

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ LUIZ NUNES FERREIRA

ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE DE ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS
DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO NO NORDESTE DO
BRASIL

RECIFE

2016

ANDRÉ LUIZ NUNES FERREIRA

ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE DE ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS
DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO NO NORDESTE DO
BRASIL

Tese submetida ao curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Pernambuco, como parte dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e
Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Gestão Ambiental

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria do Carmo Martins
Sobral

Co-Orientadora: Prof^a Dr^a Professora Maria
Manuela Queiroz Martins Mantero Moraes

RECIFE

2016

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

- F383a Ferreira, André Luiz Nunes.
 Análise integrada da qualidade de água dos corpos hídricos do projeto de
 integração do Rio São Francisco no nordeste do Brasil / André Luiz Nunes
 Ferreira. - Recife: O Autor, 2016.
 148 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.
 Coorientadora: Profa. Maria Manuela Queiroz Martins Mantero Moraes.
 Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.
 Inclui Referências.
1. Engenharia Civil. 2. Semiárido brasileiro. 3. Qualidade de água.
 4. Integração de bacias hidrográficas. I. Sobral, Maria do Carmo Martins.
 (Orientadora). II. Moraes, Maria Manuela Queiroz Martins Mantero.
 (Coorientadora). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-279



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**“ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS DO
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO NO NORDESTE DO
BRASIL”**

defendida por

André Luiz Nunes Ferreira

Considera o candidato APROVADO

Recife, 30 de setembro de 2016

Orientadora - Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Martins Sobral

Coorientadora - Prof.^a Dr.^a Maria Manuela Queiroz Martins Mantero Moraes

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Martins Sobral – UFPE
(orientadora)

Prof.^a Dr.^a Maristela Casé Costa Cunha – UNEB
(examinadora externa)

Prof.^a Dr.^a Renata Maria Caminha Mendes de Oliveira Carvalho - IFPE
(examinadora externa)

Prof. Dr. Alfredo Matos Moura Junior – UFPE
(examinador externo)

Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo – UFPE
(examinador interno)

Setembro de 2016

Dedico esta tese à minha mãe
Silvia Maria Ferreira

AGRADECIMENTOS

À prof. Maria do Carmo Sobral pela força, dedicação, apoio, orientação e afeto.

À Prof Manuela Moraes, pelos valiosos ensinamentos e amizade, principalmente durante período em Portugal.

Ao Ministério da Integração Nacional e ao responsável pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco , Sr Davi Marwell

À CMT Engenharia em nome do Sr Auriman Cavalcante e toda a equipe do projeto de monitoramento.

À Coordenação Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa de pesquisa durante o período, e pela oportunidade de realizar parte deste estudo na Universidade de Évora- Portugal.

Ao corpo docente e técnicos administrativos da Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo aprendizado, apoio e presteza.

Ao professor Günter Gunkel, e a todos pesquisadores do Projeto INNOVATE, pela grande oportunidade de troca de informações, experiências e crescimento científico.

Aos meus colegas do Grupo de Gestão Ambiental, pela prazerosa e frutífera convivência.

À Maristela Casé, Renata Caminha e, Silvana Calado e Jarcilene de Almeida Cortez, grandes professoras que apoiaram este trabalho.

Agradeço sobretudo, aos meus amigos e familiares que sempre me apoiaram e aconselharam, em especial ao Dr.David O'Brain,e a meu grande pai, Nelson Ferreira.

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo de busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.”

Paulo Freire

RESUMO

O Projeto de Integração do rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional foi concebido no intuito de garantir segurança hídrica para parte da população do semiárido nordestino. O gerenciamento deste projeto é essencial para o atendimento das demandas hídricas existentes no semiárido brasileiro. Neste trabalho foram analisadas as características dos corpos hídricos, relacionadas a qualidade de água nos reservatórios e trechos de rios, bem como uso e ocupação do solo no entorno três reservatórios do Eixo Leste e três do Eixo Norte do projeto de integração de águas. Foram analisadas 15 campanhas de coleta distribuídas entre 2009 e 2013 com a análise de 35 parâmetros de qualidade de água. A distribuição dos pontos de coleta foi realizada em quatro estados do nordeste (PE,PB,RN e CE) em rios e reservatórios de oito bacias hidrográficas e no Rio São Francisco no trecho do reservatório Itaparica. Ferramentas estatísticas de Análise Discriminante Múltipla (AMD) e Análise de Componentes Principais (ACP) foram aplicadas para diferenciar os eixos Leste e Norte, as diferenças e similaridades existentes entre os conjuntos de pontos de coleta das bacias hidrográficas. Para o uso do solo foi utilizada a base de dados disponibilizada pela Agência Nacional de Águas em um perímetro de mil metros no entorno de cada reservatório e nele quantificada a ocupação pelos agrupamentos ali existentes. Para os pontos nestes reservatórios foi calculado o Índice de Estado Trófico (IET), que correlaciona as quantidades de fósforo e clorofila e os classifica quanto ao grau de trofia. A AMD foi eficiente para diferenciar as águas nos pontos de coleta do reservatório Itaparica e demais áreas, indicando uma forte tendência de diferenciação entre os eixos Norte e Leste. A ACP demonstrou que as características mineralógicas da água são preponderantes na diferenciação destas. Os reservatórios do Eixo Leste (Poções, Engenheiro Epitácio Pessoa e Poço da Cruz) possuem o estado trófico com maior grau de eutrofização. Com a metodologia utilizada foi possível aferir relações entre o estado trófico e o uso e ocupação do solo, que em geral são representados especialmente por pequenas aglomerações urbanas e uso agrícola pouco denso. É primordial implementar sistemas de esgotamento sanitário nas comunidades do entorno dos reservatórios, assim como ampliar o controle do uso de fertilizantes e defensivos agrícolas para reduzir a entrada de efluentes com risco potencial aos corpos d'água.

Palavras-chave: Semiárido brasileiro. Qualidade de água. Integração de bacias hidrográficas.

ABSTRACT

The Integration Project of the São Francisco River with the Hydrographic Basins of the Northeast of Brazil was conceived in order to guarantee water security for part of the population of the northeastern semi-arid region. The management of this project is essential for meeting the water demands in the Brazilian semi-arid region. This work analyzed the water bodies characteristics as related to the water quality in the reservoirs and stretches of the river, as well as to the use and occupation of the soil in the surroundings of three reservoirs of the Eastern Axis and three of the Northern Axis of the water integration project. Fifteen collection campaigns were analyzed between 2009 and 2013 with an analysis of 35 parameters of water quality. The distribution of the collection points was carried out in four states of the northeast (PE, PB, RN and CE) in rivers and reservoirs of eight river basins and in the São Francisco River in the stretch of the Itaparica reservoir. The statistical tools of Multiple Discriminant Analysis (MDA) and principal component analysis (PCA) were applied to differentiate the East and North Axes from the differences and similarities between the sets of collection points in the watersheds. The database was made available by the National Water Agency in a perimeter of thousand meters around each reservoir and quantified the occupation by the existing groupings was used for land use, and for the points in these reservoirs the Index of Trophic Status (ITS) was calculated. The ITS correlates the amounts of phosphorus and chlorophyll and classifies them as trophy grade. The MDA obtained a robust result regarding the water differentiation at the collection points of the Itaparica reservoir and other basins. In addition, there was a strong trend of differentiation between the North and East axes. The analysis of main components showed that the mineralogical characteristics of the water are preponderant in the differentiation of these. The reservoirs of the East Axis (Poções, Engenheiro Epitácio Pessoa, e Poço da Cruz) have the trophic state with the highest degree of eutrophication. The method allowed assessment of the relationships between the trophic state and the use and occupation of the soil, which in general were represented mainly by small urban agglomerations and little dense agricultural use. It is essential to implement sanitary sewage systems in the communities surrounding the reservoirs, as well as to increase the control of the use of fertilizers and agricultural pesticides to reduce the entry of effluents with potential risks to water bodies.

Keywords: Brazilian semiarid region. Water quality. Integrated watershed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Eixo Norte (A) e Eixo Leste (B), do Projeto de Integração de Bacias do Rio São Francisco.	43
Figura 2-	Organização em fluxo da metodologia de trabalho.	47
Figura 3-	Reservatórios do PISF utilizados para análise do uso do solo e IET	56
Figura 4-	Sistema de classificação do uso e ocupação do solo.	58
Figura 5-	Classes de mapeamento do uso do solo para a totalidade do Brasil	60
Figura 6-	Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco.	62
Figura 7-	Bioma da caatinga cobrindo a maior parte da região nordeste do Brasil, com destaque para os principais reservatórios do PISF	63
Figura 8-	Pluviosidade na área de abrangência do PISF	64
Figura 9-	Mapa dos pontos de amostragem.	66
Figura 10-	Localização do reservatório Itaparica no rio São Francisco	68
Figura 11-	Eixo Norte e Eixo Leste do PISF e os principais reservatórios receptores.	69
Figura 12-	Imagens dos pontos de captação do Eixo Norte e Eixo Leste.	70
Figura 13-	Gráfico de espaço rotacionado dos componentes 1 e 2 para ACP de amostras do monitoramento do Projeto de Integração do Rio São Francisco.	72
Figura 14-	Gráfico de sedimentação para ACP em parâmetros analisados em 15 campanhas de monitoramento do projeto de integração do rio São Francisco.	73
Figura 15-	Mapa territorial das funções 1 e 2 para análise discriminantes envolvendo os eixos do projeto de integração do rio São Francisco.	76
Figura 16-	Mapa territorial da análise discriminante, para bacias do projeto de integração do rio São Francisco.	78
Figura 17-	Comparação entre gráficos do mapa territorial.	81
Figura 18-	Reservatório Engenheiro Ávidos/PB.	88
Figura 19-	Principais reservatórios da Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu.	89

Figura 20-	Mapa de uso do solo do reservatório Engenheiro Ávidos/PB.	91
Figura 21-	Índice de Estado Trófico para o reservatório Engenheiro Ávidos/PB.	94
Figura 22-	Unidade de Conservação localizada no Distrito de Engenheiro Ávidos, Cajazeiras/PB.	95
Figura 23-	Vista geral do Reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves/RN.	97
Figura 24-	Localização do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves na Bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açú.	98
Figura 25-	Mapa de uso do solo do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN.	99
Figura 26-	Índice de Estado Trófico para o reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN.	100
Figura 27-	Restrição do uso de água para o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves e demais corpos hídricos.	103
Figura 28-	Reservatório Castanhão/CE.	104
Figura 29-	Mapa de uso do solo do reservatório Castanhão/CE.	106
Figura 30-	Índice de Estado Trófico para o reservatório Castanhão/CE.	108
Figura 31-	Volume do reservatório Castanhão 2004-2016.	109
Figura 32-	Reservatório Poço da Cruz /PE.	110
Figura 33-	Canal secundário do reservatório Poço da Cruz /PE.	111
Figura 34-	Mapa de uso do solo do reservatório Poço da Cruz/PE. .	113
Figura 35-	Índice de Estado Trófico para o reservatório Poço da Cruz/PE.	115
Figura 36-	Reservatório Poções /PB.	116
Figura 37-	Mapa de uso do solo do reservatório Poções/PB.	117
Figura 38-	Índice de Estado Trófico para o reservatório Poções/PB.	119
Figura 39-	Reservatório Eptácio Pessoa /PB.	120
Figura 40-	Mapa de uso do solo do reservatório Eptácio Pessoa /PB.	122
Figura 41-	Índice de Estado Trófico para o reservatório Eptácio Pessoa/PB.	123
Figura 42-	Reservatório Itaparica.	125

Figura 43- Valores de fósforo (mg/L P) para os eixos e reservatório Itaparica.	127
Figura 44- Valores de clorofila ($\mu\text{g/L}$) para os eixos e reservatório Itaparica.	128
Figura 45- Valores de DBO (mg/L O_2) para os eixos e reservatório Itaparica	129
Figura 46- Valores de Turbidez (NTU) para os eixos e reservatório Itaparica.	130
Figura 47- Valores de Carbono Orgânico Total (mg/L) para os eixos e reservatório Itaparica.	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-	Instrumentos de gestão de recursos hídricos e seus meios de operacionalização.	28
Quadro 2-	Índice de Estado Trófico e suas respectivas descrições	32
Quadro 3-	Principais instituições relacionadas à gestão da qualidade da água dos estados.	46
Quadro 4-	Reservatórios monitorados do Eixo Leste do projeto de interligação de bacias do rio São Francisco e suas respectivas bacias.	67
Quadro 5-	Matriz de componentes para ACP realizada para as amostras do monitoramento do projeto de integração do rio São Francisco.	74
Quadro 6-	Variância total explicada para ACP em bacias do projeto de integração do rio São Francisco.	84
Quadro 7-	Matriz Padrão com os componentes 1 e 2 da ACP para bacias do projeto de integração do rio São Francisco	85
Quadro 8-	Matriz Padrão com os componentes 1 e 2 da ACP para bacias do projeto de integração do rio São Francisco	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Período das campanhas de coleta de amostras físico-químicas do monitoramento do projeto de integração do Rio São Francisco de 2009 a 2013.	49
Tabela 2-	Lista de pontos de coleta de amostras de qualidade de água do PISF.	50
Tabela 3-	Métodos de análise para os parâmetros físico-químicos de campo e de laboratório.	52
Tabela 4-	Categorias tróficas definidas por Lamparelli (2004).	57
Tabela 5-	Precipitação pluvial média (mm) por estado, série histórica	64
Tabela 6-	Variância total explicada para análise de componentes principais para monitoramento de qualidade de água do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Categorias tróficas definidas por Lamparelli (2004).	72
Tabela 7-	Classificação para Análise Discriminante realizada para os Eixos do projeto de integração do rio São Francisco.	75
Tabela 8-	Valores das funções canônicas para as bacias do projeto de integração do rio São Francisco. Classificação para Análise Discriminante realizada para os Eixos do projeto de integração do rio São Francisco.	77
Tabela 9-	Associação de grupos para análise discriminante do conjunto de bacias do projeto de integração do rio São Francisco. Valores das funções canônicas para as bacias do projeto de integração do rio São Francisco.	79
Tabela 10-	Matriz de estruturas para Análise Discriminante dos parâmetros não mineralógicos. Associação de grupos para análise discriminante do conjunto de bacias do projeto de integração do rio São Francisco.	80
Tabela 11-	Classificação para análise discriminante com dados do monitoramento do PISF (2009-2014)	82
Tabela 12-	Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Engenheiro Ávidos/PB.	92
Tabela 13-	IET (CL), (PT) e Médio para reservatório Engenheiro Ávidos/PB. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.	93

Tabela 14-	Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN.	98
Tabela 15-	IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.	101
Tabela 16-	Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Castanhão/CE.	105
Tabela 17-	IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Castanhão/CE. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.	107
Tabela 18-	Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Poço da Cruz/PE	111
Tabela 19-	IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Poço da Cruz/PE. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.	114
Tabela 20-	Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Poções/PB	118
Tabela 21-	IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Poções/PB. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.	119
Tabela 22-	Classes dos usos do solo às margens do reservatório Epitácio Pessoa /PB.	121
Tabela 23-	IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Epitácio Pessoa/PB. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.	123
Tabela 24-	IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Itaparica. indicam IET igual ou acima do Eutrófico.	126

LISTA DE SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ACP	Análise de Componentes Principais
ADM	Análise Discriminante Múltipla
ANA	Agência Nacional das Águas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERN	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos Renováveis
IET	Índice de Estado Trófico
IGARN	Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAM	Plano de Atividades e Metas
PBA	Programas Básicos Ambientais
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PRSF	Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
SECTEC	Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
SEGRH	Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SEPRE	Secretaria Especial de Políticas Regionais
SIGB	Sistema de Gestão do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SRHE	Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos Estado de Pernambuco
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

