para uma água de Classe 2, conforme estabelece a Resolução CONAMA 357/2005, exceto os níveis de fósforo, os quais encontram-se superiores a 0,03 mg/L em várias amostradas analisadas, apresentando média de 0,06 mg/L para o período seco e média de 0,05 mg/L para o período chuvoso. Provavelmente, devido a utilização de agroquímicos em vários projetos de irrigação, prática da aquicultura, bem como lançamento de esgotos sem tratamento prévio.

Entretanto, mesmo com níveis elevados de fósforo, a água do reservatório ainda se encontra dentro do padrão agradável, conforme foi observado através dos resultados obtidos para os índices de qualidade de água de Bascarán (IQA_B) e Índice do Estado Trófico. Para o IQA_B, o reservatório apresentou uma média de 70 (numa escala que varia de 0 a 100), enquanto que para o IET, variou entre ultraoligotrófico e mesotrófico.

Ao observar a distribuição espacial dos parâmetros a partir dos mapas de interpolação, verifica-se que o ponto de coleta ITA 03 e o trecho entre os municípios de Glória e Petrolândia, apresentaram os maiores valores para muitos dos parâmetros analisados, bem como apresentaram contaminação por resíduos de agrotóxicos. O primeiro ponto de amostragem

localiza-se em um braço do rio Pajeú, o qual recebe contribuições do município de Floresta, além disso possui pequena profundidade, ajudando dessa forma com o processo de contaminação do reservatório. Já no trecho compreendido entre os municípios de Glória e Petrolândia apresentam uma grande atividade de irrigação.

A qualidade da água pode ser afetada pela atividade da piscicultura, empregada em algumas áreas do reservatório e com perspectivas de expansão, podendo causar um aumento da quantidade de nutrientes na água devido à ração utilizada na alimentação dos peixes. O desmatamento para construções inadequadas e prática da agricultura, bem como a erosão no entorno de Itaparica também são fatores que influenciam na qualidade da água.

5.4 DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS PARA AUXILIAR O GESTOR NA TOMADA DE DECISÃO

Para auxiliar a tomada de decisão, é essencial que os gestores conheçam as características da região, para em seguida, o gestor analisar a situação atual e prever situações futuras, através da criação de cenários. Para esta pesquisa, foi escolhido o tema aquicultura para mostrar as utilidades de um sistema de informação geográfica como apoio à tomada de decisão do gestor ambiental. Foram criados três cenários, conforme já descrito no Capítulo 3 – Metodologia.

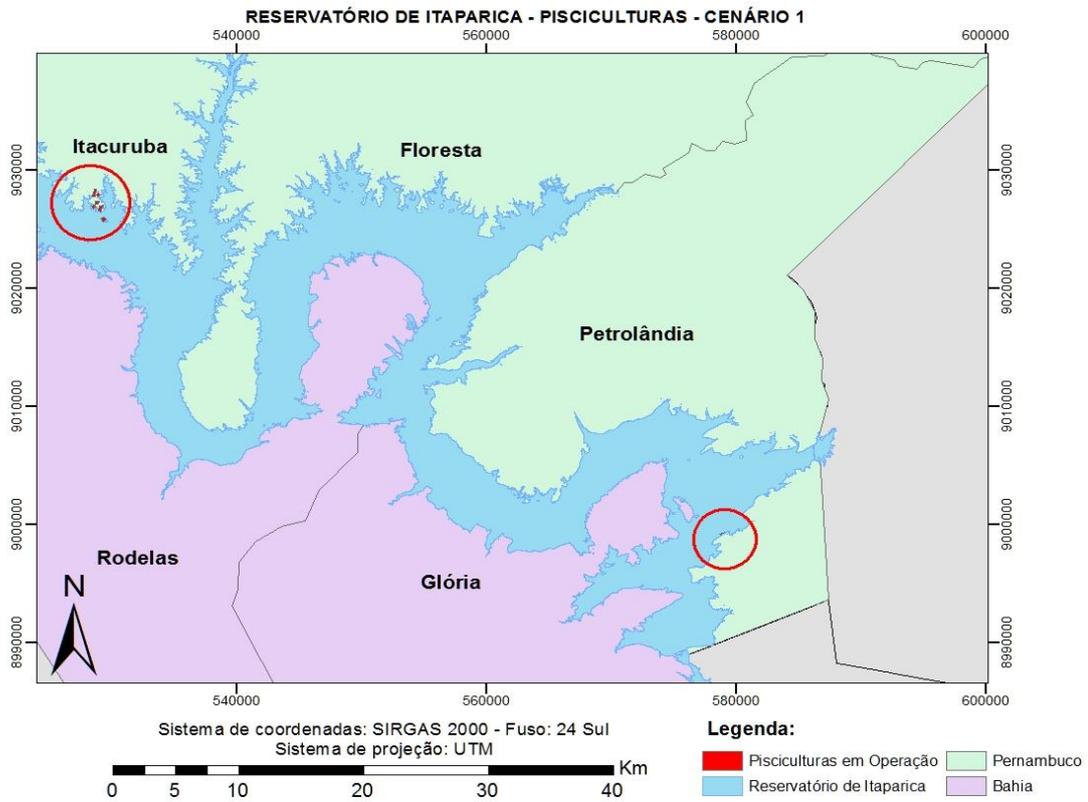
A atividade de aquicultura em tanques-redes localizados nas áreas rasas próximas das margens vem sendo praticada como forma de gerar renda para a população local. Essa técnica é bem conhecida em muitos países, como, por exemplo, na Polônia e no Chile, mas atualmente essa tecnologia vem sendo avaliada, por causa do aporte de nutrientes que contribui para o processo de eutrofização do reservatório.

SILVA (2007) constatou que o efluente de piscicultura apresenta grande volume com baixos teores de nutrientes (fósforo e nitrogênio), quando comparado com efluentes de origem doméstica, entretanto o seu lançamento direto e contínuo nos ambientes aquáticos pode resultar em uma bioacumulação crônica e posteriormente a eutrofização, com consequências ecológicas negativas. Dentre os problemas sérios de qualidade de água manifestados, periodicamente, nos reservatórios sobressaem: alto nível trófico, crescimento excessivo de algas, ocorrência de cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas detectadas próximas aos pontos de

captação de água para abastecimento humano e contaminação por *Klebsiella sp* e *Escherichia coli*.

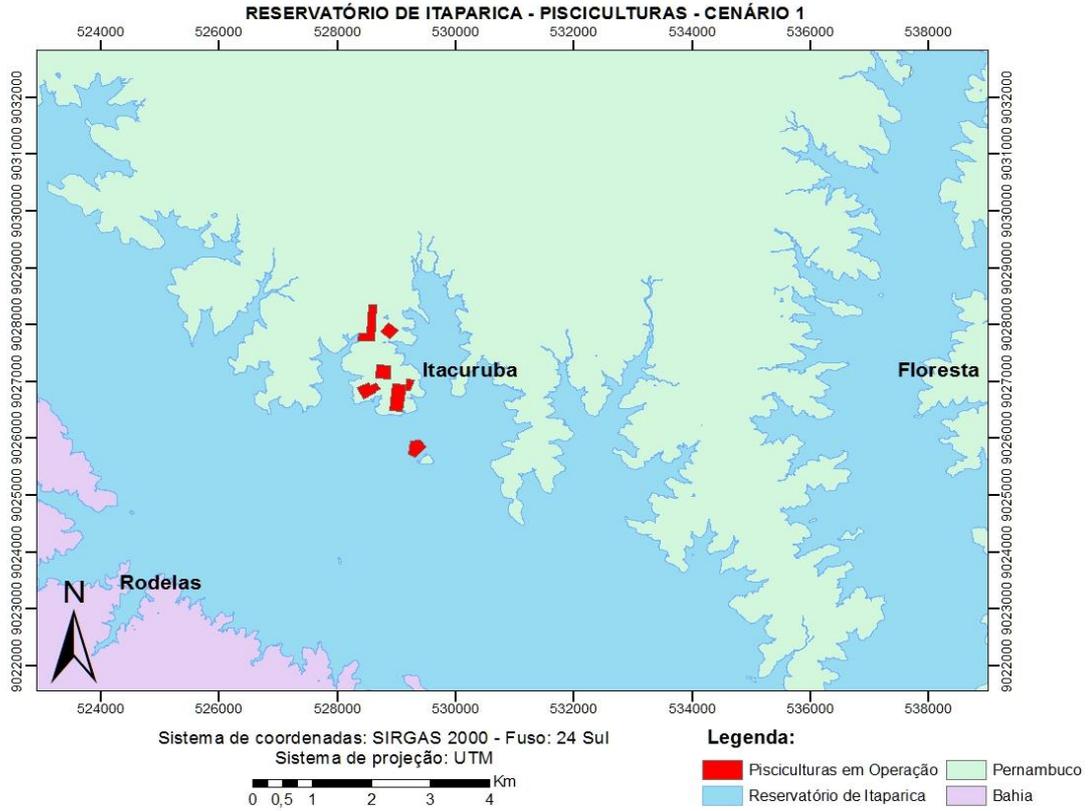
Para o cenário 1 foi mapeada a situação atual através de visitas em campo e imagens aéreas, obtendo-se o mapa da situação atual (Figuras 5.75). As Figuras 5.76 e 5.77 mostram a situação atual em detalhes.

Figura 5.75 – Localização das pisciculturas em operação no reservatório de Itaparica



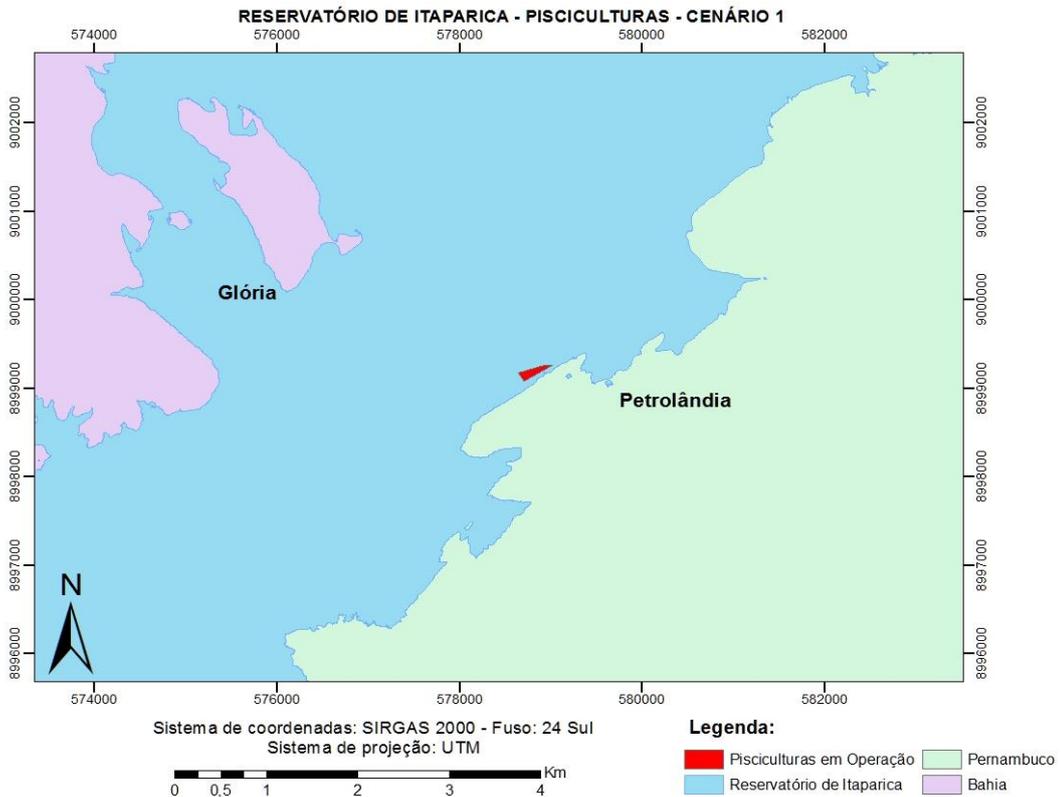
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.76 – Localização das pisciculturas em operação no município de Itacuruba



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.77 – Localização das pisciculturas em operação no município de Petrolândia



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Ono & Kubitzka (1998), em uma área de 1 ha (10.000 m²) podem ser instalados 150 tanques-rede de 10 m², que produzirão cerca de 500 kg de peixes, cada, por ciclo de produção. Como facilmente se consegue dois ciclos por ano, a produção será de 150 toneladas anuais. Considerando uma conversão alimentar de 1,45 (1,45 kg de ração para produzir 1 kg de peixe), serão utilizadas 218 toneladas de ração por ano. Admitindo que a ração possua 13% de umidade, serão aplicadas cerca de 190 toneladas (218 x 0,87) de matéria seca. Do volume produzido, 42 toneladas da matéria seca aplicada serão retiradas do sistema na forma de peixe. Ou seja, na composição corporal dos peixes, 72% corresponde a água e o restante admite-se provir da ração (1,90 x 0,28). Assim, este empreendimento aportará cerca de 148 toneladas de matéria orgânica no sistema. A Tabela 5.4 mostra a área atual implantada por município.

Tabela 5.4 – Área com piscicultura implantada por município

Município	Área (m ²)
Itacuruba	379.392,9
Petrolândia	40.838,94
Total	420.231,8

Fonte: Elaborado pela autora

Dessa forma, para o Cenário 1 tem-se um aporte de 6219,4 toneladas de matéria orgânica. As fotografias 5.13 e 5.14 mostra tanques-rede nas proximidades das margens do reservatório de Itaparica.