LISTA DE ABREVIATURAS

Alca	Alcalinidade
Ca	Cálcio
Cl	Clorofila a
Cond	Condutividade
COT	Carbono orgânico total
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCA	Detrended correspondence analysis
DQO	Demanda Química de Oxigênio
durez	Dureza
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
Fenís	Índice de fenois
Feof	Feofitina
GPS	Global positioning system
IET	Índice do Estado Trófico
IQA	Índice de Qualidade das Águas
K	Potássio
Mg	Magnésio
Na	Sódio
Ni	Níquel
Nitra	Nitrato
Nitri	Nitrito
Nitroamo	Nitrogênio amoniacal
Nt	Nitrogênio total
OD	Oxigênio dissolvido
Orto	Ortofosfato
PCA	Principal components analysis
PT	Fósforo total
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
Sali	Salinidade
Sol.dissolv	Sólidos dissolvidos totais
Sil	Sílica
Sst	Sólidos suspensos totais
Sulf	Sulfetos
Temp	Temperatura
Turb	Turbidez
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA	19
1.2	HIPÓTESE DE PESQUISA	22
1.3	OBJETIVOS	23
1.3.1	Objetivo geral	23
1.3.2	objetivo específico	23
1.4	ESTRUTURA DA TESE	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	25
2.1.1	Monitoramento e avaliação da qualidade de água	30
2.1.2	Análises estatísticas para gestão de recursos hídricos	34
2.1.3	Uso do solo no entorno de reservatórios nas bacias hidrográficas	35
2.1.4	Análise integrada da qualidade de água	37
2.2	PROJETOS DE INTEGRAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	39
2.2.1	Experiências internacionais	39
2.2.2	Experiências no Brasil	41
2.2.3	Projeto de Integração do Rio São Francisco	42
3	METODOLOGIA	47
3.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	47
3.2	ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE DE ÁGUA	48
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	53
3.3.1	Tratamento dos dados de monitoramento	53
3.3.2	Análise Discriminante Múltipla (ADM)	54
3.3.3	Análise de Componentes Principais (ACP)	54
3.4	CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO	55
3.5	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO	57
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	62
4.1	RESERVATÓRIO ITAPARICA	67
4.2	EIXO LESTE E EIXO NORTE DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DE BACIAS DO RIO SÃO FRANCISCO	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1	ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA	71
5.1.1	Análise de componentes principais (ACP)	71
5.1.2	Análise Discriminante Múltipla dos Eixo Leste, Eixo Norte e o reservatório de Itaparica	75
5.1.3	Análise Discriminante Múltipla por bacia hidrográfica	77
5.1.4	Análise estatística com parâmetros não mineralógicos	80
5.1.5	Análise de Componentes Principais por bacia hidrográfica utilizando parâmetros não mineralógicos de qualidade de água	83
5.2	ANÁLISE DO USO DO SOLO NO ENTORNO E DETERMINAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DOS RESERVATÓRIOS	87

5.2.1	Reservatório Engenheiro Ávidos/PB - Eixo Norte	87
5.2.2	Reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves/RN - Eixo Norte	96
5.2.3	Reservatório Castanhão/CE - Eixo Norte	104
5.2.4	Reservatório Poço da Cruz/PE - Eixo Leste	109
5.2.5	Reservatório Poções/PB - Eixo Leste	115
5.2.6	Reservatório Epitácio Pessoa/PB - Eixo Leste	120
5.2.7	Reservatório Itaparica	124
5.3	ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE DA ÁGUA, ENTRE O RESERVATÓRIO ITAPARICA E OS EIXOS NORTE E LESTE	127
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	133
6.1	CONCLUSÕES	133
6.2	RECOMENDAÇÕES	136
	REFERÊNCIAS	138

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como função apresentar a temática da tese, com a justificativa contextualizando os principais motivos para a sua elaboração. Também apresenta a hipótese de pesquisa, e os objetivos geral e específicos para se testar a hipótese.

1.1 JUSTIFICATIVA

A água é um recurso essencial nas políticas de combate à pobreza em todos os países, porém, em boa parte, é ameaçada pelo próprio desenvolvimento econômico. A crescente demanda e a superexploração deste recurso nas reservas superficiais e subterrâneas, necessitam de aprimoramentos nas formas de avaliação e gerenciamento da sua utilização. Segundo Diamond (2007), a água é um dos recursos mais importantes para determinar a fixação e o sucesso de uma civilização, sua capacidade de utilização e previsão do uso e a manutenção da qualidade do recurso, são cruciais ao longo da história humana em diversas situações.

Esta afirmação corrobora com a situação atual dos grandes aglomerados urbanos, onde cada vez mais, a preocupação com a fonte de recursos hídricos e a manutenção dos mananciais tem exigido maior atenção dos gestores. A exemplo do Brasil, têm-se as cidades do semiárido que sofrem com a crise hídrica, onde são apontados como grandes desafios: a precária gestão, principalmente no tocante a conservação das nascentes e das matas ciliares; a poluição causada pelo precário saneamento urbano e ineficiência de fiscalização de atividades agrícolas e industriais; o crescimento populacional e a aglomeração desordenadas nas metrópoles; e, por fim, as mudanças climáticas globais que concentram a estação chuvosa em períodos curtos e intensos (ANA, 2004).

No Brasil a oferta de água potável à população é um desafio a ser transposto, muito comum na região Nordeste, onde as populações convivem com a falta de infraestrutura desde a época de colonização. Segundo Santana (2007), o semiárido brasileiro é caracterizado por constantes e longos períodos de seca, com relatos descritivos desde a época do descobrimento, pelos primeiros colonizadores a adentrar a região.

De acordo com o Ministério da Integração Nacional, em uma atualização da delimitação da área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro realizada em 2005, descreve uma área de 969.589,4 km², baseada em três critérios técnicos(BRASIL, 2005):

- Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e
- risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

A Região Nordeste concentra 89,5%, abrangendo a maioria dos estados nordestinos, com a exceção do Maranhão, e o Estado de Minas Gerais, situado na Região Sudeste, possui os 10,5% restantes (103.589,96 km²) (IBGE, 2016).

A seca causada pela falta de precipitação que por sua vez causa a escassez de umidade no solo, impossibilitando o cultivo, resultando na quebra do ciclo de produção agrícola, e assim levando a grandes impactos socioeconômicos como migração em massa e a quebra de outros ciclos econômicos regionais (VIEIRA; GONDIM FILHO, 2006).

A busca por alternativas para a manutenção dos ciclos produtivos e a qualidade de vida das populações habitantes destas regiões é correlacionada diretamente com meios de disponibilização de água em quantidade e qualidade constantes. Evitar o desperdício e encontrar as melhores soluções de adaptação a essa escassez, também fazem parte de um esforço maior para evitar que os problemas sociais agravados pela seca se aprofundem e façam com que periodicamente exista uma grande migração da população para áreas úmidas que ofereçam o mínimo suporte de subsistência.

Brito (2013), relata em trabalho sobre os conflitos do uso da água no semiárido nordestino que a construção de barragens ao longo do Rio São Francisco e mais recentemente o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) resultam nos maiores conflitos hidroterritoriais do Brasil. Dado que no passado, os grandes projetos de infraestrutura hídrica não possuíam tantos questionamentos técnicos, ambientais, políticos e econômicos.

Em regiões povoadas e ou de interesse estratégico é necessário que para a manutenção/criação de processos produtivos, exista a oferta de água. Para tal, uma técnica possível é a transposição de bacias hidrográficas ou de rios, onde por meio de

adutoras ou de canais, determinada quantidade de água é transferida suprimindo uma região com escassez.

Esta tese de doutorado versa sobre as análises de qualidade de água realizadas ao longo dos trechos de rios e reservatórios do Projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, que neste trabalho será referido como Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF), um projeto do Ministério da Integração Nacional. O Projeto teve início no ano de 2009, com previsão de conclusão em 2017, e visa disponibilizar água em quantidade e qualidade para as populações de parte do semiárido brasileiro. Para tal feito, é necessário o controle e gestão, tanto da obra quanto dos reservatórios receptores. Nessa perspectiva, uma das ações que deve estar contemplada na gestão deste projeto é o monitoramento dos rios e reservatórios receptores de águas do Projeto São Francisco, fomentando a tomada de decisão e o manejo adequado das águas.

A água oferece suporte para o desenvolvimento das populações, mas para tal, a gestão deste recurso deve ser planejada e bem executada. O dimensionamento e monitoramento de mananciais sejam artificiais ou naturais, a coleta, tratamento, distribuição e esgotamento sanitário fazem parte da gestão de recursos hídricos, que visa a proteção e continuidade da existência do recurso hídrico de forma que possa ser utilizado, tanto pelas comunidades como para o suporte da vida na natureza.

Com a finalidade de suporte ao abastecimento de reservatórios no semiárido brasileiro assim como criação de novos reservatórios, o Projeto de Integração do Rio São Francisco é a maior obra de infraestrutura hídrica brasileira (MI, 2009). As águas retiradas do Rio São Francisco percorrerão canais e trechos de rios e serão armazenadas em reservatórios com diferentes estados de conservação, demandando uma gestão mais apurada e complexa das diversas realidades do projeto.

A quantidade e a qualidade da água que chegará aos reservatórios é de extrema importância, assim como a implementação e continuidade das medidas de gestão para a manutenção dos reservatórios. Estas medidas visam garantir a sustentabilidade do recurso hídrico para suas diversas finalidades, promovendo o desenvolvimento da região e devem contemplar o uso do solo nas áreas que possuem influência direta dos reservatórios de água.

O monitoramento da qualidade de água destes reservatórios e trechos de rios fornecem dados para o acompanhamento das variações existentes em cada local. Os dados adquiridos sobre estes corpos hídricos viabilizam a execução de medidas de gestão, visando manter a qualidade dos reservatórios. A identificação de diferenças entre cada grupo de corpos hídricos, com base na qualidade de suas águas, é uma ferramenta importante para tomadas de decisão e manejo de investimentos se tratando da amplitude do PISF.

A gestão do uso do solo nas áreas de entorno dos reservatórios é uma área estratégica para manutenção da qualidade das águas. Os principais riscos são o aporte de esgoto doméstico e industrial sem o devido tratamento, as atividades de mineração, e a agricultura sem os devidos tratamentos para reduzir os impactos ao meio ambiente.

A gestão, visando a preservação e o uso criterioso dos solos nas margens dos reservatórios, é parte essencial para a manutenção da qualidade da água, evitando problemas de contaminação e eutrofização da mesma, que nesta situação pode apresentar limitações de uso ou despender grandes custos de adequação para uso.

A partir de dados de monitoramento ambiental, são raros os trabalhos realizados em uma região tão extensa de maneira uniforme, dada a complexidade e diversidade de sistemas, assim como pelo esforço amostral necessário. O ineditismo desta tese é inerente ao tratamento de dados de qualidade de água de forma uniforme, em uma região que cobre quatro estados do nordeste do Brasil.

1.2 HIPÓTESE DE PESQUISA

A avaliação entre a qualidade da água e uso do solo de reservatórios do Projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional contribui para identificação de medidas de gestão destes reservatórios.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar de forma integrada a qualidade de água dos corpos hídricos do Projeto de Integração do São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional considerando as diferenças e as semelhanças entre os grupos, no entorno dos reservatórios do projeto.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar as características dos parâmetros de qualidade de água dos reservatórios e trechos de rio, considerando o Eixo Leste e o Eixo Norte do Projeto de Integração do rio São Francisco;
- Verificar a formação de grupos de corpos hídricos e os parâmetros de qualidade da água que influenciam nestes grupamentos;
- Relacionar a influência do uso do solo no entorno de reservatórios;
- Determinar o estado trófico dos reservatórios estudados;
- Propor recomendações para a gestão integrada da qualidade de água do PISF.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este documento é composto por seis capítulos, sendo inicialmente apresentada no primeiro capítulo, a introdução à temática, a hipótese de pesquisa e os objetivos geral e específicos da tese. No segundo capítulo é feita a fundamentação teórica, abordando a gestão de recursos hídricos e projetos de integração de bacias hidrográficas.

A metodologia é descrita no terceiro capítulo, com os procedimentos e métodos adotados para se alcançar os resultados. No quarto capítulo foi caracterizada a área de estudo. Esta separação da caracterização da área de estudo foi necessária, pois, entender a extensão regional do trabalho aqui descrito é de fundamental importância para a compreensão dos resultados.

Os resultados são descritos e discutidos com bibliografia específica no capítulo 5, sendo este dividido em três partes. Aborda respectivamente as análises estatísticas dos dados coletados, a análise de uso e ocupação do solo em uma parte específica da área e uma análise final onde foram integrados os resultados. Por fim, no sexto capítulo são descritas as conclusões e recomendações com base nos resultados alcançados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados os principais temas a respeito da gestão para a proteção da qualidade da água em reservatórios de múltiplos usos, os aspectos relativos ao semiárido e a importância de projetos de transposição de águas, apresentando algumas experiências internacionais.

2.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A gestão de um recurso natural ou econômico consiste na articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais, econômicos ou socioculturais interativos, objetivando compatibilizar o uso, o controle e a proteção deste recurso. Disciplinando, portanto, as respectivas ações antrópicas de acordo com a política estabelecida para o mesmo, de modo a se atingir o desenvolvimento sustentável. Os autores Silva e Pruski (2000) listam os princípios básicos da gestão integrada de bacias hidrográficas como:

- Conhecimento do ambiente reinante na bacia;
- Planejamento das intervenções na bacia considerando o uso dos solos;
- Participação dos usuários;
- Implementação de mecanismos de financiamento das intervenções baseadas no princípio usuário pagador.

Estes princípios norteadores são utilizados pela sociedade civil organizada e pelo poder público, envolvendo planejamento e entendimento de ambas as partes sobre o que é o meio alvo e como utilizá-lo de maneira sustentável, ou seja, preservando sua quantidade e qualidade pelo tempo em que este recurso for utilizado. Os recursos podem ser as águas e os solos, sendo o meio alvo a bacia hidrográfica como um todo.

A água é um recurso natural essencial, seja como componente dos seres vivos, seja como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores socioculturais e como fator de produção de bens de consumo e produtos agrícolas (PHILIPPI JR. et al., 2004). Dos recursos naturais a presença ou ausência de água em quantidade, qualidade e acessibilidade é um fator determinante para o crescimento de povoados e populações; também nesta lógica, a água é um fator

limitante para o desenvolvimento e sustentabilidade de processos produtivos e crescimento (DIAMOND, 2005; SALATI et al., 2006).

Estabelecer um sistema de segurança hídrica é essencial para o desenvolvimento de populações. Dentre os artifícios criados pelo homem moderno, está o acúmulo de água por meio de reservatórios e barragens, criando assim, um ecossistema artificial que deve ser monitorado e gerenciado para que não iniciem processos de perda e degradação da qualidade de água. O gerenciamento desses ecossistemas demanda não só de constante monitoramento como de avaliação dos mecanismos de ação das transformações de energia presentes na biota e dos processos inerentes aos solos do leito e margens (TUNDISI et al., 2008).

O gerenciamento dos reservatórios é uma tarefa complexa, que demanda equipes interdisciplinares com competência para minimizar impactos, promover a otimização de usos múltiplos e gerenciar efetivamente o ecossistema artificial e sua evolução como bacia hidrográfica (MELO, 2011). O estudo dos parâmetros físico-químicos e biológicos revela a importância dessas estruturas, necessárias à compreensão das funções dos ecossistemas, ferramentas essenciais para fazer a manutenção dos ambientes aquáticos evitando, dentre outros problemas, a eutrofização dos reservatórios. A qualidade de água em corpos d'água revela o grau de eutrofização do mesmo.

A eutrofização é o processo de enriquecimento de nutrientes encontrados de forma dissolvida ou particulada em corpos hídricos como reservatórios, lagos e rios. As principais partículas deste processo são o fósforo e o nitrogênio que são transformados em componentes de partículas orgânicas e matéria viva vegetal pelo metabolismo de plantas e microalgas (TUNDISI, 2003)

Os fatores limitantes do nível trófico de um reservatório são o Nitrogênio (N) e o Fósforo (P). A reprodução excessiva das algas pode causar desequilíbrio no ambiente e interferência nos usos da água de reservatórios de abastecimento, 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 consequentes 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 assoreamento das margens de reservatórios é uma fonte de grande aporte de nutrientes, para evitar o assoreamento devem ser preservadas as vegetações ali existentes. As margens de cursos d'água e reservatórios são consideradas Áreas de Preservação Permanente; segundo a Lei 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012), chamada de "Novo Código Florestal", existem uma série de normas para preservação das margens de cursos d'água, que levam em conta principalmente a distância entre uma margem e outra, ou seja, a largura do curso d'água. Para reservatórios artificiais a Lei retrata como área de preservação permanente em seu artigo 4º inciso III:

"[...]as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento [...]"