Fotografia 5.13 - Piscicultura próxima às margens do reservatório de Itaparica



Fonte: CHESF/FADE (2009)

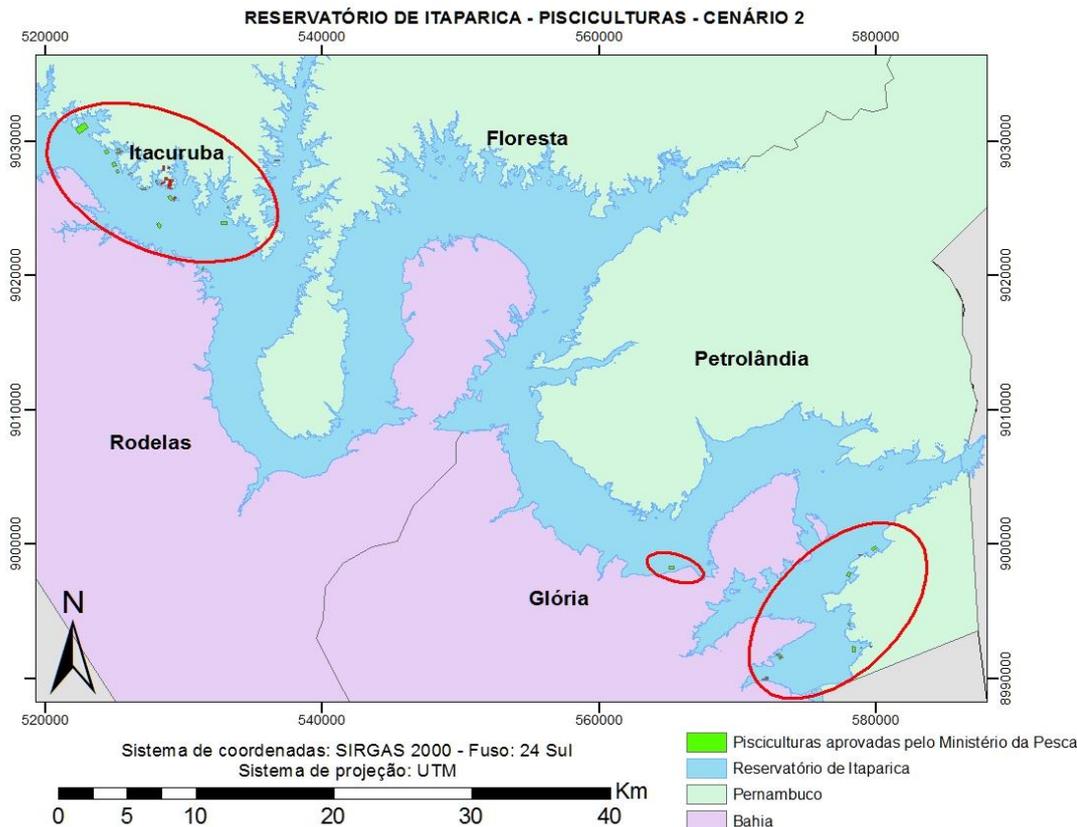
Fotografia 5.14 – Piscicultura em Petrolândia



Fonte: CHESF/FADE (2009)

O cenário 2 é composto pelo cenário 1 acrescido dos processos de piscicultura já aprovados pelo Ministério da Pesca e ainda não implantados, conforme mostra a Figura 5.78.

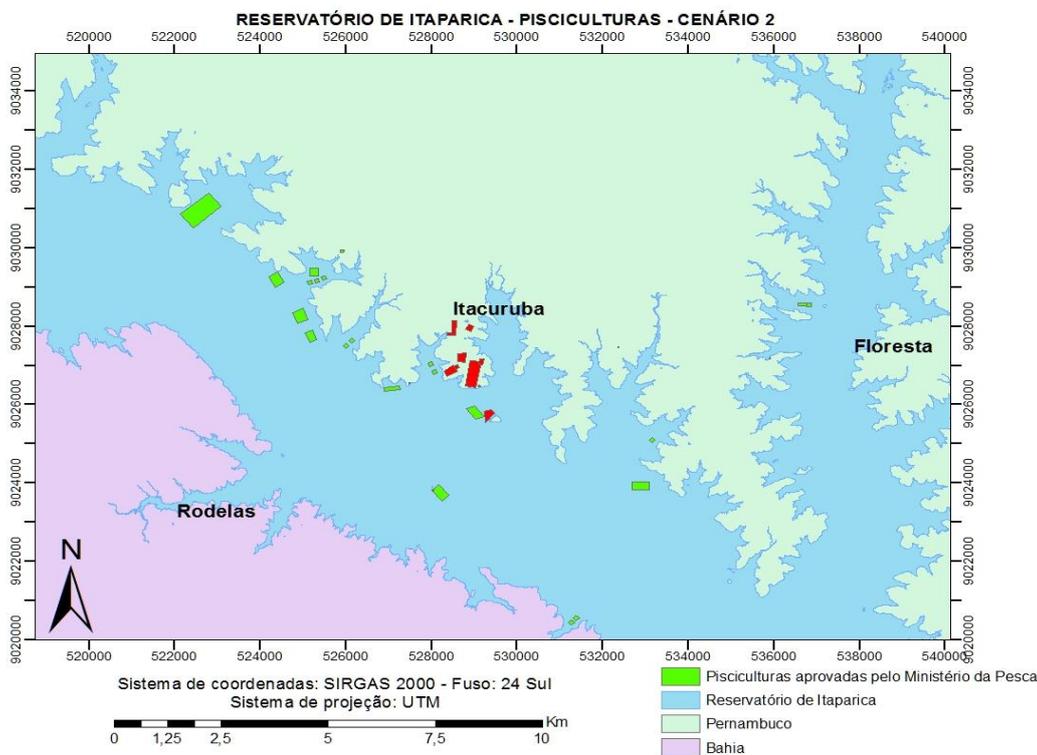
Figura 5.78 - Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação.



Fonte: Elaborado pelo autor

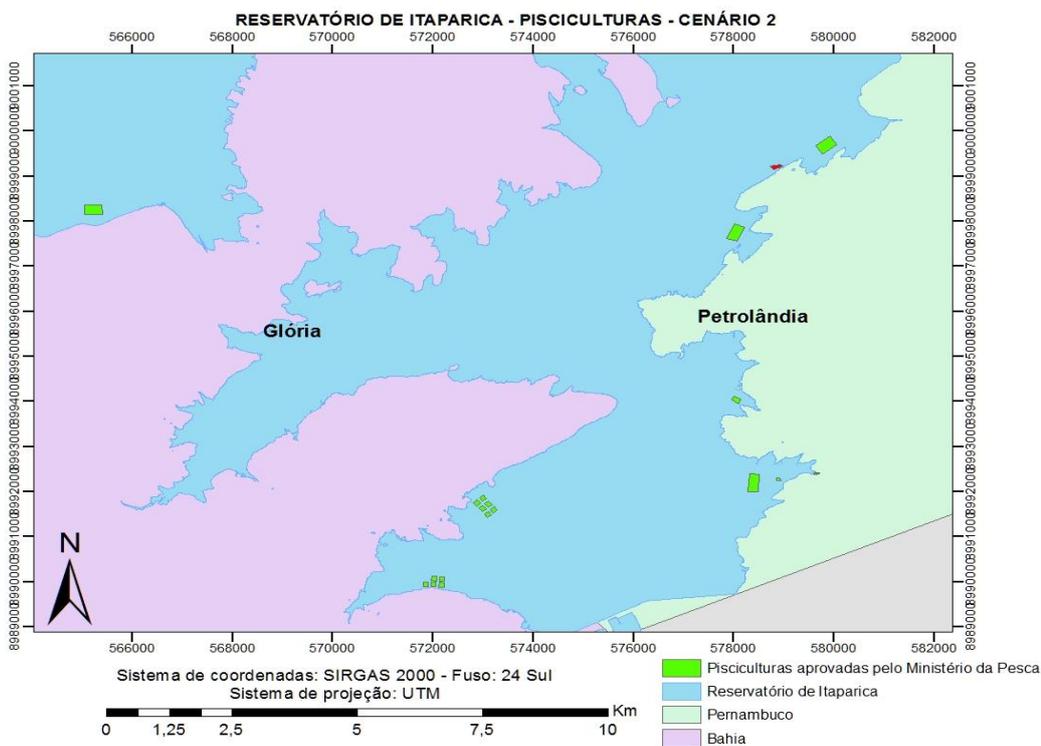
As Figuras 5.79 e 5.80 apresentam detalhes das pisciculturas já aprovadas pelo Ministério da Pesca e ainda não implantadas.

Figura 5.79 - Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Itacuruba.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.80 - Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Petrolândia



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 5.5 mostra a área atual implantada por município.

Tabela 5.5 – Áreas aprovadas para implantação de pisciculturas por município

Município	Área (m ²)
Itacuruba	842.517,40
Petrolândia	293.512,90
Rodelas	9.999,98
Glória	140.000,40
Total	1.286.031,00

Fonte: Elaborado pela autora

Dessa forma, se todos os projetos já aprovados pelo Ministério da Pesca fossem implantados teria um aporte de 19.033,26 toneladas de matéria orgânica, somando com o aporte dos projetos já instalados (Cenário 1), teria um aporte de 25.252,69 toneladas de matéria orgânica.

O cenário3 é composto pelo cenário 2, acrescido dos processos de piscicultura ainda em análise pelo Ministério da Pesca e outros órgãos licenciadores, conforme mostra a Figura 5.81.

Figura 5.81 - Localização das pisciculturas em análise pelo Ministério da Pesca e outros órgãos



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 5.6 mostra as áreas em análise para implantação de pisciculturas no Ministério da Pesca e outros órgãos.

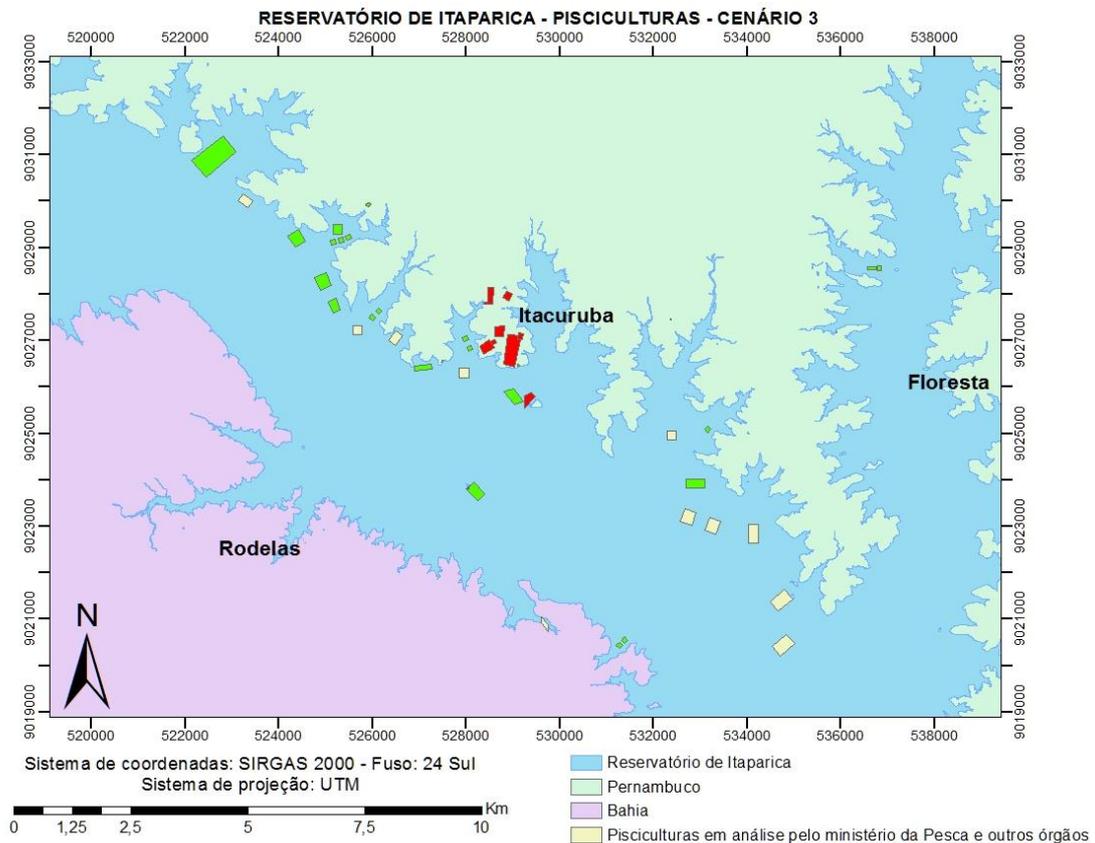
Tabela 5.6 – Áreas em análise para aprovação de projetos de pisciculturas

Município	Área (m ²)
Itacuruba	717.154,40
Petrolândia	333.643,80
Rodelas	9.999,98
Glória	205.017,30
Total	1.265.815

Fonte: Elaborado pela autora

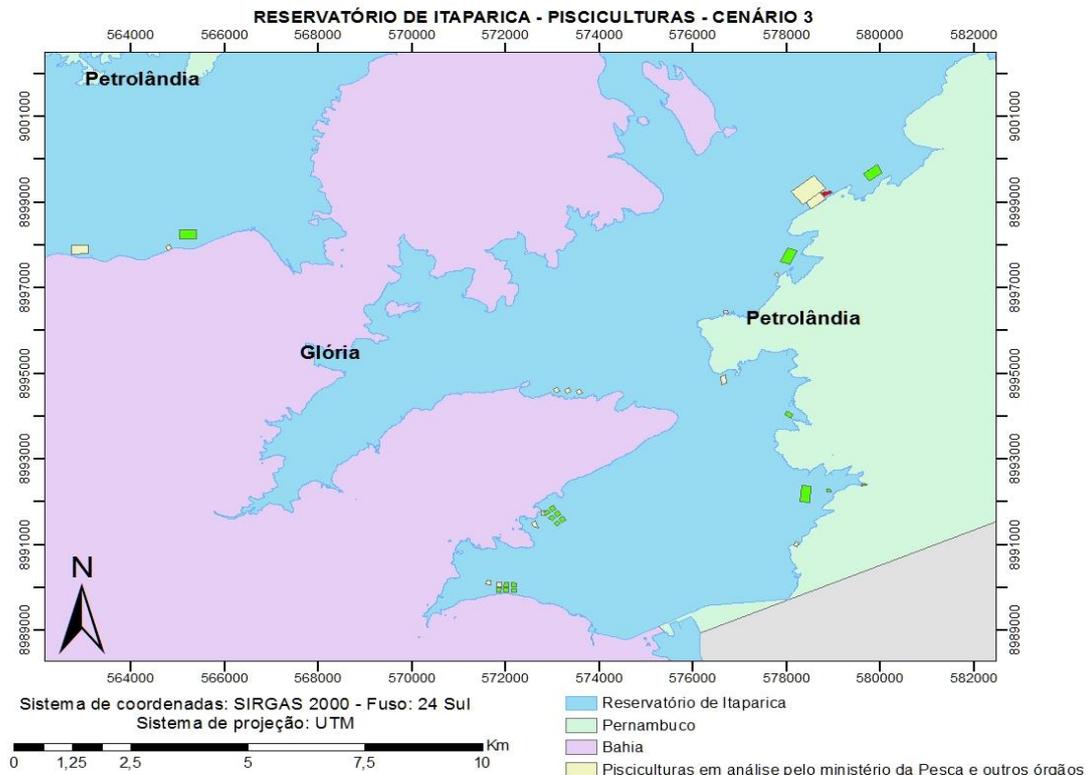
As Figuras 5.82 e 5.83 apresentam detalhes das pisciculturas já aprovadas pelo Ministério da Pesca e ainda não implantadas.