Essa vegetação tem fundamental importância, pois, protege o solo contra a erosão, evitando o assoreamento dos corpos d'água, além de constituir áreas de amortecimento de cheias, podendo constituir barreiras ao acesso superficial e subsuperficial de poluentes para os recursos hídricos (MELO, 2011).

Regiões semiáridas necessitam de especial atenção quanto à manutenção da qualidade de água pois como característica principal destas regiões é a escassez do recurso. A maior parte do solo no semiárido nordestino é muito rasa, com rochas quase aparentes, que compromete a existência, recarga e qualidade dos aquíferos; altas temperaturas que causam altas taxas de evaporação; poucos rios perenes e existe uma alta concentração de pessoas na região semiárida que geram uma excessiva pressão sob os recursos hídricos (CIRILO, 2008).

Os desafios da gestão de recursos hídricos na região semiárida demandam de um sistema integrado regional, nacional e de sistemas de gestão estaduais para otimizar a disponibilidade hídrica, pois, as vulnerabilidades no semiárido são muitas e que transpassam grandes regiões. O estabelecimento de sistemas de gestão adequados pode de forma racional, melhorar a disponibilidade hídrica no semiárido e favorecer o desenvolvimento econômico estável, socialmente justo e ambientalmente saudável, evitando desperdícios e maximizando os benefícios (VIEIRA, 2003; VIEIRA; GODIM FILHO, 2006).

A gestão dos recursos hídricos também sofre influência dos modelos de uso e ocupação do solo, das políticas públicas de saneamento ambiental, das ações voltadas ao

gerenciamento costeiro e das áreas úmidas, das mudanças climáticas e da exploração dos recursos pesqueiros e energéticos.

A proteção dos recursos hídricos é parte fundamental para os processos de gestão. Para auxiliar neste processo foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), através da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui os instrumentos de gestão de recursos hídricos: plano de recursos hídricos; enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; cobrança pelo uso de recursos hídricos e Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os instrumentos citados são classificados por Braga (2009) como os cinco principais instrumentos de gestão de recursos hídricos e sobre eles o autor resume os seus meios de operacionalização como explicitado a seguir (Quadro 2).

Quadro 1 - Instrumentos de gestão de recursos hídricos e seus meios de operacionalização.

Instrumentos de gestão	Meios de operacionalização
Enquadramento dos corpos de água	Resolução do conselho de recursos hídricos
Monitoramento ambiental	Monitoramento de qualidade da água Monitoramento de vazões hídricas Monitoramento de cobertura florestal Monitoramento de uso e ocupação do solo
Sistemas de informação	Sistema de informação de meio ambiente Sistema de informação de recursos hídricos
Educação ambiental	Educação ambiental formal Educação ambiental não-formal
Instâncias de decisão colegiada	Conselho de meio ambiente Conselho de recursos hídricos Comitê de bacias hidrográficas

Fonte: Braga (2009)

A lei estabelece passos básicos para a elaboração de um plano de recursos hídricos como: diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e a de modificação dos padrões de ocupação do solo; balanço entre disponibilidade e demandas futuras do recurso em quantidade e qualidade, com identificação dos potenciais conflitos; metas de racionalização de uso com a melhoria da qualidade; medidas programas e projetos a serem utilizados para o cumprimento das metas; prioridades para outorgas do uso;

diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso de recursos hídricos; e proposta de restrições para a proteção do recurso.

O enquadramento visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que foram destinadas e diminuir os custos de combate à poluição hídrica, mediante ações preventivas permanentes. Assim, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento (BRAGA, 2009).

A outorga do uso da água é um importante instrumento de gestão de recursos hídricos, associada ao sistema de informações e dando suporte ao sistema de cobrança do uso da água, este instrumento proporciona de certa forma um controle das agências reguladoras sobre as quantidades de água utilizadas. Para assegurar ao usuário o efetivo exercício do direito de acesso à água, bem como realizar o controle quantitativo e qualitativo dos usos deste recurso. Compete ao Estado, por meio da outorga, gerenciar a água, minimizando os conflitos entre os diversos usos da água (abastecimento público, geração de energia, irrigação etc.) e evitando os impactos ambientais negativos os corpos hídricos (APAC, 2014).

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), presente na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) é um instrumento definido como um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores que interferem em sua gestão. Tem como princípios a descentralização da obtenção e produção de dados e informações a coordenação unificada do sistema e o acesso livre à estas informações.

A instância superior do SINGREH é o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que definiu a Agência Nacional de Águas (ANA) como articuladora com os órgãos federais com atribuições sobre a gestão de recursos Hídricos. Segundo Silva (2011), em estudo realizado sobre o sistema de gestão de informação presente na ANA concluiu que esta demanda de melhorias e aplicação de práticas formais de gestão para garantir o perfeito andamento do SINGREH, que, é um dos mais importantes instrumentos para planejamento e gestão de recursos hídricos.

2.1.1 Monitoramento e avaliação da qualidade de água

O monitoramento é um instrumento de gestão da Política Nacional de Meio Ambiente e, no caso dos recursos hídricos, está diretamente relacionado com a qualidade da água, produzindo dados que serão utilizados para futuras decisões de aprimoramento e mudanças na gestão de determinado recurso hídrico.

De acordo com Bartram (1996), existem três tipos de atividades de monitoramento em relação ao seu tempo de aplicação; os de longo prazo, de curto prazo e programas de monitoramento contínuo; eles são descritos como:

- O monitoramento é de longo prazo, quando envolve medição padronizada e observação do ambiente aquático para definir condições e tendências;
- Pesquisas (levantamentos) são de curta duração, programas intensivos para medir e observar a qualidade do ambiente aquático para objetivos específicos;
- Vigilância é um monitoramento contínuo, em que ocorre a medição e observação específica com o propósito da gestão da qualidade da água e atividades operacionais.

O monitoramento da qualidade da água é um subcomponente da Política Nacional de Meio Ambiente II (PNMA II) e tem como principal objetivo desenvolver e aprimorar o monitoramento, para subsidiar a formulação de políticas de proteção ambiental e a tomada de decisão a respeito das ações de gestão ambiental (BRASIL, 2004).

Desta forma, o monitoramento, subsidia medidas de planejamento, controle, recuperação, preservação e conservação do ambiente em estudo, bem como auxilia na definição das políticas ambientais. Mostra o estado, as tendências qualitativas e quantitativas dos recursos naturais e a influência natural e antrópica sobre o meio ambiente.

É necessário reconhecer claramente os objetivos do monitoramento para a escolha dos indicadores que serão utilizados, mensurados em campo ou laboratório com variados graus de complexidade e aparatos tecnológicos distintos. Outro fator importante é a localização e condições de acesso dos pontos de coleta, que devem ter representatividade no contexto do monitoramento e logística possível de ser executada. Podem ser utilizadas estações automáticas de coleta de parâmetros físico-químicos e

meteorológicos; que coletam e armazenam informações em determinada medida de tempo ou manualmente onde são necessárias idas a campo.

Com a aquisição de dados de campo provindos do monitoramento, com confiabilidade tanto no planejamento amostral, quanto nas análises dos parâmetros, é possível subsidiar medidas de gestão de recursos hídricos. Uma gestão eficiente da qualidade da água torna-se fundamental para manutenção do uso sustentável dos mesmos, para tal, uma ferramenta bastante utilizada para padronização de aferição da qualidade de água dos reservatórios, é a elaboração de índices baseados nos resultados das coletas de dados físico-químicos.

Dentre os Índices utilizados o Índice do Estado Trófico (IET) desenvolvido pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2007) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquática.

Os diferentes graus de trofia podem ser denominados de acordo com a classificação de proposta pela CETESB (2007), descrita a seguir no quadro 2. Esta classificação determinada a partir de elementos chaves presentes nos corpos hídricos demonstra o estado atual das águas no processo de eutrofização que acarreta na perda de qualidade da água, tanto para o consumo como para as funções ecológicas necessárias aos organismos ali presentes.

Quadro 2- Índice de Estado Trófico e suas respectivas descrições

Utraoligotróficos	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
Oligotróficos	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
Mesotróficos	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos
Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Modificado de CETESB (2007)

Diversos trabalhos utilizam esta metodologia para classificação dos corpos hídricos, sendo esta mais uma vantagem na sua utilização, por fornecer um método prático de comparação (ALVES, 2012; MELO, 2011 e 2013; MORETTO 2011; GONÇALVES, 2008).

A avaliação das estruturas do ambiente contribui para a formulação de políticas públicas para o uso da água, como a utilizada na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências para:

- Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- Proteção das comunidades aquáticas;
- Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000;

- 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; e
- Aquicultura e à atividade de pesca.

Dentre os parâmetros de maior importância estão a presença e densidade de cianobactérias que podem ser encontradas em hortaliças, como alface, em razão da água utilizada para irrigação estar contaminada por cianobactérias tóxicas (CODD et al., 1998). Ocorrências de florações de cianobactérias, algumas tóxicas, são comuns nos reservatórios em Pernambuco e outros estados do Nordeste como Pernambuco (BOUVY et al., 1999, 2000; NASCIMENTO et al., 2000; HUSZAR et al., 1998 e 2000, CHELLAPPA, 2003 e 2009, COSTA et al., 2006 e 2009; MELO, 2011; MOLICA et al., 2002 e 2005).

A poluição dos recursos hídricos, comprometendo a qualidade da água, pode causar um fenômeno muito comum em reservatórios do Nordeste brasileiro, a eutrofização. Os efeitos da eutrofização podem ser estender a vários aspectos físico-químicos e biológicos dos reservatórios. Segundo Tundisi (2001), os principais efeitos da eutrofização são a floração de algas e o crescimento atípico de plantas aquáticas, e assim, a mudança de biocenose. Também ocorre a alteração de parâmetros de qualidade de água, tais como o oxigênio dissolvido, reutilização de nutrientes e a maior incidência de doenças hidricamente transmissíveis.

A eutrofização é um processo que tem como principais causas o aumento de efluentes sanitários e resultante de processos de industrialização, a utilização de fertilizantes na agricultura (ESTEVES, 1998), a presença massiva de fósforo na bacia sedimentar (FEIJÓ e LOMBARDO, 2007) e a utilização de aquicultura em reservatórios (GUNKEL et al., 2013). Estes fatores resultam na disponibilização de nutrientes associados a eutrofização de corpos d'água, como o fósforo e o nitrogênio.

Para realizar, ajustes em medidas de gerenciamento do uso múltiplo de reservatórios, controle e preservação da qualidade da água, são necessárias medidas de monitoramento de parâmetros físico-químicos e biológicos e a análise de suas inter-relações (SANT'ANNA; AZEVEDO, 2000). A avaliação biológica pode indicar os efeitos e extensão dos danos sobre um ecossistema decorrente dos seus usos. Parâmetros tais como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), coliformes

termotolerantes, fósforo total e nitrogênio total, costumam ser bons indicadores da qualidade da água, e utilizados com frequência para a simulação de qualidade de água em bacias hidrográficas (CERAN, 2003; TUCCI et al., 2006; CABECINHA et al., 2009).

Outra ferramenta muito utilizada para o estudo da qualidade de água de reservatórios são os modelos de qualidade de água. Estes modelos são baseados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), neles a bacia é discretizada em sub-bacias ou células, o que possibilita simular as alterações e variabilidade espacial natural do tipo e da cobertura do solo, sendo o grau de detalhamento ligado diretamente com as informações disponíveis (TUCCI, 2008). O que requer que o estudo da bacia como um todo, e não somente do corpo hídrico seja necessário para o real entendimento e aplicação dos modelos.

A avaliação e o monitoramento dos ecossistemas aquáticos têm sido essencialmente baseadas em medidas físico-químicas e bacteriológicas da qualidade da água. Em adição, o efeito da poluição ou das variações ambientais, causa impacta a maioria dos seres vivos e pode conduzir a perturbações no equilíbrio existente. Então faz-se necessário o complemento das análises de água com um estudo detalhado das comunidades bióticas. (ALBA TERCEDOR; SANCHEZ ORTEGA, 1988). De um modo geral, a qualidade de águas correntes deve ser avaliada através do uso de parâmetros físico-químicos e complementado através dos dados da biota, de forma a fornecer um espectro completo de informação para um monitoramento das águas correta e apropriada.

2.1.2 Análises estatísticas para gestão de recursos hídricos

Para melhor compreensão das complexas matrizes criadas com os dados de monitoramento de qualidade de água e visando avaliar como se apresentam os reservatórios, a interpretação dos dados pode ser feita através de técnicas de análise estatística. Como uma valiosa ferramenta para a gestão de recursos hídricos, estas análises, permitem identificar possíveis fatores que influenciam a qualidade de água e assim direcionar para as soluções desejadas. (BU et al., 2010).

Análises estatísticas clássicas não são úteis para a avaliação de dados de qualidade de água, devido ao número de variáveis, as diferentes escalas e unidades, e a distribuição espacial distinta (FRANÇA, 2009). Segundo o autor, o emprego da análise multivariada é ideal, pois permite avaliar diferentes variáveis e locais. A análise multivariada refere-se a todos os métodos estatísticos que avaliam, simultaneamente, múltiplas medidas sobre um objeto de investigação (HAIR et al., 2009).

A vantagem da análise multivariada é a extração da maior quantidade de informações correlatas entre duas ou mais variáveis de forma simultânea, através de análises de componentes principais, a análise fatorial, a análise de correlações, a análise de agrupamentos de discriminantes e de correspondência correlação (KNUPP, 2007).

O grande número de variáveis originais pode ser condensado em um conjunto menor de variáveis estatísticas, com perda mínima de informação, através da Análise de Componentes Principais (ACP) (HAIR et al., 2009). De acordo com os autores, as variáveis são transformadas em componente ou fatores, e estes arranjados em uma ordem de importância decrescente, tornando mais fácil o entendimento dos dados.

Por outro lado Reinman e Filzmoser (1999) em estudo sobre as análises multivariadas e a aplicação para estudos ambientais de grandes áreas afirmam que a distribuição normal dos dados deve ser observada criteriosamente e que nem sempre é possível utilizar análises multivariadas para dados ambientais.

2.1.3 Uso do solo no entorno de reservatórios nas bacias hidrográficas

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 302/2002 exige um Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial, assegurando a função ambiental das Áreas de Preservação Permanente (APP) e seu entorno. Este instrumento legal é de relevante interesse ambiental para a redução dos impactos causados nos recursos hídricos, no solo e na biodiversidade, minimizando os riscos ao bem-estar das populações humanas residentes na área.

Segundo Sobral e Carvalho (2006), em pesquisas realizadas nas regiões localizadas próximas ao reservatório de Itaparica constataram que a prática de irrigação inadequada, principalmente do manejo impróprio com excessos de irrigação elevando o lençol freático em alguns lotes de terra, tem ocasionado alguns efeitos da umidade elevada no

solo e salinização do mesmo. A condição de umidade excessiva ou de excesso de sais é condicionante à relocação dos lotes influenciando nas propriedades do solo e agindo diretamente na produtividade dos perímetros irrigados.

No semiárido, o excesso de água em sistemas de irrigação com drenagem deficiente, ou irrigações deficientes que não lavam o excesso de sal no solo, pode causar a salinização e a degradação da qualidade do solo, constituindo numa das principais causas do insucesso da irrigação (SOBRAL et al., 2007)

Os múltiplos usos dos reservatórios no semiárido podem ser uma boa alternativa para o incremento da produção de diversos setores econômicos da região do semiárido, porém é preciso atenção especial a estes reservatórios, estabelecendo prioridades de uso e medidas de proteção para que seu aproveitamento seja sustentável. Como exemplo uso dos reservatórios para a implementação de tanques de aquicultura próximo das margens com utilização de ração na alimentação das espécies cultivadas, é uma prática que vem sendo avaliada criticamente por conta do alto grau de introdução de nutrientes nos reservatórios colocando outros usos prioritários deste em risco (GUNKEL et al., 2013), por medida de proteção este uso é banido de muitos países, como a exemplo a Alemanha em seus reservatórios de abastecimento (CARVALHO, 2009).