Figura 5.82 - Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Itacuruba e os projetos em análise



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5.83 - Localização das pisciculturas aprovadas pelo Ministério da Pesca e que ainda não estão em operação no município de Petrolândia e os projetos em análise



Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, se todos os projetos em análise pelo Ministério da Pesca fossem implantados teria um aporte de 18.734,06 toneladas de matéria orgânica, somando com o aporte dos projetos já instalados e aprovados e ainda não implantados (Cenário 2), teria um aporte de 43.986,75 toneladas de matéria orgânica.

Observa-se que os projetos de pisciculturas se concentram nos municípios de Itacuruba e Petrolândia, o que pode causar danos a qualidade da água. Para auxiliar o gestor na tomada de decisão podem ser criados outros cenários como expansão da área agrícola, expansão da área urbana.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações final, o qual está dividido em conclusões e recomendações.

6.1 CONCLUSÕES

A gestão ambiental integrada de reservatórios é uma complexa tarefa que exige a consonância das diversas visões dos diferentes atores envolvidos no processo de tomada de decisão. A partir dos resultados obtidos, confirmou-se que as geotecnologias surgem como importantes ferramentas para auxiliar esses gestores, uma vez que a realidade da área do reservatório e seu entorno pode ser retratada, de forma a detectar eventuais problemas e prever situações futuras. O SIG-Itaparica permitiu a realização de análises espaciais integradas proporcionando maior agilidade e qualidade ao trabalho do gestor ambiental.

Através das análises espaciais realizadas foi possível observar que o reservatório de Itaparica apresenta conflitos entre seus múltiplos usos de água. Alguns desses usos, como por exemplo, a aquicultura e a agricultura irrigada, podem causar alterações na qualidade da água e do solo, sendo necessário um monitoramento periódico e uma adequada gestão deste corpo d'água visando minimizar problemas futuros.

Para os parâmetros de qualidade de água analisados, verificou-se que apenas o fósforo apresentou valores superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. Os índices de qualidade de água calculados para o reservatório em estudo indicaram uma boa qualidade, sendo que o estado trófico variou de mesotrófico a ultraoligotrófico e o índice de qualidade de água de Bascarán apresentou aspecto agradável.

Ressalta-se que as esferas federal, estadual e municipal estão envolvidas na gestão do reservatório de Itaparica, entretanto observa-se uma gestão dispersa entre esses órgãos, que ao invés de funcionar como um indutor do controle, conservação e recuperação ambiental, muitas vezes dificulta as melhores decisões por parte dos gestores. Dessa forma, um sistema de informação geográfica funcionaria como um componente integrador de informações, de

forma a auxiliar o processo de tomada de decisão das esferas governamentais envolvidas com o reservatório. Entretanto, observam-se apenas utilizações pontuais de ferramentas de geotecnologias, muitas vezes por gestores que não possuem poder de decisão final.

A área de estudo é de grande importância para a inserção regional, uma vez que será a partir do reservatório de Itaparica que as bacias hidrográficas dos Estados de Pernambuco e Paraíba serão interligadas. Dessa forma, o uso de geotecnologias pode ser útil para a preservação ambiental dessa área, propiciando maior eficiência no tratamento dos dados, bem como apontando contribuições valiosas para as políticas de desenvolvimento regional.

Essa tese contribuiu para o desenvolvimento de ferramentas de gestão ambiental apoiada em geotecnologias, sobretudo porque avança na construção do conhecimento de que os reservatórios de múltiplos usos construídos e operados pelo setor elétrico, localizados no semiárido brasileiro, necessitam de uma gestão ambiental integrada, conseqüentemente necessitam de ferramentas de apoio ao processo decisório, que possa integrar e apresentar as informações espaciais e não espaciais, avaliando a qualidade de suas águas, o uso do solo do bacia hidrográfica, contemplando a complexidade dos múltiplos usos desse reservatório.

6.2 RECOMENDAÇÕES

A seguir, as principais recomendações para a gestão ambiental do reservatório de Itaparica:

- Fortalecimento e integração dos órgãos envolvidos na gestão do reservatório;
- Ampliação dos sistemas de saneamento ambiental nos municípios localizados no entorno do reservatório;
- Controle ambiental dos projetos de irrigação localizados próximos ao reservatório;
- Realização de um estudo mais aprofundado para a liberação de novas licenças para atividade da piscicultura, com um zoneamento das áreas propícias e estudo da capacidade de carga;
- Ampliação do número de estações de monitoramento da qualidade de água;
- Introdução de inovações tecnológicas (monitoramento em tempo real e indicadores biológicos de contaminação);
- Realização de estudos mais aprofundados sobre o uso e ocupação do reservatório e

- sua interferência sobre a qualidade da água;
- Disponibilização para as associações de produtores rurais do entorno do reservatório um sistema de informações geográficas que possa auxiliar na melhoria da produção e ajudar na conservação do meio ambiente;
 - Implementação através de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de pesquisas inovadoras para a gestão do reservatório, de forma a integrar o setor produtivo e a academia;
 - Desenvolvimento de atividades de educação ambiental para a comunidade do entorno do reservatório.

Com o término da pesquisa, comprovou-se que a metodologia do trabalho apresentada pode ser extrapolada para dar suporte à gestão ambiental de reservatórios construídos e operados pelo setor elétrico, bem como de outros setores, sendo necessária uma base de dados confiável e profissionais qualificados.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química. Anuário da indústria química Brasileira. São Paulo, 2008.

ANA. Agência Nacional de Águas. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Subprojeto 4.5.A– Diagnóstico Analítico da Bacia do rio São Francisco e sua Zona Costeira. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003a.

ANA. Agência Nacional de Águas. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Subprojeto 4.2.B – Avaliação dos Mecanismos Financeiros para o Gerenciamento Sustentável da Bacia do Rio São Francisco. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003b.

ANA. Agência Nacional de Águas. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Subprojeto 4.5C– Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-PBHSF (2004-2013). Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF - Nº 12. Agricultura irrigada. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004.

ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/default.aspx>. Acesso em: abril 2010.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM Atlas de energia elétrica no Brasil. 2008. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/aspectos_institucionais/aspectos_institucionais.htm. Acesso em: abril 2009.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de informações de geração. 2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>. Acesso em: março 2010.

ALMEIDA, J. R. et al. Política e planejamento ambiental. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Thex, 2009.

ALMEIDA, J. R. Gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Thex, 2009.

AQUINO, A. R; ABREU, I. A; ALMEIDA, J. R. Análise de sistema de gestão ambiental. Rio de Janeiro: Thex, 2008.

ASSAD, E.D., SANO, E.E. Sistema de informações geográficas. Aplicações na agricultura. Brasília: EMBRAPA SPI, 434p. 1998.