Outro fator de degradação das águas de reservatórios é o escoamento natural de sistemas de drenagem superficial, pois, a água ao passar superficialmente pelo solo adiciona e pode carrear uma grande quantidade de sais, pesticidas, metais pesados e sedimentos. Este fator torna a presença de vegetação nas áreas marginais aos reservatórios de extrema importância, além de evitar a erosão e por consequência o assoreamento do reservatório. A retirada da cobertura vegetal para a agricultura intensiva e a concentração da precipitação em curtos períodos, são fatores que aumentam o escoamento superficial e grandes perdas de solo e esta instabilidade ambiental deve ser levada em conta para evitar inclusive, processos de desertificação (SOBRAL; CARVALHO, 2006).

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*. Teixeira et al., (1993), descreveram uma forte evidência de correlação entre a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Itaparica e a intoxicação de 200 pessoas pelo consumo de água desse reservatório, entre março e abril de 1988. Sendo bastante acentuado o processo de eutrofização que ocorre nas baías e em áreas rasas do reservatório, provocado por efluentes aquosos de projetos agrícolas, esgoto de origem doméstica, entre outros.

Deve-se destacar que o risco de eutrofização em zonas tropicais é muito mais elevado do que nas zonas temperadas. Isto ocorre devido à elevada intensidade da radiação solar, com absorção de calor durante todo o ano, perda do nitrogênio por intensificação da desnitrificação devido às altas temperaturas (28°C), aumento das cianobactérias devido à limitação do nitrogênio, baixo nível de concentração de oxigênio na água devido à alta temperatura e a alteração nos limites das zonas inundáveis (CARVALHO, 2009). Assim como a alta taxa de evaporação fazendo com que os nutrientes fiquem concentrados a medida que os reservatórios diminuem de nível. Para amenizar este problema além das medidas de proteção das águas é possível abastecer artificialmente estes reservatórios com águas de bacias próximas por intermédio de canais e adutoras.

2.1.4 Análise integrada da qualidade de água

A análise integrada da qualidade da água de reservatórios e trechos de rios é uma ferramenta interdisciplinar para identificação, análise e avaliação dos relevantes processos naturais e humanos, suas interações com atual e futuro estado da qualidade da água e do solo visando o suporte a implementação de políticas públicas para garantir os múltiplos usos deste importante recurso natural.

A gestão de um recurso natural ou econômico consiste na articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais, econômicos ou socioculturais interativos, objetivando compatibilizar o uso, o controle e a proteção deste recurso, disciplinando, portanto, as respectivas ações antrópicas de acordo com a política estabelecida para o mesmo, de modo a se atingir o desenvolvimento sustentável. Os autores Silva e Pruski (2000) listam os princípios básicos da gestão integrada de bacias hidrográficas como:

- Conhecimento do ambiente reinante na bacia;
- Planejamento das intervenções na bacia considerando o uso dos solos;

- Participação dos usuários;
- Implementação de mecanismos de financiamento das intervenções baseadas no princípio usuário pagador.

Estes princípios norteadores são utilizados pela sociedade civil organizada e pelo poder público, envolvendo planejamento e entendimento de ambas as partes sobre o que é o meio alvo e como utilizá-lo de maneira sustentável, ou seja, preservando sua quantidade e qualidade pelo tempo em que este recurso for utilizado. Os recursos podem ser as águas e os solos, sendo o meio alvo a bacia hidrográfica como um todo.

O gerenciamento dos reservatórios é uma tarefa complexa, que demanda equipes interdisciplinares com competência para minimizar impactos, promover a otimização de usos múltiplos e gerenciar efetivamente o ecossistema artificial e sua evolução como bacia hidrográfica (MELO, 2011).

Para a gestão da qualidade da água de reservatórios e do uso do solo no seu entorno, é importante o conhecimento das estruturas e funções dos ecossistemas aquáticos e terrestres. O estudo dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água revela a importância dessas estruturas, necessárias à compreensão das funções dos ecossistemas, ferramentas essenciais para fazer a manutenção dos ambientes aquáticos evitando, dentre outros problemas, a eutrofização dos reservatórios. O estudo do uso do solo é relevante para identificar alternativas de conservação e uso racional deste importante recurso natural. Esta avaliação integrada se dá a partir da bacia hidrográfica, como unidade de planejamento e gestão ambiental.

O tema da gestão integrada dos recursos hídricos também sofre influência dos modelos de uso e ocupação do solo, das políticas públicas de saneamento ambiental, das ações voltadas ao gerenciamento costeiro e das áreas úmidas, das mudanças climáticas e da exploração dos recursos pesqueiros e energéticos. O avanço da tecnologia tem feito melhorias significativas nas ferramentas para avaliação ambiental integrada, alguns dos mais notáveis são os realizados no Sistema de Informações Geográficas. Esta ferramenta possibilita o estudo das áreas da bacia ou sub-bacias hidrográficas identificando os tipos de cobertura do solo (TUCCI, 2008).

A compreensão da interação do uso e ocupação do solo e as bacias de drenagem é de fundamental importância a compreensão da dinâmica dos reservatórios (MORAIS et al.,

2009; NA et al., 2015). As estratégias de gestão e avaliação integrada destes ambientes devem ser aprofundadas no planejamento de aquisição de dados e nas análises das características tanto das águas como do uso e ocupação do solo pelas populações que lá habitam e as melhores medidas de gestão para a proteção destas águas e dos meios de subsistência dos povoados (VOLK et al., 2009).

A compreensão dos processos existentes corpos hídricos, suas características físico-químicas e biológicas, assim como, os usos de suas águas e a ocupação do solo às margens formam uma matriz de dados correlatos que quando bem monitorados podem fornecer ferramentas de análises de grande importância para a manutenção da qualidade de água.

2.2 PROJETOS DE INTEGRAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Ao longo da história das civilizações os recursos hídricos sempre foram preconizados. Sua escassez torna inviável grande parte dos sistemas produtivos comprometendo o sucesso destas civilizações. Com a falta ou o risco de falta deste recurso, cada vez mais foram implementados projetos para retirada de água de mananciais mais distantes ou que possuam uma melhor qualidade de água (DIAMOND, 2006).

Projetos onde as águas de uma bacia hidrográfica são transferidas para outras são denominados de integração ou transposição de bacias hidrográficas e, a grosso modo, servem para aumentar a quantidade de recursos na bacia receptora ou a sua qualidade através da diluição das águas. Nestes projetos o planejamento e gestão de diversos fatores são apontados como características primordiais para a determinação de seu sucesso. Medidas como a base legal e institucional, a participação popular, fatores econômicos e os impactos ambientais que este projeto pode causar desde sua concepção até o funcionamento (DE ANDRADE et al., 2011).

2.2.1 Experiências Internacionais

A transposição de águas é relatada por todo mundo, conforme exposto a seguir:

- Rio Colorado-BigThompson, Estados Unidos. Possuía um conjunto de 12 reservatórios interligados por 56 km de túneis e 153 km de canais a partir do Rio Colorado. Foi concluído em 1959, após 21 anos do início das obras. Seu custo foi em torno de 1,4 bilhões de dólares e a obra foi marcada por problemas técnicos ambientais, risco à vida de certas espécies de aves e peixes locais.
- Rio Tejo-Segura, Espanha. A transferência de água da bacia do Rio Tejo, localizada na vertente do Oceano Atlântico da península Ibérica, para a bacia do Rio Segura, região seca situada no sudeste da Espanha com tempo total de 40 anos (1933 a 1973). Estimativa de custo de US\$ 5,3 bilhões, apresentou problemas de salinização do solo e devido a uma demanda ainda maior de água, novos projetos de transposição foram necessários.
- Rio Snowy, Austrália. O projeto interligou 16 reservatórios e sete usinas hidroelétricas, totalizando 145 km de túneis e 80 km de canais de transposição. Foi concluído no ano de 1974, após 25 anos de obras, com custo de US\$ 830 milhões, e marcado por conflitos entre as regiões doadora e receptora, além do acometimento da salinização.
- Projeto Especial Chavimochic, Peru. Contempla túneis, canais abertos, adutoras enterradas e sifões trazendo água para regiões mais elevadas dos rios localizados nas proximidades da costa norte do Peru. Concluído em 1996, 10 anos depois do início das obras, com um custo estimado total de US\$ 2,15 bilhões (AZEVEDO et al., 2005).
- Projeto Hídrico das Montanhas do Lesotho e África do Sul. Formado por um conjunto de quatro hidroelétricas, adutoras e túneis localizados na fronteira entre os dois países, foi realizado em 19 anos tendo sua conclusão em 2002. Esta obra tinha a estimativa de custo US\$ 4 bilhões, metade do valor original de projeto original que previa a construção de mais hidroelétricas.
- Projeto de Transferência de Água de Wanjiazhai, China. Conjunto de adutoras na região noroeste da Província de Shanxi, com três eixos distintos com 44 quilômetros, 100 quilômetros e 167 quilômetros, extraíndo água do Rio Amarelo-Huang He, com prazo de conclusão: 10 anos (2001 a 2011). Estimativa de custo: US\$ 1,5 bilhão.
- Projeto do canal El-Salam, Egito. Construção iniciada em 1989 e ainda não concluída, possui em projeto uma adutora de 150 km que transportará água do Rio Nilo para o delta do rio para o Sinai. Grandes impactos negativos inerentes sobre esta

- obra são o deslocamento de populações milenares, como os Beduínos do Sinai, conflitos de uso da água do Rio Nilo e a destruição de sítios arqueológicos. Custo estimado total de US\$2,8 bilhões (HUSSEIN, 2014).
- Rio Volga, Ob e Irtysh. Governos na zona da Ásia Central estudam utilizar extração de água sem planejamento no mar de Aral para tentar recuperar uma zona desertificada. Os custos estimados são de US\$ 8 bilhões e US\$ 22 milhões. Prazo de conclusão projetado para ser concluído em 20 anos com um custo estimado (em 2014) de US\$ 30 bilhões. Ainda em fase de planejamento (MI, 2015).

Em comum a todos os projetos de transposição estão o alto custo de cada iniciativa, juntamente com longo prazo de conclusão e os impactos ambientais provenientes da ação. O custo e o longo prazo, são na maior parte dos casos, devido a baixa tecnologia disponível na época, assim como técnicas de estudos de solo e água. Os impactos ambientais não eram assunto recorrente em projetos anteriores aos anos 80, a evolução das discussões e do reconhecimento da gravidade das ações que provoquem impactos significativos ambientais, e as consequências na qualidade de vida e na sustentabilidade dos meios de produção tem sido essencial para o planejamento e gestão de projetos que apresentam capacidade de mudança ambiental drástica, como no caso das transposições de bacias.

2.2.2 Experiências no Brasil

No Brasil o primeiro registro de projeto com integração de bacias ocorreu em 1903 como relatam Andrade et al., (2011). Em um projeto que visava dar suporte para a expansão da cidade do Rio de Janeiro, a então capital do Brasil e com a finalidade de prover energia elétrica alocando 180m³/s do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu. O autor relata outro importante projeto no Sistema Cantareira, também no Sudeste: construir 27Km de tubulações para abastecimento da cidade de São Paulo.

Os projetos têm em comum a demanda crescente por recursos hídricos das cidades contempladas e o planejamento das possibilidades de expansão. O caso do sistema Cantareira pode exemplificar como um planejamento e gestão insuficientes podem não conseguir evitar danos a população e seus sistemas produtivos. Com a crescente

demanda hídrica e com a irregularidade de chuvas na região Sudeste, medidas de contenção e racionamento foram adotadas nos anos de 2014 e 2015: a popularmente conhecida crise hídrica. Jacobi et al., (2015), apontam que esta crise tem sido anunciada desde a década de 1970, e, sobretudo, por problemas de gestão governamental a crise hídrica agravou impactos socioambientais e econômicos ao mesmo tempo que os conflito pelo uso da água.

Também em São Paulo é importante destacar a transposição do Rio Piracicaba, transpondo até 31m³/s para a Bacia do Alto Tiête, visando a segurança hídrica da região metropolitana da cidade de São Paulo (ANA, 2014). Para este processo de transposição é importante destacar a baixa qualidade de água do Rio Piracicaba, impróprias para o consumo humano e animal em grande parte do seu curso (LIMA FILHO, 2010).

2.2.3 Projeto de Integração do Rio São Francisco

A seca na região Nordeste foi o grande motivador, ainda no início do século IX, de se estudar o transporte das águas do São Francisco para parte da região através do Rio Jaguaribe. Santana Filho (2007) conclui como principal causa para o abandono da ideia da transposição das águas na época (1860) a falta de tecnologia para a consolidação.

Por iniciativa de diversos setores e liderada pelo Ministério da Integração (MI) no início dos anos 2000, foram elaborados os Estudos de Impacto Ambiental seguindo o processo de licenciamento do projeto com a realização de audiências públicas, questionamentos técnicos e ações civis que culminaram inviabilizando o início do projeto.

Chamado de Rio da Integração Nacional, o Rio São Francisco é um rio extenso (2.700 km), que tem sua nascente na região sudeste na Serra da Canastra (MG) e deságua na região nordeste no oceano atlântico, sendo seu leito inteiramente no território nacional com cerca de 83% de sua bacia nos estados de Minas Gerais e Bahia, 16% em Pernambuco, Sergipe e Alagoas, e 1% em Goiás e Distrito Federal.

O Projeto de Integração de Bacias do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, ou simplesmente chamado de Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) é dividido entre 2 eixos de captação (Figura 1). O Eixo Norte

atendendo a região central do Nordeste e tendo os reservatórios receptores no Ceará e Rio Grande do Norte, abastecendo inclusive a região de Fortaleza. O Eixo Leste é direcionado ao litoral leste do Nordeste, mas que não terá grande impacto na região litorânea. No projeto inicial é proposta a captação contínua de 26 m³/s, que equivale a menos de 1,5% do que deságua no oceano, vazão esta que se destinará ao consumo humano de aproximadamente 12 milhões de pessoas.

Figura1- Eixo Norte (A) e Eixo Leste (B), do Projeto de Integração de Bacias do Rio São Francisco.



Fonte: Modificado de Ministério da Integração (2004).

As captações de água serão realizadas a montante do reservatório de Itaparica (Eixo Norte) e na margem do próprio reservatório para o Eixo Leste, fazendo com que este reservatório e a gestão do volume e qualidade de suas águas se tornem, não só estratégico para o setor elétrico, como também aumente significativamente sua

importância para abastecimento humano. Sendo afetado diretamente pela gestão da bacia e a gestão do reservatório de Sobradinho que é o maior reservatório do Rio São Francisco e tem sua vazão regulada pela ONS/Chesf (MI, 2004).

Em trabalho realizado por Brito (2013) é ressaltado, porém que a crise hídrica do semiárido não é tão alarmante como demonstrada pelo PISF para o suporte a vida humana, mas sim para abastecer grandes regiões metropolitanas o que traria benefícios de desenvolvimento e mudanças no meio de produção, a exemplo do Eixo Leste onde o autor sugere que o principal viés para a integração das águas é o abastecimento de Campina Grande (PB).

Dadas as dimensões do projeto e sua importância a sua gestão necessita de atenção para medidas adotadas nos municípios, estados e entidades da federação. A estrutura nacional para a gestão de recursos hídricos possui hierarquização, nacionalmente a ANA é a agência que detém maior autoridade sobre esta questão. Porém, este tema requer uma visão ampla passando por setores de planejamento e ambientais. A autoridade exercida pela ANA pode ser outorgada aos estados onde existam órgãos com corpo técnico capacitado para a gestão de recursos hídricos.

Na esfera não governamental o ator de maior importância para a gestão de recursos hídricos são os comitês de bacia, que como um órgão colegiado, possuem atribuições de caráter normativo, consultivo e deliberativo, integrando o SIGRH (BRASIL, 1988). O comitê de Bacia do Rio São Francisco (CBHSF) é um comitê atuante e que demonstrou ser um importante ator nas fases iniciais do PISF.

Por meio do Decreto presidencial nº 8.207, de março de 2014, integrou o CBHSF no Conselho Gestor do Sistema de Gestão do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (CGSGIB), juntamente com os Ministérios: da Fazenda, de Minas e Energia, do Planejamento Orçamento e Gestão, Meio Ambiente e Casa Civil (BRASIL, 2014). Além de representações dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. O CGSGIB tem como função aconselhar a gestão de execução da obra de integração de bacias.

A seguir serão apresentadas as principais instituições pesquisadas, relacionadas à gestão da qualidade da água da federação.

- A Agência Nacional de Águas (ANA) tem como missão implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso a água, promovendo seu uso sustentável em benefício das atuais e futuras gerações.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (IBAMA) é o órgão responsável pelas ações das políticas nacionais de meio ambiente, referentes às atribuições federais, relativas ao licenciamento ambiental, ao controle da qualidade ambiental, à autorização de uso dos recursos naturais e a fiscalização, monitoramento e controle ambiental.
- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) tem sua função central destinada a gestão dos reservatórios no semiárido.
- Ministério da Integração (MI) tem como atuação a proteção e defesa civil, o desenvolvimento regional, a gestão de fundos e incentivos fiscais e demais programas de infraestrutura hídrica com grande abrangência.
- Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e ONS que atuam na gestão das hidroelétricas e reservatórios do sistema do Rio São Francisco. com exceção da Usina hidroelétrica de Três Marias cuja gestão é responsabilidade da Companhia Hidroelétrica de Minas Gerais (CEMIG).
- Comitês de Bacia (São Francisco, Apodi, Piranhas, Terra Nova, Paraíba, Pajeú, Brígida, Jaguaribe e Moxotó). Os comitês de Bacias Hidrográficas são organismos colegiados com composição diversificada com participação da sociedade civil e poderes públicos de setores usuários. Com competência para administrar conflitos e aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia, entre outros.
- Nos estados são apresentados no (Quadro 1)

Quadro3 - Principais instituições relacionadas à gestão da qualidade da água dos estados.

Estado	Órgão governamental
Pernambuco	Agência Pernambucana de águas e clima (APAC) Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH)
Paraíba	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA) Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)
Rio Grande do Norte	Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos (SERHID) Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA) Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN)
Ceará	Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH-CE) Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE)

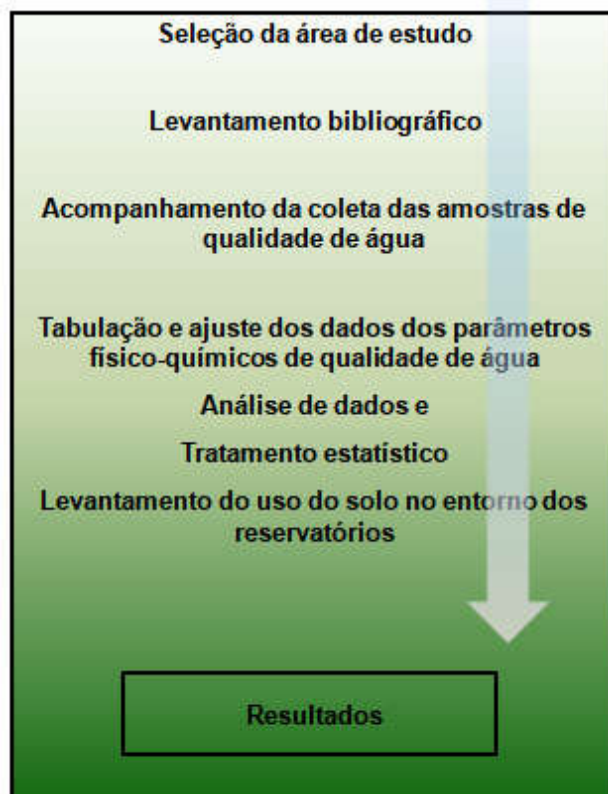
Fonte: O autor.

A esfera de gestão estadual possui grande importância pois exerce poder fiscalizador nos municípios assim como são as unidades gestoras de Programas, Planos e Projetos das unidades. As Companhias de água e esgoto exercem a captação tratamento e distribuição de água potável para as populações e são responsáveis pelo tratamento e despejo das águas de esgoto. As entidades de recursos hídricos são em geral responsáveis pela outorga do uso de água e fiscalização do seu uso e descarte, assim como as agencias ambientais para as atividades potencialmente poluidoras.

3 METODOLOGIA

Este item descreve os procedimentos metodológicos que melhor se enquadraram a pesquisa, desde o levantamento bibliográfico realizado em todas as etapas da pesquisa até a concepção das considerações finais da tese, conforme o organograma (Figura 2).

Figura 2- Organização em fluxo da metodologia de trabalho.



Fonte: O autor, 2016

3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento das referências foi realizado utilizando documentos institucionais do Ministério da Integração Nacional, livros e artigos de acesso pelo sistema da CAPES, assim como da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações. Foram realizadas buscas de documentos presentes sobre a qualidade da água e uso dos reservatórios e saneamento nas agências estaduais ligadas ao meio ambiente, águas e saneamento.

Os documentos principais de onde foram baseadas as informações contidas neste trabalho foram os relatórios de monitoramento de qualidade de água do PISF, parte resultante do Plano Básico Ambiental (PBA-22), realizado como condicionante do IBAMA pelo Ministério da Integração Nacional (MI) de 2009 a 2014, que contém o total de 11 volumes.

Foram realizadas pesquisas nas bases de dados da Agência Nacional das Águas (ANA), do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este último contém dados populacionais como densidade e saneamento básico e o mapeamento dos recursos hídricos e ambientais. Os recursos disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), com dados de 2014, foram utilizados para obter dados sobre os saneamento e sistemas existentes nas cidades.

Esta pesquisa contou com o apoio da Universidade de Évora, onde no Laboratório da Água pôde ser feita extensa pesquisa acerca dos parâmetros de qualidade de água e suas implicações, no seu acervo de teses e livros, assim como no sistema *on line* de buscas das Universidades Portuguesas.

3.2 ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE DE ÁGUA

As coletas foram realizadas pela CMT-Engenharia, empresa contratada pelo ministério da integração para cumprir o monitoramento dos corpos hídricos do Projeto de integração do São Francisco como parte do Plano Básico Ambiental do empreendimento. Este monitoramento é parte das exigências do IBAMA para a realização do empreendimento.

Os parâmetros físico-químicos da água foram analisados em 15 campanhas de coleta distribuídas de 2009 a 2014 (Tabela 1)

Tabela 1- Período das campanhas de coleta de amostras físico-químicas do monitoramento do projeto de integração do Rio São Francisco de 2009 a 2013.

Campanha	Data	Ano	Clima
1	março a abril	2009	chuvoso
2	julho a agosto	2009	seco
3	fevereiro a março	2010	chuvoso
4	maio a junho	2010	seco
5	outubro a novembro	2010	seco
6	fevereiro a março	2011	chuvoso
7	maio a julho	2011	seco
8	agosto a setembro	2011	seco
9	outubro a novembro	2011	seco
10	janeiro a março	2012	chuvoso
11	abril a maio	2012	chuvoso
12	julho a agosto	2012	seco
13	novembro	2012	seco
14	janeiro a março	2013	chuvoso
15	setembro a outubro	2013	seco

Fonte: O autor.

As coletas realizadas nos rios (ambiente lótico) foram retiradas unicamente na superfície da água, nos reservatórios (ambiente lêntico) as amostras foram coletadas na superfície e no fundo, em profundidades desde que houvesse 5 m ou mais. Todos os pontos foram georreferenciados no momento da coleta.

Para as coletas de superfície a água foi coletada em profundidades de aproximadamente 30 cm, utilizando-se frascos plásticos ou de vidro, de acordo com a análise demandada. Para as coletas de fundo, foi utilizada a garrafa de coleta tipo *Van Dorn*. Os frascos foram previamente lavados com água do local e mergulhados, até 30 cm abaixo da lâmina d'água. As amostras para análises de alguns parâmetros físico-químicos foram preservadas até obtenção de $\text{pH} \leq 2$, adicionando-se ácido sulfúrico e ácido nítrico. Nas amostras para análises de clorofila-a e feofitina o preservante adicionado foi o carbonato de magnésio.

As coletas foram realizadas em 54 estações amostrais (Tabela 2) determinadas segundo sua posição no corpo d'água, predominantemente com pontos a montante, centro e jusante, além dos trechos de rio. Esta delimitação visa contemplar um estado generalista da qualidade de água nos reservatórios, e como ela se apresenta em uma distância considerável destes.

Tabela 2 - Lista de pontos de coleta de amostras de qualidade de água do PISF.

Ponto	Local	Latitude	Longitude
Q01	Reservatório de Sobradinho	-09 24' 19,49887"	-40 50' 59,67898"
Q02	Rio Brígida - Foz do rio Brígida	-08 34' 52,23871"	-39 33' 12,53843"
Q03	Rio São Francisco - Captação do Eixo Norte	-08 32' 39,58684"	-39 27' 19,61721"
Q06	Açude Terra Nova, Eixo da Barragem	-08 13' 44,90072"	-39 22' 24,64847"
Q07	Rio Terra Nova - Jusante do Reservatório	-08 13' 35,65407"	-39 22' 23,36507"
Q13	Açude Atalho – Remanso – CE	-07 39' 21,61021"	-38 56' 54,36939"
Q14	Açude Atalho – Eixo da barragem	-07 38' 25,56269"	-38 53' 34,39079"
Q23	Rio Salgado – Icó – CE	-06 24' 18,36445"	-38 52' 03,63730"
Q24	Açude Orós – CE	-06 13' 00,65019"	-39 06' 25,82105"
Q25	Rio Jaguaribe - Montante da confluência com o rio Salgado	-06 14' 16,18444"	-38 54' 44,32747"
Q26	Açude Castanhão – Centro	-05 30' 36,34836"	-38 27' 08,62745"
Q27	Açude Castanhão – eixo	-05 29' 59,13557"	-38 26' 44,02703"
Q28	Rio Apodi - Montante do remanso do Açude Angicos	-06 21' 12,33386"	-38 11' 40,86189"
Q29	Açude Angicos	-06 21' 16,31303"	-38 16' 31,57432"
Q30	Rio Apodi - Montante do Remanso do Açude Pau dos Ferros	-06 11' 11,76500"	-38 09' 30,56091"
Q31	Açude Pau dos Ferros (Eixo)	-06 08' 49,79020"	-38 11' 37,21463"
Q32	Rio Apodi – município de Pau dos Ferros	-06 05' 51,09211"	-38 12' 49,70347"
Q33	Rio Apodi - Remanso do açude Santa Cruz	-05 45' 03,51741"	-37 48' 43,37844"
Q34	Açude Santa Cruz	-05 45' 37,37077"	-37 48' 07,93910"
Q35	Rio Apodi - Pedra de Abelhas (brejo Apodi)	-05 34' 35,65869"	-37 41' 47,26432"
Q36	Rio Piranhas - Montante do remanso do Açude Eng. Ávidos	-07 06' 16,57042"	-38 29' 26,52046"
Q37	Açude engenheiro Ávidos	-06 59' 10,28450"	-38 27' 10,06999"
Q38	Açude engenheiro Ávidos – Jusante	-06 58' 55,50159"	-38 27' 11,03231"
Q39	Rio Piranhas Remanso do Açude São Gonçalo	-06 52' 14,73097"	-38 21' 25,72412"
Q40	Açude São Gonçalo – Eixo	-06 50' 43,44455"	-38 18' 33,52691"
Q41	Rio Piranhas em São Domingos do Pombal	-06 47' 41,00348"	-37 56' 25,74164"
Q42	Açude Coremas – Mãe d'água (eixo)	-07 06' 32,90976"	-38 00' 31,84777"
Q43	Rio Piancó a montante do Piranhas	-06 43' 49,04529"	-37 48' 12,17552"
Q44	Rio Piranhas na divisa PB/RN	-06 25' 00,56805"	-37 21' 48,47029"
Q45	Rio Piranhas em Oiticica II	-06 11' 56,79952"	-37 07' 46,90657"
Q46	Rio Açu – Remanso	-06 00'58,41019"	-37 00' 31,12526"

Tabela 2-Lista de pontos de coleta de amostras de qualidade de água do PISF(continuação)

Ponto	Local	Latitude	Longitude
Q47	Açude Armando Ribeiro Gonçalves centro	-05 53' 50,63367"	-36 58' 03,92217"
Q48	Açude Armando Ribeiro Gonçalves – eixo	-05 40' 02,57689"	-36 52' 28,67678"
Q49	Açude Chapéu	-07 59' 33,76609"	-39 33' 54,65831"
Q50	Açude Entremontes	-08 13' 42,71948"	-39 53' 41,67989"
Q54	Reservatório Itaparica	-08 49' 19,30774"	-38 24' 15,17944"
Q67	Rio Mulungu a montante do açudePoções	-07 54' 27,07548"	-37 09' 31,54219"
Q68	Açude Poções (eixo)	-07 53' 21,19958"	-36 59' 50,58801"
Q69	Montante do Remanso do Açude Camalaú	-07 52' 15,39056"	-36 53' 11,94487"
Q70	Açude Camalaú	-07 53' 13,76235"	-36 49' 59,12300"
Q71	Rio do Meio em Caraúbas	-07 43' 03,43465"	-36 29' 59,25429"
Q72	Remanso Epitácio Pessoa	-07 31' 04,65834"	-36 18' 33,12235"
Q73	Açude Epitácio Pessoa	-07 29' 13,92651"	-36 08' 24,21558"
Q74	Jusante do Açude Epitácio Pessoa	-07 30' 18,79123"	-36 03' 56,27791"
Q75	Rio Paraíba (Bodocongo)	-07 31' 40,54900"	-35 59' 57,83268"
Q76	Rio Paraíba (Jusante do Acauã)	-07 11' 06,23424"	-35 10' 19,66386"
Q77	Afluentes do Açude Barra do Juá	-08 16' 37,98899"	-38 01' 53,46082"
Q78	Açude Barra do Juá	-08 26' 45,84026"	-38 04' 26,01081"
Q79	Rio Pajeú (Após Riacho do Navio)	-08 38' 21,95800"	-38 34' 47,58257"
Q80	Afluentes do rio Moxotó e do Açude Poço da Cruz	-08 16' 30,19145"	-37 33' 50,88063"
Q81	Açude Poço da Cruz	-08 30' 27,57400"	-37 42' 24,54171"
Q82	Rio Moxotó (Jusante do Poço da Cruz)	-08 30' 35,50353"	-37 42' 20,36196"
Q83	Rio Moxotó (Inajá)	-08 55' 17,03141"	-37 49' 50,42389"
Q84	Reservatório de Itaparica (Nova Petrolândia)	-09 01' 12,17900"	-38 17' 59,00629"
Q85	Rio São Francisco em Orocó – PE	-08 37' 21,59079"	-39 35' 49,50710"
Q86	Rio São Francisco em Ibó – PE	-08 37' 31,64241"	-39 14' 41,79615"

Fonte: Modificado de MI (2014)

As análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos seguiram metodologias descritas em bibliografia técnica (Tabela 3), por laboratórios certificados (Sabinbiotec-Biotecnologia S/A, AgroSafety-Monitoramento Agrícola e SENAC- Petrolina) que forneceram os resultados dos parâmetros físico-químicos e biológicos aferidos.

Tabela 3-Métodos de análise para os parâmetros físico-químicos de campo e de laboratório.