BAJJALI, W. Model the effect of four artificial recharge dams on the quality of ground water using geostatistical in GIS environment, Oman. *Journal of Spatial Hydrology* Fall. Vol. 5, Nº 2. 2005.

BARBIERI, J. C. *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARBOSA, N.P. *Setor elétrico e meio ambiente: a institucionalização da “questão ambiental”*. Tese de Doutorado. Planejamento Urbano e Regional. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001. 251p.

BARROS, Aldemir de Castro. *Evolução de fatores hidrobiológicos no reservatório de Itaparica – Rio São Francisco (1987, 1989 e 2002)*. Dissertação de Mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 102p.

BASIMA, L.B.; SENZANJE, A.; MARSHALL, B., SHICK, K. Impacts of land and water use on plankton diversity and water quality in small man-made reservoir in the Limpopo basin, Zimbabwe: a preliminary investigation. *Physics and chemistry of the Earth* 31, p.821-831. 2006

BATISTA, M.E.M. *Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para gestão urbana baseado em indicadores ambientais*. Dissertação de Mestrado. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba. 2005.

BERNARDES, Júlia Adão; FERREIRA, Francisco P. de Miranda. *Sociedade e natureza*. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (orgs.). *A questão ambiental: diferentes abordagens*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2003.

BINDER, Fábio Vinícius. *Sistemas de Apoio à Decisão*. São Paulo, Editora Érica, 1994.

BORGES, Karla Albuquerque Vasconcelos. *Modelagem de Dados Geográficos em Discussão*. Prodabel – Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte, 1996.

BRAGA, B; PORTO, M.; TUCCI, C.E.M. *Monitoramento de quantidade e qualidade das águas*. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. 3ª Edição Revisada e Ampliada. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748p.

BRAGA, Ricardo. *Instrumentos para a gestão ambiental e de recursos hídricos*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2009.

BRANDÃO, J. L. B. *Modelo para operação de sistemas de reservatórios com usos múltiplos*. Tese de Doutorado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. 160p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 302 de 20 de março de 2002*. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de

reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF; 13 de maio de 2002.

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, DF; 18 março 2005.

BRASIL. Folhas SC. 24/25 Aracaju/Recife; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 30).

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 3ª edição revisada. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408p.

BRASIL. Lei Federal nº 6938. Dispõe sobre a política nacional de meio ambiente, seus afins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília; 31 de agosto de 1981.

BRASIL. Lei Federal nº 8.987, de 13.02.1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no artigo 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília; 14 de fevereiro de 1995.

BRASIL. Lei Federal nº 9433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF; 09 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 10.650. Dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sisnama. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília; 16 de abril de 2003.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semiárido Brasileiro. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca: *PAN – Brasil*. Brasília: MMA e Centro de Informação, Documentação Ambiental e Editoração, 2004.

BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Oxford University press, 1992. 194p.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. Tese (Doutorado em Computação Aplicada). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 1995.

CÂMARA, G. Medeiros, J. S. de. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos, INPE, mar. 1996. 246 p

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução: Por que Geoprocessamento? São José dos Campos: INPE, 2001.

CAMARGO, M. U. C. Os Sistemas de Informações Geográficas como Instrumentos de Gestão em Saneamento. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

CAMPOS, L.M.S. SGADA – Sistema de gestão e avaliação de desempenho ambiental: Uma proposta de implementação. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: 2001.

CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES, J. R.; LOPES, H. L.; BARROS, M.R. Geoprocessing methods applied to the semi-arid Brazil. In: Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany. Berlin: Technische Universität Berlin, 2007.

CAPRILES, René. Meio Século de Lutas: Uma Visão Histórica da Água. 2007. Disponível em:

<<http://www.ambientebrasil.com.br/.../agua/doce/index.html&conteudo=./agua/doce/artigos/historico.html>>. Acesso em: 10.08.10.

CARVALHO, C. G. O que é direito ambiental: dos descaminhos da casa à harmonia da nave. Florianópolis: Habitus, 2003.

CARVALHO, R. M. C. M. O. Avaliação da sustentabilidade da agricultura familiar em projetos de irrigação no semiárido pernambucano. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Recife: UFPE, 2009.

CASARIN, Rosaria. Caracterização dos Principais Vetores de Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica Paraguai/Diamantino. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/GEOCIÊNCIAS, 2007, 169 p.

Castro Junior, Rodolfo Moreira. Zoneamento e Diagnóstico Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Castelo Usando Geoprocessamento. Tese de Doutorado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: CETESB, 2007.

CHAPMAN, D. Water quality assessment. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Second Edition. 1996.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. Estudo ambiental da barragem de Itaparica. Recife: AGAM, 2002.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. **Levantamento e monitoramento da fauna nas áreas de reserva legal dos projetos de irrigação Fulgencio, Brígida, Apolônio Sales e Icó-Mandantes (Bloco 04) situados nos Municípios de Santa Maria da Boa Vista, Orocó e Petrolândia.** Recife: PETCON, 2005.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório de Itaparica – PACUERA. Recife: Greentec Tecnologia Ambiental, 2008.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. Levantamento e monitoramento da fauna e flora no entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaparica. Recife: PETCON 2009.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. Inventário dos ecossistemas aquáticos do Baixo São Francisco. Reservatório de Itaparica. Recife: FADURPE, 2010.

CHRISTOFIDIS, D. Olhares sobre a Política de Recursos Hídricos no Brasil: O caso da bacia do rio São Francisco. Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2001. 432p.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões - Um Sumário. O Relatório da Comissão Mundial de Barragens. 2000.

CONSELHOS DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. Regulamento nº 1221, de 25 de novembro de 2009, relativo à participação voluntária de organizações num sistema comunitário de ecogestão e auditoria (EMAS) (revoga o Regulamento nº 761/2001 e as Decisões 2001/681/CE e 2006/193/CE. Jornal Oficial das Comunidades Européias, n. L 342/1, 22 de dezembro de 2009.

CORTES, R. M. V. Requalificação de cursos de água. Lisboa: Instituto da Água. 2004.

CRUZ, L.B.S. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba-MG. Tese de Doutorado. (Faculdade de Engenharia Agrícola). Campinas: Universidade Federal de Campinas, 2003. 181p.

DENSHAM, Paul J. Visual interactive locational analysis. Spatial analysis: modelling in a GIS environment, p. 185-205, 1996.

DIAS, G.F. Fundamentos de educação ambiental. Universidade Federal de Brasília. Brasília: Universa Editora, 2000.

DIAS, R. Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2006.

DINIZ, NORIS COSTA. Cenários de Geoindicadores por meio de Avaliação Ambiental em SIG e Base de Dados Geoambientais. In: Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva Mineral (Eds.: Bôas, Roberto Villas & Beinhoff, Christian), Carajás, 2002.

DONAIRE, Denis. Gestão ambiental na empresa. São Paulo: Atlas 1995.

ELETROBRAS. Plano diretor de meio ambiente do Setor Elétrico: 1990/1992. Rio de Janeiro. 1990.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S.B. Sistema de banco de dados. São Paulo: Editora Addison Wesley, 4ed, 2005.

EPELBAUM, M. Sistemas de Gestão Ambiental. In: Modelos e Ferramentas de Gestão Ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações. Org. Alcir Vilela Júnior e Jacques Demajorovic. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência. 1998.

FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY DIVISION. Water Resources Management in Germany. Emissions into surface waters and the sea. Alemanha, 2006.

FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY DIVISION. Water Resources Management in Germany. Quality of inland surface waters. Alemanha, 2001.

FELICIDADE, N.; MARTINS, R. C.; LEME, A.A. Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil. 2ed, RIMA, 2004.

FITZ, P. R. Cartografia básica. São Paulo: Oficina de Textos, 2008a.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FREITAS, Vladimir Passos de. A Constituição Federal e a Efetividade das Normas Ambientais. 2. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2002.

GIL Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisas*. São Paulo: Atlas, 1994.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e Desenvolvimento na Área de Energia. *São Paulo Perspec.* [online]. 2000, vol.14, n.3, pp. 91-97. ISSN 0102-8839. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-88392000000300014&script=sci_arttext.
Acesso: 10 de abril de 2010.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. Plano Diretor de Recursos Hídricos: bacias da margem direita do SubMédio São Francisco. Salvador, 1996. v. VI.

GRANZIERA, M. L. M. Direito de Águas: disciplina jurídica das águas doces. São Paulo: Atlas, 2006. 245 p.

GUNKEL, G.; LANGE, U.; WALDE, D.; ROSA, J. W. Environmental and Operation Impacts of Curuá-Una: A Reservoir in the Amazon Region of Pará - Brazil. Lakes Reservoirs: Res. Manage, 2003.

GUNKEL, G. Contamination and Eutrophication Risks of a Reservoir in the Semi-arid Zone: Reservoir Itaparica, Pernambuco, Brazil. In: Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany (Eds.: G. Gunkel, M. Sobral), Berlin: Technischen Universit Berlin, 2007.

GUNKEL, G. Hydropower - A Green Energy? Tropical Reservoirs and Greenhouse Gas Emissions. CLEAN - Soil, Air, Water. Volume 37, Issue 9 , Pages 726 – 734. 2009

HEINZLE, Roberto; GAUTHIER, F. A. O. ; FIALHO, F. Semântica nos Sistemas de Apoio a Decisão: O Estado da Arte. Revista da Unifebe, v. 1, p. Artigo 14, 2010.

ICC. International Chamber of Commerce. Guide to Effective Environmental Auditing. ICC Publication N° 483. Paris: International Chamber of Commerce, 1991.

INDUKERN. Indukern do Brasil Química LTDA. Disponível em: http://www.indukern.com.br/arquivosUp/43_CIROMAZINA.pdf. Acesso em maio de 2009.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2000. Rio de Janeiro: IBGE, Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: abril de 2009.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 2007. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>>. Acesso em 10 de janeiro de 2008.

JIAO, N; et al. Ecological anomalies in the East China Sea: Impacts of the Three Gorges Dam?. Water Research (41). 1287-1293.

JORGENSEN, S.E.; VOLLENWEIDER, R.A. Diretrizes para o gerenciamento de lagos, Princípios para o Gerenciamentos de Lagos. Vol. 1. ILEC; IIE; UNEP. São Carlos. 2000.

Jornal Oficial das Comunidades Européias. Diretriz do Parlamento Europeu e do Conselho n.º 2000/60/CE, de 23 de Outubro de 2000.

KELMAN, J. Recursos Hídricos no Brasil – Questão do Momento. A Água em Revista, Revista Técnica e Informativa da CPRM, Ano VII, n. 11, nov. 1999.

KELMAN, J. et al. Hidroeletricidade. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, G.T. (org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3ª edição. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

KOOKANA, R. S.; CORRELL, R. L.; MILLER, R. B. Pesticide impact rating index – a pesticide risk indicator for water quality. *Water, air and soil pollution. Focus* (2005) 5: 45-65.

KORTH, HENRY F.; SILBERSCHATZ, ABRAHAM. Sistema de Dados. Makron Books, 1995. 753p.

LAURINI, Robert; THOMPSON, Derek (Ed.). Fundamentals of spatial information systems. Academic press, 1992.

LEITE, M.A. Impacto Ambiental das Usinas Hidrelétricas. II Semana do Meio Ambiente. UNESP. Ilha Solteira, 2005.

LYRA, F. J. M.; MELO, S. B. M.; PAES, R. F. C. Environmental Management of a Series of Reservoirs in São Francisco River Operated by Hydro Electric Company of São Francisco (CHESF). In *Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany* (Eds.: G. Gunkel, M. C. Sobral). Berlin: Technischen Universit Berlin, 2007.

MACIEL, Gisele de Cássia. Zoneamento geoambiental do município de São Vicente (SP), utilizando o sistema de informação geográfica – SIG. Dissertação. (Mestrado em Ecologia Aplicada) – 134p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

MARASCHIN, L. Avaliação do grau de contaminação por pesticidas na água dos principais rios formadores do Pantanal Mato-Grossense. Dissertação de Mestrado. Instituto de Saúde Coletiva. Universidade Federal de Mato Grosso. 2003.

MATSUI, S.; BARRETT, B.F.D.; BANERJEE, J. Gerenciamento de substâncias tóxicas em lagos e reservatórios. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. Tradução Dino Vannucci. Editor da série em Português: José Tundisi. São Carlos: ILEC; IIE. 2002.

MELO, G. L. Estudo da qualidade da água do reservatório de Itaparica localizado na bacia do rio São Francisco. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007.

MENEZES, J. M.; PRADO, R. B.; SILVA JÚNIOR, G. C.; MANSUR, K. L.; OLIVEIRA, E. S. Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos – RJ. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.4, p.687-698, out/dez. 2009

MICKLIN, PHILIP P. Desiccation of the Aral Sea: A Water Management Disaster in the Soviet Union. *Science*. 2 September 1988: Vol. 241. no. 4870, pp. 1170 – 1176.

MILARÉ, E. Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco. 5ª ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana, organizador. – Brasília, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas. Rio de Janeiro: E-papers, 2007. 684p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME, 2007. 324p.

MORAES, R.C; LIMA, L.P. Utilização de SIG como ferramenta na gestão do Parque Nacional Chapada das Mesas (Carolina/MA). Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4057-4064.

MOREIRA, M. S. Estratégia e implantação do sistema de gestão ambiental, Modelo ISO 14000. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2006.

MOTA, S. Preservação e conservação de recursos hídricos. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

MOURA, L. G. V. Indicadores para avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção da agricultura familiar: o caso dos fumicultores de Agudo/RS. 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural). Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Rural, UFRGS. Porto Alegre.

MURPHY, Rebecca R.; CURRIERO, Frank C.; BALL, William P. Comparison of spatial interpolation methods for water quality evaluation in the Chesapeake Bay. *Journal of Environmental Engineering*, v. 136, n. 2, p. 160-171, 2009.

NOVO, E. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

NOVOTNY, V. Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management. 2. Ed. New York: John Wiley & Sons, 2003. 888p.

NOVOTNY, V & OLEM, H. Water quality: prevention, identification, and management of diffuse pollution. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. 1054p.

RAPOSO, Aline Almeida; DE PAULA BARROS, Luiz Fernando; JÚNIOR, Antônio Pereira Magalhães. O uso de taxas de turbidez da bacia do alto rio das Velhas–Quadrilátero Ferrífero/MG–como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 27, n. 3. Esp, p. 34-50, 2011.