Parâmetros	Unidade	Método
Campo		
Temperatura	°C	
Oxigênio Dissolvido	mg/L O ₂	
pH	-	Sonda multiparamétrica (Horiba, modelo B-213)
Condutividade elétrica	µS/cm	
Salinidade		
Turbidez	UNT	
Laboratório		
Alcalinidade Total	mg/L	Titulação (VOGEL et al.,1992)
Alumínio Dissolvido	mg/L	Colorimétrico (APHA, 1995)
Cálcio Total	mg/L	Titulação (APHA, 1995)
Carbono Orgânico Total - COT	mg/L	Direto
Cloretos	mg/L	Titulação (APHA, 1995)
Chumbo Total	mg/L	Standard Methods - APHA, 1995
Cádmio Total	mg/L	Standard Methods - APHA, 1995
Clorofila-a e feofitina	µg/L	Espectrofotométrico (GOLTERMAN et al., 1978)
Cobre Dissolvido	mg/L	Colorimétrico (APHA, 1995)
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	mg/L O ₂	Standard Methods - APHA, 1995
Demanda Química de Oxigênio -DQO	mg/L O ₂	Standard Methods - APHA, 1995
Dureza Total	mg/L	Titulação (APHA, 1995)
Fenóis	mg/L	Colorimétrico (APHA, 1995)
Ferro Dissolvido	mg/L	Colorimétrico (APHA, 1995)
Fósforo Total	mg/L	Colorimétrico (APHA, 1995)
Magnésio Total	mg/L	Standard Methods - APHA, 1995
Níquel Total	mg/L	Colorimétrico (APHA, 1995)
Nitrato	mg/L NO ₃	Colorimétrico (RODIER, 1975)
Nitrito	mg/L NO ₂	Colorimétrico (VOGEL et al.,1992)
Nitrogênio Amoniacal	mg/L NH ₃	Colorimétrico (MACKERETH et al.,1978)
Nitrogênio Total	mg/L	Standard Methods - APHA, 1995
Ortofosfato	mg/L P	Standard Methods - APHA, 1995
Potássio Total	mg/L	Fotométrico de chama (APHA, 1995)
Sílica Total	mg/L SiO ₂	Colorimétrico (APHA, 1995)
Sódio Total	mg/L	Fotométrico de chama (APHA, 1995)
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	Gravimetria (APHA, 1995).
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	Gravimetria (APHA, 1995).
Sulfato	mg/L	Turbidimétrico (GOLTERMAN et al., 1978)
Zinco Total	mg/L	Colorimétrico (APHA, 1995)

Fonte: Modificado de MI (2002).

Os resultados foram analisados a cada campanha de coleta e com os valores foi elaborada uma tabela de controle onde os parâmetros que na ocasião apresentavam dados sem confiabilidade ou por apresentarem uma escala superior a medida as amostras eram aferidas novamente ou descartadas das análises.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística cumpre um importante papel ao evidenciar matematicamente diferenças e similaridades. As amostras foram tratadas métodos já utilizados em análises ambientais assim como seus procedimentos de pré tratamento de dados.

3.3.1 Tratamento dos dados de monitoramento

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e biológicos das águas coletadas nos pontos amostrais foram fornecidos pelos laboratórios e, plotados em tabelas, verificados e analisados estatisticamente para verificação da similaridade/diversificação entre os pontos amostrais presentes entre o Eixo Leste, o Eixo Norte e Reservatório de Itaparica. Também foi realizada a análise dos pontos quanto a sua divisão entre as oito bacias hidrográficas e relacionados os parâmetros de qualidade de água que exercem maior influência na diferenciação destas. A matriz geral de dados foi alinhada com aos parâmetros físico-químicos na horizontal e a especificação do ponto de amostragem na vertical, contendo sete colunas de identificação e 34 de resultados dos parâmetros físico-químicos.

Após o tratamento preliminar da tabela geral de dados foi realizado o teste de normalidade (Shapiro-Wilk, 5%), considerando que as campanhas de amostragem para cada grupo de bacias não demonstraram uma distribuição normal em quase a totalidade dos dados, como é esperado para dados de qualidade de água (SINGH et al., 2004; WANG et al., 2006; FRANÇA et al., 2009; BU et al., 2010; ZHANG et al., 2011; MELO et al., 2012).

A próxima etapa foi a remoção dos *outliers*, que são os pontos que estão isolados e fora do desvio padrão, onde em cada um dos 35 parâmetros foram organizados em colunas e através da ferramenta gráfica em *box and whiskers* do software SPSS (versão 21 IBM) e retirados da tabela aqueles parâmetros que apresentavam-se como outliers e não apresentavam explicação de seu valor (alto ou baixo) por outros parâmetros com variação reconhecidamente semelhante. Esta medida retira possíveis interferências no tratamento estatístico causadas por anormalidades das amostras, tanto por falha na coleta ou análise laboratorial, como por uma flutuação anômala do ambiente. Os *outliers* foram retirados das análises pontualmente, ao contrário dos dados que se apresentaram como "Não Detectado ou Abaixo do Limite de Detecção", que foram substituídos pelo valor metade do limite de detecção do método de

análise. Para verificar sua completa exclusão foi elaborada a expressão gráfica *boxplot* para cada parâmetro físico-químico.

De acordo com Reimann (1999), as técnicas de análise multivariada, como Análise Discriminante (AD) e Análises de Componentes Principais (ACP), podem ser utilizadas quando os dados apresentam variação diferente de normal, apesar de não terem sido projetadas para dados que não apresentam normalidade. O autor ressalta que dados ambientais, em geral, apresentam distribuição diferente de normal, porém são comumente utilizadas estas análises estatísticas. O autor elucida que a retirada dos *outliers* é essencial para uma análise próxima da realidade, mesmo assim os métodos devem ser utilizados criteriosamente.

As bacias foram analisadas uma a uma e os dados de testes de KMO com alguma variação ($>0,5$) e com significância $<0,0001$, para o teste de esfericidade de Bartlett, demonstrando que as bacias quando analisadas separadamente possuem tamanho apropriado de amostragem. A descrição das Análise Discriminante (AD) e Análises de Componentes Principais (ACP) são apresentadas a seguir.

3.3.2 Análise Discriminante Múltipla (ADM)

A análise discriminante múltipla é uma técnica estatística multivariada, onde as amostras são projetadas em um espaço dimensional reduzido, mas representativo do universo. São geradas funções lineares que são utilizadas como vetor de referência cobrindo as dimensões do espaço inicial, permitindo a separação e mapeamento (mapa territorial) dos grupos.

Os testes foram realizados utilizando o *software* SPSS (2.1 IBM) no conjunto de pontos que se encontram distribuídos entre os oito grupos representativos das bacias e o reservatório de Itaparica. O teste inicialmente utilizou os 35 parâmetros de amostragem relacionados no item 3.2.1 e, posteriormente os parâmetros não mineralógicos. As análises dos parâmetros de qualidade de água foram realizadas para detectar diferenças e similaridades entre os Eixos Norte e Leste, bacias hidrográficas, e corpos hídricos (reservatórios e trechos de rio).

3.3.3 Análise de Componentes Principais (ACP)

A Análise de Componentes Principais realiza a transformação de um conjunto de variáveis iniciais correlacionadas entre si em um segundo conjunto de variáveis correlacionadas,

chamadas de variáveis ortogonais ou componentes principais. É indicada quando não há uma teoria preliminar e quando estão sendo estabelecidas soluções iniciais para determinado problema.

Para a ACP foi utilizada a ferramenta *Redução de dimensões* do IBM-SPSS.21. Foram utilizados os resultados das análises físico-químicas, e esta abordagem foi realizada afim de determinar quais são os parâmetros determinantes para as bacias do projeto de integração.

No procedimento, primeiramente é gerada uma matriz de correção para eliminação de inconformidade de escalas e unidades diferenciadas das variáveis. A eficiência desta descrição de dados por meio das componentes vai depender diretamente da percentagem de variação total de que cada componente contém. Assim é gerada uma matriz onde podem ser categorizados os parâmetros físico-químicos, segundo cada função da ACP. No procedimento foi utilizado o método de rotação de Oblimin com normalização, a medida de kaiser-Mayer-Olkin de adequação de amostral para a análise foi superior a 0,5 (KMO=0,5), teste de esfericidade de Bartlett (qui-quadrado < 0.001) o que indica que as correlações entre os itens são suficientes para realizar a análise.

A ACP foi utilizada para diferenciar as bacias no Eixo Norte: Piranhas, Brígida, Jaguaribe, Apodi e Terra Nova; no Eixo Leste: Paraíba, Moxotó e Pajeú; e dos pontos na calha principal do rio São Francisco, aqui denominados reservatório Itaparica. As análises foram consideradas em duas etapas. A primeira utilizou todos os parâmetros físico-químicos, e a segunda foram excluídos os parâmetros ligados à mineralogia da água. Nesta fase foram selecionados os parâmetros que possam estar ligados a fatores de interferência antropogênica (turbidez, sulfatos, DBO, DQO, fósforo, alcalinidade, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, COT, clorofila a e feofitina). Esta análise visa esclarecer se os parâmetros nas análises estatísticas isoladamente dos parâmetros mineralógicos terão o mesmo comportamento de agrupamento dos reservatórios.

3.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO -

O cálculo do Índice de Estado Trófico(IET) das amostras de água foi realizado em seis reservatórios, sendo três do Eixo Norte e três do Eixo Leste. A seleção dos mesmos ocorreu de acordo com sua localização, por eixo foram selecionados dois reservatórios de grandes dimensões e um reservatório presente nas proximidades do ponto final dos canais construídos

Eixo Leste

- Poço da Cruz/PE (açude público Francisco Sabóia). Localizado na Bacia Hidrográfica do rio Moxotó. Pontos Q80, Q81 e Q82.
- Poções/PB. Localizado na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. Pontos Q67, Q68 e Q69.
- Epitácio Pessoa/PB (Boqueirão). Localizado na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. Pontos Q72, Q73 e Q74

Para o cálculo do IET foi utilizada a metodologia proposta por Lamparelli (2004) a partir de adaptação dos índices de eutrofização propostos pela CETESB. Nestes índices é avaliado o estado de um corpo hídrico segundo as quantidades de clorofila-a e fósforo total ou ortofosfato. O autor adaptou a metodologia para estudos de reservatórios no estado de São Paulo, sendo seus índices bastante aceitos, tanto pela comunidade científica como pelas empresas de gerenciamento de recursos hídricos. Esta metodologia utiliza a expressão:

$$\begin{aligned} \text{IET (PT)} &= 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT}) / \ln 2)) \\ \text{IET (CL)} &= 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) \\ \text{IET} &= [\text{IET (PT)} + \text{IET (C)}] / 2, \end{aligned}$$

onde: PT = fósforo total ($\mu\text{g/L}$), CL= clorofila total ($\mu\text{g/L}$) e $\ln$ =logaritmo natural.

Os resultados permitiram a classificação dos pontos em seis categorias (Tabela 4)

Tabela 4: Categorias tróficas definidas por Lamparelli (2004).

Estado trófico	IET	IET (PT)	IET (Cl-a)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} < 47$	$P \leq 8$	$\text{Cl} \leq 1,17$
Oligotróficos	$47 < \text{IET} \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < \text{Cl} \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < \text{Cl} \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < \text{Cl} \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < \text{Cl} \leq 69,05$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$233 < P$	$69,05 < \text{Cl}$

Fonte: Lamparelli (2004)

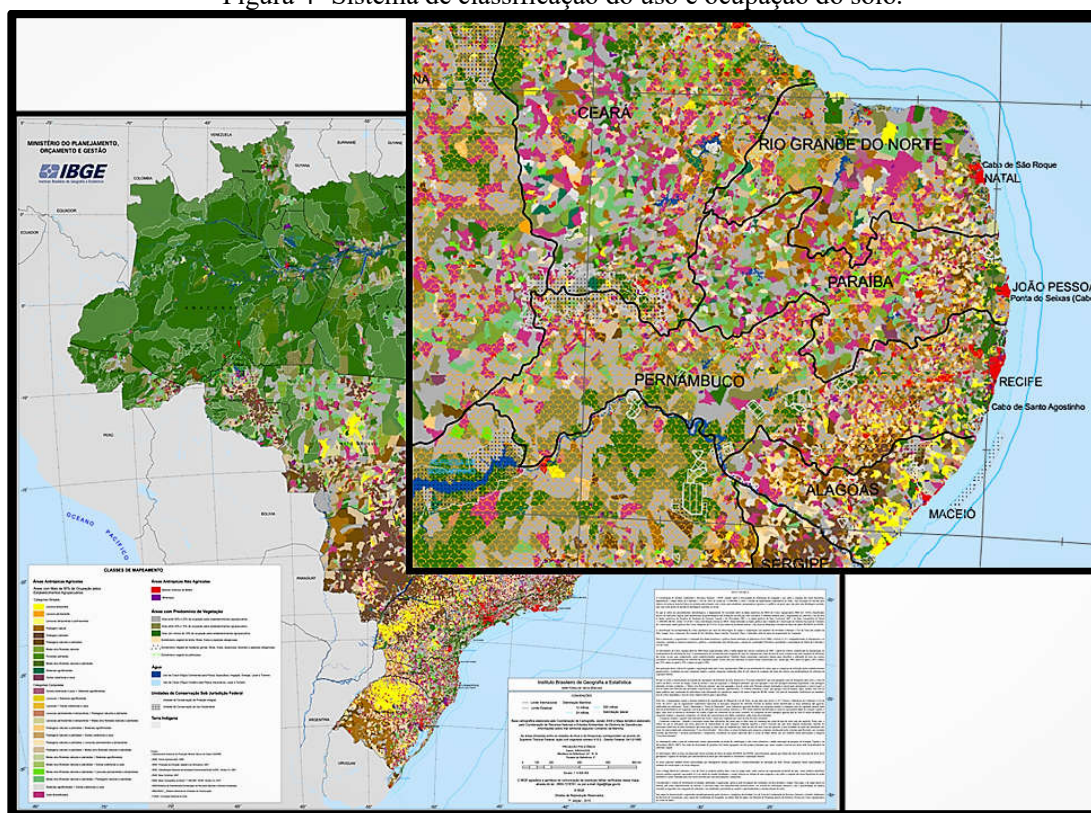
O Índice de Estado Trófico foi a metodologia de classificação do estado da água que melhor se adequou as amostras e foi utilizado em uma análise conjunta do uso do solo às margens destes seis reservatórios, assim, analisando as possíveis influências da cobertura de usos do solo em conjunto com o estado trófico das águas dos reservatórios.

3.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO

As pressões antrópicas foram analisadas em função do uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios utilizando dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que

apresentam o mapeamento completo chamado Mapa Mural de cobertura e Uso da Terra com escala de 1:5.000.000 como exemplificado na Figura 4.

Figura 4- Sistema de classificação do uso e ocupação do solo.



Fonte: IBGE (2016)

Para estes reservatórios foram feitas análises do entorno e a descrição de sua vocação segundo dados do IBGE e Ministério de Infraestrutura, compilados na *Geodatabase* da ANA e também fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O material necessário para a elaboração dos mapas específicos disponibilizada no portal de metadados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016). Estes mapas consistem em uma visão abrangente de como os solos nas margens destes reservatórios são utilizados e em qual grau de eutrofização as amostras retiradas destes se apresentam, e assim em modos gerais construindo um parecer da situação destes.

A metodologia utilizada pela ANA para a construção dos modelos regionais de uso do solo teve como base dados numéricos do IBGE- Censo Agropecuário 2006, da Pesquisa da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2007, dados gráficos da Base territorial 2007 e Base Cartográfica do Brasil 1:1000000-BCIM, versão 3.0 (2010); classificados através de expressões lógicas para identificação da predominância das utilizações da terra por setor censitário. Para disponibilizar a base de dados a ANA compatibilizou as formatações e as

extensões, reuniu os arquivos numéricos e gráficos, reprojetoando para o sistema de coordenadas Policônicas e assim lançando a base de dados utilizada neste trabalho.

A apresentação das classes de cobertura de uso agropecuário foi composta a partir da predominância da utilização da terra. A predominância foi reconhecida pela ocupação de mais de cinquenta por cento da área do setor censitário por uma categoria de utilização das terras, ou por suas composições, pelos estabelecimentos agropecuários. Também foram construídas expressões lógicas para classificar a utilização da terra nos setores censitários com predominância de cobertura de vegetação natural (IBGE, 2010).

O mapeamento agrupa áreas de cobertura do solo e uso deste em categorias. Cada uma das categorias demonstra uma característica específica da região, contendo os riscos inerentes aos tipos de uso. Estas áreas não são homogêneas, mas foram categorizadas para um mapeamento nacional, com base nos dados do IBGE e realizado pela ANA, estas categorias são divididas em níveis e seguindo os procedimentos descritos no manual e utilizadas neste trabalho foram demonstrados na Figura 5

Figura 5- Classes de mapeamento do uso do solo para a totalidade do Brasil.



Fonte: IBGE (2016).

Para a composição dos mapas dos seis reservatórios selecionados para análise foram utilizadas as categorias disponíveis de uso da terra disponíveis pela ANA e as imagens de espelhos d'água também disponíveis pela mesma. A superposição destes arquivos e a seleção de uma margem de mil metros no entorno do reservatório, foi colocada em análise para determinar as vocações regionais deste solo e o risco intrínseco para as águas do reservatório

Foi delimitada, como área de influência direta e indireta sobre a qualidade da água dos reservatórios, uma área padronizada para as seis áreas de 1.000 metros a partir da margem do espelho d'água e comparadas em superposição com o mapa de uso do solo construído pela ANA baseado em dados do Censo de 2010 do IBGE, com as categorias padronizadas pelo estudo. Resultando em uma área circundante dos reservatórios onde cada categoria possui uma área total em Km², assim, demonstrando como a área no entorno dos reservatórios é ocupada segundo os usos aferidos pelo IBGE e compilados pela ANA.

As áreas de ocupação agropecuária foram dispostas em regiões e nelas foram categorizadas supervisionadamente como áreas de (menos de 10%), (entre 10% e 25%) e (entre 25% e 50%) de ocupação agropecuário. Esta classificação se refere a taxa de ocupação fornecida pela ANA das áreas agrupadas em um mesmo polígono.

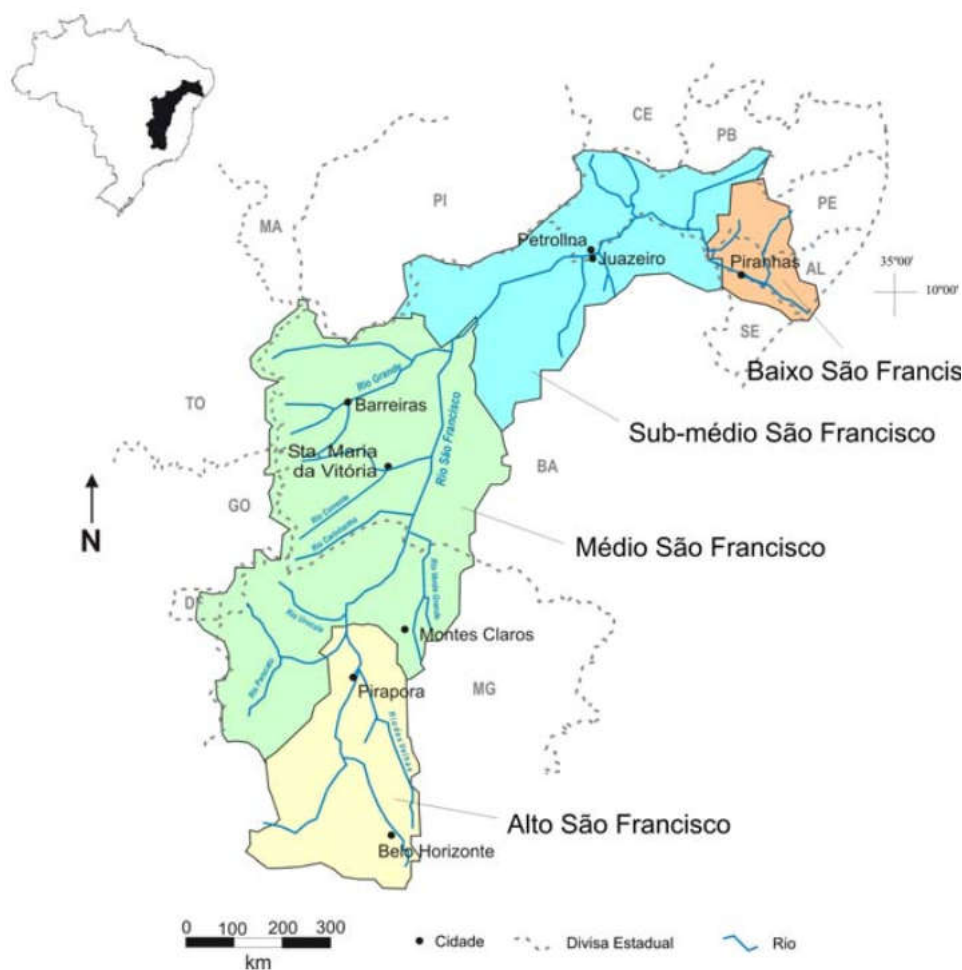
A partir destes mapas, foram analisadas áreas sujeitas ao risco de antropização e o Índice de Estado Trófico (IET) para cada ponto dos reservatórios, bem como observadas em campo e na bibliografia, as possíveis fontes de resíduos e áreas de risco para tal nos reservatórios estudados.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo é apresentada uma descrição da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e das bacias que abrangem o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

A área de estudo contempla os reservatórios receptores de águas do projeto de integração de bacias ao Rio São Francisco, assim como as águas do próprio (Figura6). O monitoramento foi feito em diversos pontos localizados em quase sua maioria a montante, no centro e na vazante dos reservatórios, assim como em trechos de rio onde as águas do rio São Francisco farão contribuição de vazão, segundo as especificações do projeto.

Figura 6- Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco.



Fonte: ANA, 2003.

A área de estudo é bastante heterogênea e está integralmente localizada no semiárido nordestino, abrangendo os estados de Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba e Pernambuco. Retirando água do reservatório de Itaparica, no leito do Rio São Francisco, fazendo a divisa

Tabela 5 - Precipitação pluvial média (mm) por estado, série histórica.

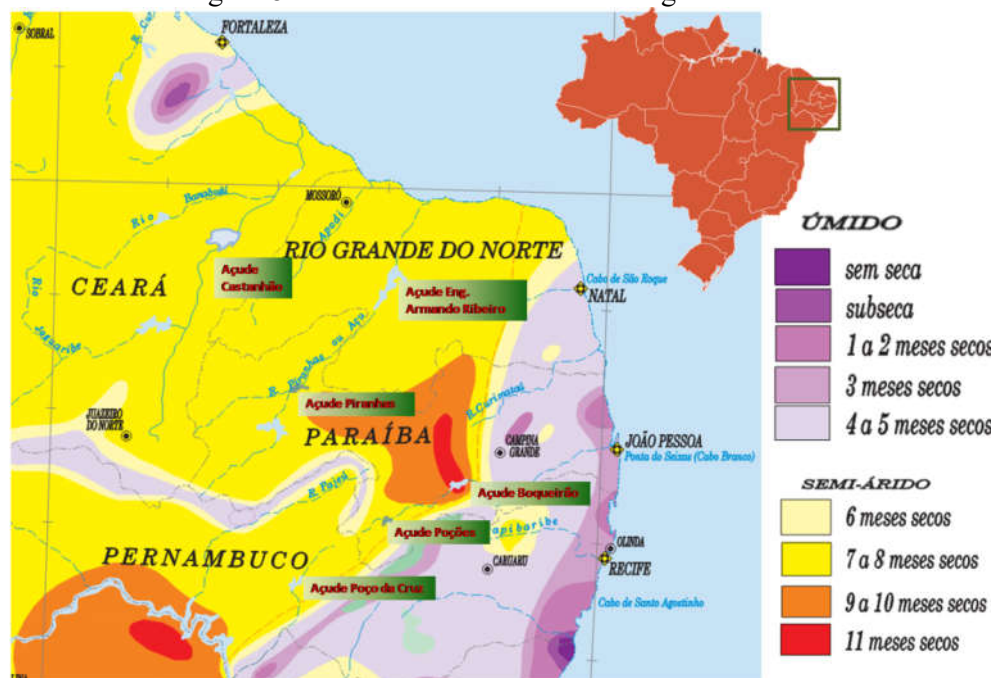
Estado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	Chuvoso	Seco
Maranhão	201	240	309	271	183	101	71	26	21	39	64	110	1632	220	17
Piauí	160	189	226	153	42	8	4	4	11	47	95	104	1042	177	8
Ceará	93	169	276	237	135	52	20	6	6	8	16	38	1056	199	8
R.G.do Norte	48	89	168	169	114	91	70	28	12	6	6	17	817	141	7
Paraíba	52	84	147	154	131	115	100	53	27	13	15	25	917	133	15
Pernambuco	50	73	118	136	108	110	104	56	34	24	23	39	875	102	21
Alagoas	53	55	122	177	223	188	156	101	62	38	29	36	1096	153	37
Sergipe	41	54	87	131	178	164	166	97	61	41	41	41	1066	118	44
Bahia	91	97	137	125	99	83	82	55	46	58	103	107	978	115	41

Fonte: Silva (2011).

Segundo Silva et al., (2011), as altas variabilidades da precipitação pluvial e do número de dias de chuva são fatores limitantes na agricultura não irrigada. Os autores explicam que para estas regiões do semiárido ocorre uma concentração de chuvas no primeiro semestre, mas sua distribuição regional é quase aleatória (Figura8).

A vegetação predominante é a Caatinga hiperxerófila, vegetação característica da região semiárida do sertão acentuadamente xerófila. De acordo com Veloso et al., (1991), caracteriza-se pelo predomínio da Savana Estépica, uma tipologia marcada por espécies vegetais com alta capacidade de retenção de água durante a estação mais quente, quando perdem a folhagem, reduzindo consideravelmente o metabolismo vegetal (TEMÓTEO, 2000).

Figura 8- Pluviosidade na área de abrangência do PISF.



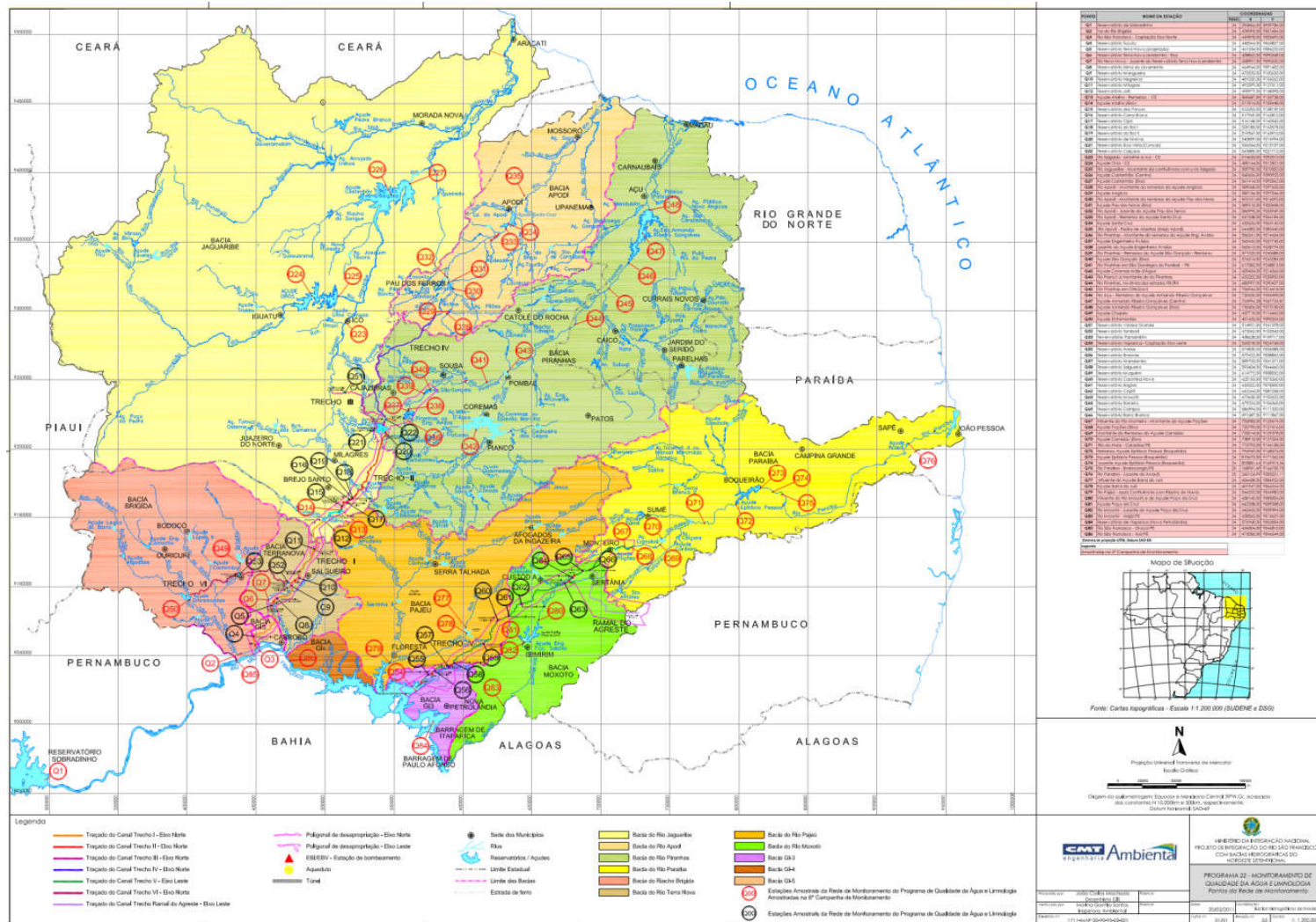
Fonte: Modificado de ANA (2013).

Sob o ponto de vista hidrográfico as amostras foram coletadas em nove bacias hidrográficas, elas são: bacia do rio Jaguaribe, rio Apodi, rio Piranhas, rio Paraíba, rio Brígida, rio Terra

Nova, rio Pajeú, rio Moxotó e rio São Francisco. Cada uma destas bacias apresenta condições de ocupação humana, estado de conservação e gestão diferenciadas, além das características climáticas e fisiográficas conforme as áreas onde estão inseridas.

A região envolve os pontos de amostragem do projeto de integração de bacias do Rio São Francisco na sua totalidade para a avaliação da qualidade da água, onde estações de amostragem foram estabelecidas ao longo dos reservatórios e principais cursos de água a montante e a jusante (Figura 9).

Figura 9 - Mapa dos pontos de amostragem



Fonte: Modificado de MI (2014).

O Ministério da Integração Nacional, responsável pelo PISF, foi condicionado pelo IBAMA a fazer o monitoramento das condições socioambientais de toda a área do projeto. Neste intuito uma série de Planos Básicos Ambientais (PBA) foi lançada, e para cumprir o monitoramento de qualidade de água foi lançado o PBA-22 *Monitoramento de Qualidade da Água e Limnologia* atendendo às condicionantes da Licença Prévia (LP) nº 200/2005 emitida pelo IBAMA. Este Plano Básico visa monitorar a qualidade de água dos trechos de rios e reservatórios ao longo da instalação e funcionamento do projeto. Na Quadro4 estão dispostos os reservatórios monitorados pelo PBA 22.

Quadro 4- Reservatórios monitorados do Eixo Leste do projeto de interligação de bacias do rio São Francisco e suas respectivas bacias.

Bacia	Reservatórios
Rio Paraíba	Camalaú, Carnaubas, Epitácio Pessoa, Bodocongo, Cauã e Poções
Rio Pajeú	Barra Do Juá
Rio Moxotó	Poço Da Cruz

Fonte: O autor.

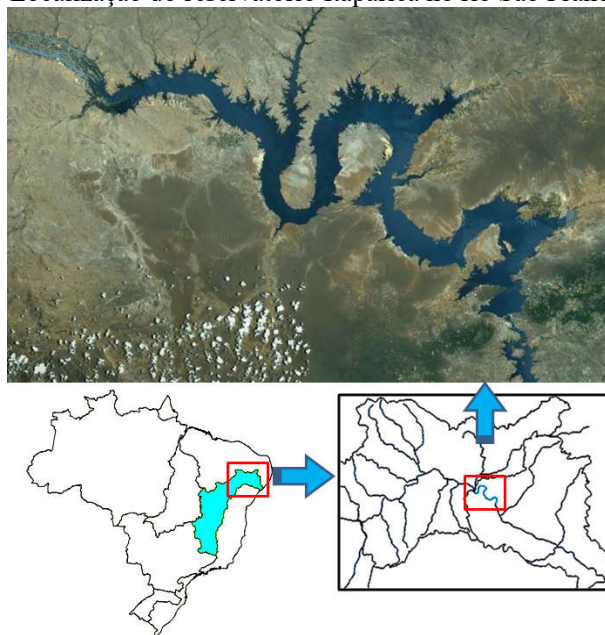
4.1 RESERVATÓRIO ITAPARICA

O reservatório Itaparica está localizado na região do submédio São Francisco, possuindo uma capacidade de armazenamento da ordem de 11 bilhões de m³ de água (Figura 10) sua profundidade média é de 21 m, com o máximo de 101 m. Tem uma superfície aproximada de 828 km² e um comprimento de cerca de 150 km, situado em terras dos estados de Pernambuco e Bahia. Estende-se desde o município de Petrolândia/PE e Glória/BA até o município de Belém do São Francisco/PE e o município de Abaré/BA, localizados ao longo dos 150 km do reservatório. Os seus principais tributários no estado de Pernambuco (margem esquerda) são: os riachos do Retiro, Moselo, Malagueta, da Guaraíba, Mandantes e Barreiras, e o rio Pajeú.