ONO, E. A.; KUBITZA, F. Cultivo de peixes em tanques redes. Jundiaí. 1998. 68p.

PAES, R. F. C.; CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. C. Sistemas de informações geográficas para subsidiar a tomada de decisão na gestão ambiental de reservatórios. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 27 a 30 de julho de 2010.

PACHECO, J.M.J.A. A inserção de indicadores de medição do desempenho para o sistema de gestão ambiental. Dissertação. Programa de Engenharia de Produção e Sistemas. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

Power, D.J. *A Brief History of Decision Support Systems*. DSSResources.COM, World Wide Web, <http://DSSResources.COM/history/dsshistory.html>, version 4.0, March 10, 2007.

PRADO, Rachel Bardy. Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.

PTDRS. Plano de Desenvolvimento Territorial Rural Sustentável, Território Itaparica – Bahia e Pernambuco. Paulo Afonso: Fórum do Território Itaparica, 2009. 158 p.

QUIROGA M.R. Estatísticas del medio ambiente em América Latina y el Caribe: avances y perspectivas. Chile: Cepal, 2005. Series Manuales.

RAFAELI NETO, S. L. Sistemas de apoio à decisão espacial: uma contribuição à teoria em geoprocessamento. Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países da América Latina. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

REIS, L. F. S. de S. D.; QUEIROZ, M. P. de. Gestão Ambiental em Pequenas e Médias Empresas. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.

REIS, L. B. dos. F; Amaral. E.A; Carvalho, C. E. Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005.

REIS, L.B.; CUNHA, E.C.N. Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. Barueri, SP: Manole, 2006.

REIS, R.L.L. A gestão ambiental do reservatório Delmiro Gouveia das usinas hidrelétricas Paulo Afonso I-II-III da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife: 2007.

RIBEIRO, R. A. Ecologizar, pensando o ambiente humano. Brasília: Editora Universia. 2000.

RICARDO, Claudinei dos Santos et al. A degradação do rio São Francisco influenciando na pesca artesanal do Município de Buritizeiro/MG. Publicado em 14/8/2008. Disponível em: <http://www.webartigos.com.articles/22715/1>. Acesso em: 24 de agosto de 2009.

RIZZI, N. Índices de qualidade de água. *Sanare*, v. 15, p. 13-25, 2001.

RIZZOLI, Andrea E.; DAVIS, J. Richard; ABEL, David J. Modeland data integration and reuse in environmental decision support systems. *Decision support systems*, v. 24, n. 2, p. 127-144, 1998.

ROCHA FILHO, José da; PRIMAVERSI, Odo. Aplicação do SIG-IDRISI para Estudo e Classificação das Áreas de Proteção dos Recursos Naturais na Fazenda Canchim (EMBRAPA São Carlos – SP). In: II Simpósio de Usuários IDRISI. Caderno de Resumos... Campinas/SP: UNICAMP/FEAGRI. FPE/Faculdade de Agronomia “Manoel Carlos Gonçalves” e EMBRAPA/CNPQIA, UNICAMP/CEPAGRI. p. 5 – 7, 1997.

ROCHA, Maria Beatriz Brandão. Levantamento do meio físico do município de Araxá-MG, utilizando técnicas de geoprocessamento. 2006.

RODRIGUES, M. T. Herpetofauna da Caatinga. 2003. Disponível em: <http://www.acaatinga.org.br//fotos//publicacoes/54.pdf>. Acesso em jan 2010.

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 2ªed.rev. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 1992.

SANTILLI, J. Socioambientalismo e novos direitos. São Paulo: Editora Peirópolis, 2005.

SANTOS, A. S. Vulnerabilidade socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semiárido da Bahia. Dissertação de Mestrado. Pós Graduação em Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília. Brasília: 2008.

SCHEUMANN, W. Managing Salization – Institutional analysis of public irrigation systems. Berlin: Springer, 1997.

SCHEUMANN, W.; Schiffler, M. Water in the Middle East – Potencial for conflicts and prospects for cooperation. Berlin: Springer, 1998.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca*. Recife: SECTMA, 2001.

SEIFFERT, Maria Elizabete Bernardini. Sistemas de gestão ambiental (ISO 14001) e saúde organizacional (OHSAS 18001): vantagens da implantação integrada. São Paulo: Atlas, 2008.

SILVA, F. B. R. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agraria), 2001. CD-ROM.- (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ISSN 1517-2627.

SILVA, L. M. C. Açudes e reservatórios: Mecanismos técnicos, legais e institucionais para uma gestão sustentável. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília. Brasília: 2002.

SILVA, S.R. A integração entre os níveis de planejamento de recursos hídricos – estudo de caso: a bacia hidrográfica do rio São Francisco. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco: 2006.

SILVA, S. R., SA, A. M. F. & COSTA, A. M. Implementation of the National Policy for Water Resources in Brazil and State Policy Water Resources in Pernambuco. In: G. Gunkel; M. C. Sobral. (Org.). Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil Portugal and Germany. Berlin: TU-Berlin, 2007, p. 2 – 13.

SILVA, J. M. C. et al. Aves da Caatinga: status, uso do habitat e sensibilidade. 2003. Disponível em: http://www.cepan.org.br/docs/publicacoes/livro_caatinga/10_cap05_aves.pdf. Acesso em: dez 2009.

SIMON, H.A. The new science of management decision. Nova York. Harper &Row, 1960.

SOARES, Sebastião Roberto. Avaliação ambiental de sistemas. **Santa Catarina**, 2003.

SOARES, F.G. Plano Ambiental de Conservação e uso do entorno dos reservatórios do setor elétrico: uma pesquisa usando o método Delphi. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco: 2005.

SOBRAL, M. C., GUNKEL, G., MONTENEGRO, S., AURELIANO, J & ALCOFORADO, T. *Evaluation of the Water Monitoring System for Tropical River Basins in Northeast Brazil*. Proceedings of the 9th International. Specialised Conf. Watershed & River Basin Management – IWA. Edinburgh, 2002.

SOUZA, M. P. Instrumentos de Gestão Ambiental: fundamentos e prática. São Carlos: Editora Riani Costa. 2000.

SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste. Recife: SUDENE, 1990.

SPERLING, E. v. Morfologia de Lagos e Represas. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999.

TORTAJADA, C. & BISWAS, A.K. Development and large dams: a global perspective. Disponível em www.thirdworldcentre.org. Acessado em 12 de janeiro de 2008.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; HENRY, R.; ROCHA, O.; HINO, K. Comparação do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: Eutrofização e manejo. In: Tundisi, J.G. (ed.) Limnologia e manejo de represas. vol. 1. Tomo 1. São Paulo: Série Monografias em Limnologia/USP, 1988.

TUNDISI, G. T; TUNDISI, T. M.; ROCHA, O. Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, G.T. (org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3ª edição. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

TUNDISI, G. T; TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

WCD. The World Commission on Dams. Barragens e Desenvolvimento: Um novo modelo para tomada de decisões – O Relatório da Comissão Mundial de Barragens. 2000. Disponível em: www.dams.org. Acessado em: 05/09/2006.

WEBER, E. J.; DUARTE, G. F; FRANK, M.; HOFF, R.; ZOMER, S.; BASSANI, E.; JUNQUEIRA, I. 1998. Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí - RS. In: GIS Brasil 98 – IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, Anais...Curitiba/PR.