Itaparica é o segundo maior reservatório da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e é parte da Unidade Hidroelétrica (UHE) Luiz Gonzaga prestando suporte energético a toda a região Nordeste. Faz parte do conjunto de obras hidroelétricas do submédio São Francisco, integrando o complexo hidroelétrico de Paulo Afonso juntamente com as Usinas Hidroelétricas de Moxotó, PA-I, II, III, PA-IV e Xingó. A barragem foi uma obra finalizada em 1985 e demorou 10 anos para ser concluída, gerando energia somente 3

anos depois e em 1990 atingindo a capacidade máxima da usina com 6 turbinas gerando 1500MW (IICA, 2001).

Figura 10 - Localização do reservatório Itaparica no rio São Francisco.

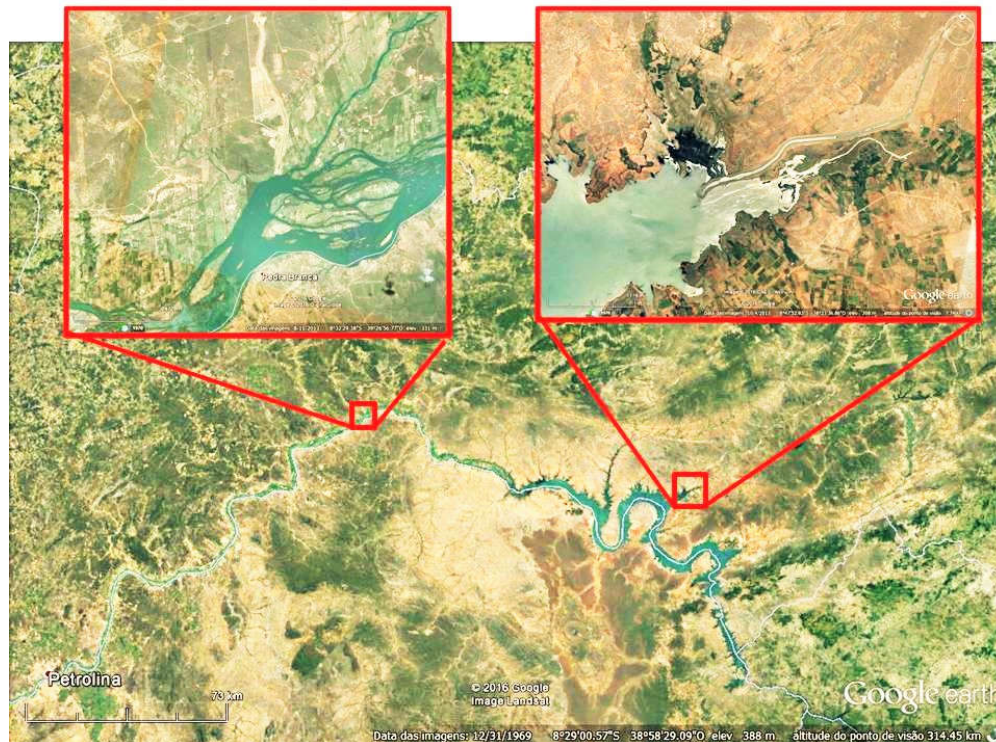


Fonte: Melo (2011)

Construído em 1985 com a finalidade prioritária de geração de energia, o reservatório de Itaparica teve seus estudos para o planejamento da obra iniciados na década de 1970, quando os aspectos ambientais não eram tratados com a profundidade que a legislação e a sociedade civil atualmente exigem. Por conta disso, os programas de proteção ambiental implantados foram bastante reduzidos. A partir de 1986, com a exigência legal de realização de estudos de impacto ambiental para projetos desse porte, a situação melhorou sensivelmente. O estudo ambiental dessa barragem, realizado em 1986, foi pioneiro no Nordeste (SOBRAL, 1992) dada a sua importância regional e o impacto causado nas populações que ali residiam.

O reservatório Itaparica tem características de múltiplos usos com a presença de tanques rede para a produção de pescado, lazer, pesca, navegação, irrigação e utilização do potencial hidroelétrico. Com a localização dos pontos de captação do Eixo Norte (montante) e Eixo Leste (no reservatório) este reservatório expande a sua importância para partes mais distantes dentro Estado de Pernambuco, para o Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, pelo fato de que a preservação da qualidade da água e a gestão de sua vazão ter impacto sobre a disponibilidade da água para o PISF.

Figura 12 - Imagens dos pontos de captação do Eixo Norte e Eixo Leste.



Fonte: Modificado de GoogleEarth (2016)

O Eixo Norte realiza captação de água no leito do rio a montante do reservatório Itaparica no município de Cabrobó/PE, será composto de 260 km de canais artificiais 4 estações de bombeamento, 22 aquedutos e 6 túneis. Ainda é previsto para este eixo a instalação de duas instalações hidroelétricas nos municípios de Jati (40 MW) e Atalho (12 MW) ambos no estado do Ceará.

A vazão do Eixo Norte também será intermitente e com a vazão média de 45,2 m³/s fornecendo água para os rios Brigida (PE), Salgado (CE), Apodi (RN), do Peixe e Piranhas-Açu (PB e RN). Os principais reservatórios abastecidos pelas águas serão: Chapéu e Entremontes em Pernambuco; Pau dos Ferros, Santa Cruz e Armando Ribeiro Gonçalves no Rio Grande do Norte; Engenheiro Ávidos na Paraíba e o Reservatório Castanhão no Ceará.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo contém os resultados das análises estatísticas dos parâmetros de qualidade de água coletados nos reservatórios e trechos de rio que contribuem para estes (5.1), assim como, os resultados do uso do solo comparados com o IET em 6 reservatórios selecionados (5.2) e discussão comparativa com autores que realizaram trabalhos semelhantes e encontraram resultados que corroboram ou não com as análises referidas.

5.1 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

A partir dos resultados dos dados de qualidade de água coletados no monitoramento do PISF durante o período de 2009 a 2013, foi aplicada análises estatísticas multiparamétricas como a análise de componentes principais e análise discriminante múltipla para identificar diferenças e semelhanças entre os reservatórios e trechos de rio do projeto.

5.1.1 Análise de componentes principais (ACP)

Os resultados a seguir referem-se à aplicação estatística de ACP para o conjunto de dados de todos os pontos de amostragem do PISF. Devido ao grande número de pontos de amostragem e campanhas é natural que devido ao tamanho do espaço amostral o ponto de inflexão do gráfico seja tão tênue e que 11 dos 20 fatores estejam com valor maior que 1. Porém como visto pelo teste de *kaiser-Mayer-Olkin* ($KMO= 0,784$) o tamanho da amostra foi classificado como adequado às variáveis. A variância observada pode ser observada na Tabela 6.

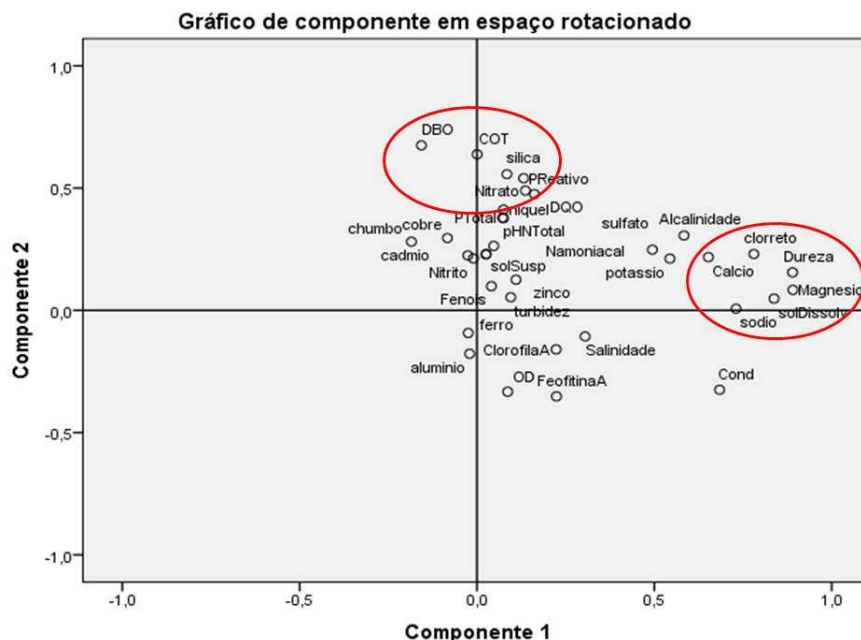
Tabela 6- Variância total explicada para análise de componentes principais para monitoramento de qualidade de água do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Comp.	Valores próprios iniciais		
	Total	% de variância	% cumulativa
1	6,538	18,681	18,681
2	2,901	8,287	26,968
3	2,655	7,585	34,553
4	1,814	5,182	39,736
5	1,642	4,692	44,427
6	1,475	4,214	48,642
7	1,398	3,993	52,635
8	1,294	3,698	56,332
9	1,197	3,421	59,753
10	1,133	3,238	62,991
11	1,048	2,996	65,987

Fonte: O autor

No gráfico de espaço rotacionado (Figura 13), realizado com os dois primeiros fatores, os parâmetros magnésio, dureza, cálcio e sólidos dissolvidos possuem maior valor para o eixo da componente principal 1 explicando 18,7 % da distribuição. Enquanto no eixo da componente 2, estão DBO, COT, sílica e nitrato que explicam 8,3% das amostras.

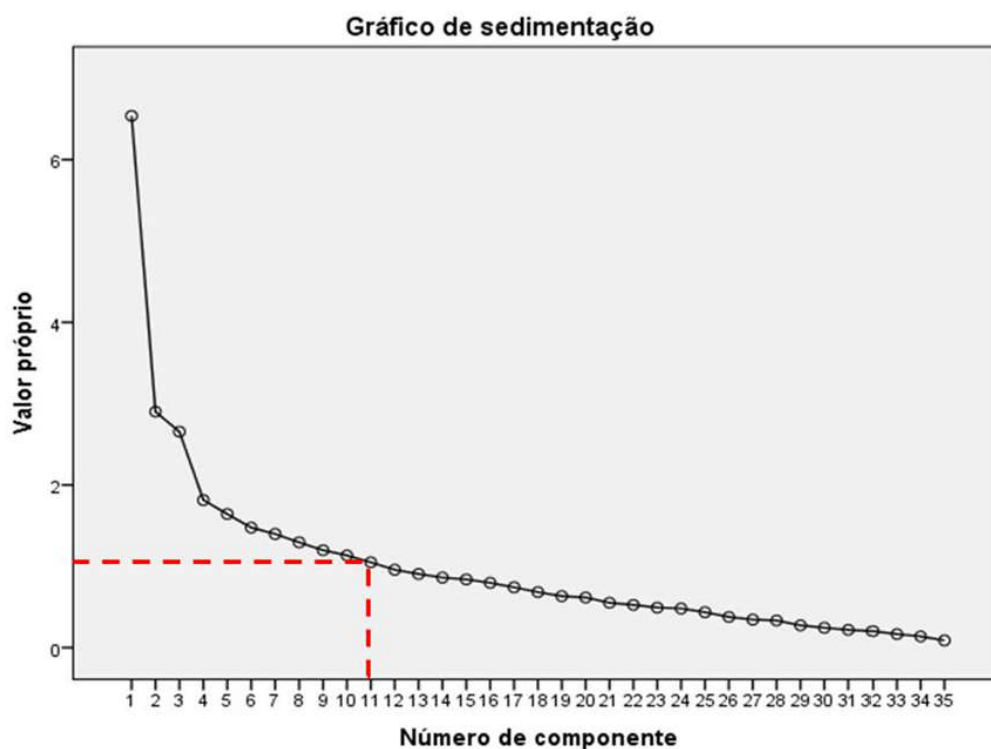
Figura 13- Gráfico de espaço rotacionado dos componentes 1 e 2 para ACP de amostras do monitoramento do Projeto de Integração do Rio São Francisco.



Fatores de origem mineralógica da água na componente principal (1) explicam a maior variância das amostras. Na componente 2 os parâmetros remetem a condições biológicas e sanitárias da água.

O gráfico de sedimentação (Figura 14) mostra a inflexão da curva se acentuar após a terceira componente, mas para efeito gráfico será exibido o gráfico rotacionado da componente 1 e 2 já que são as componentes que possuem maior explicação para a variação da amostra.

Figura 14- Gráfico de sedimentação para ACP em parâmetros analisados em 15 campanhas de monitoramento do projeto de integração do rio São Francisco.



Fonte: O autor

Resultados semelhantes podem ser observados em trabalho de Santos-Ramon (2003) onde foram estudadas 15 bacias hidrográficas em porto rico com dados de monitoramento de qualidade da água. No trabalho, foram evidenciados que os fatores que mais influenciaram no agrupamento das bacias hidrográficas foram: condutividade, alcalinidade, dureza, cálcio e magnésio para a componente 1 e sódio, cloro e sulfato para a componente 2. O autor relaciona a componente 1 de seu trabalho as condições das águas subterrâneas de cada localidade e assim sendo, de suas condições mineralógicas; e relaciona a componente 2 com os usos do solo das localidades e a interferência urbana.

A matriz completa (Quadro 5) com os 11 componentes apresenta os parâmetros ordenados segundo os valores da componente 1. Os valores com maior proximidade a 1 ou (-1) são aqueles que possuem maior influência na variabilidade dos dados e assim sendo são classificados como os mais representativos.

Quadro 5- Matriz de componentes para ACP realizada para as amostras do monitoramento do projeto de integração do rio São Francisco.

	Componente										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dureza	0,897	-0,235	0,051	-0,009	0,014	-0,027	-0,069	0,006	-0,098	-0,011	0,047
Magnésio	0,858	-0,295	0,074	-0,078	-0,012	-0,049	0,033	-0,011	-0,08	-0,01	0,029
Cloreto	0,838	-0,127	0,06	0,035	-0,002	-0,163	-0,026	-0,003	-0,031	-0,041	-0,047
Sol.Dissolv	0,79	-0,303	0,242	0,046	0,077	-0,144	-0,023	0,101	-0,033	0,027	-0,045
Cálcio	0,714	-0,085	-0,35	-0,156	0,002	0,082	-0,059	-0,089	-0,188	-0,029	0,16
Alcalinidade	0,7	0,017	-0,116	0,117	-0,014	0,042	-0,073	-0,173	0,032	0,023	0,001
Sódio	0,67	-0,294	-0,065	-0,172	-0,33	0,001	0,036	-0,114	-0,136	0,051	-0,032
Potássio	0,612	-0,046	0,232	-0,124	-0,12	0,069	-0,021	0,135	-0,003	-0,071	-0,098
Sulfato	0,587	0,005	0,022	0,477	0,093	-0,164	-0,164	-0,033	0,209	0,003	0,031
DBO	0,227	0,628	0,413	-0,213	-0,351	0,074	-0,029	-0,11	0,04	-0,025	-0,02
Cond.	0,446	-0,552	0,014	0,251	0,057	0,154	-0,11	-0,106	0,05	0,223	-0,077
COT	0,35	0,533	0,36	-0,15	-0,158	0,032	-0,092	0,076	0,009	0,098	0,021
Zinco	0,169	0,06	-0,706	0,048	0,105	0,183	-0,02	0,007	0,101	-0,115	-0,095
Fenóis	0,091	0,066	0,572	0,016	0,502	-0,002	0,134	-0,095	-0,064	-0,132	-0,008
Níquel	0,294	0,314	-0,533	0,385	0,02	0,073	-0,256	-0,093	0,156	-0,072	-0,009
DQO	0,409	0,331	0,427	-0,151	-0,347	0,159	0,058	-0,02	0,194	-0,007	-0,059
pH	0,274	0,287	-0,364	-0,091	-0,251	-0,009	0,085	0,247	0,327	-0,109	-0,102
Alumínio	-0,116	-0,14	0,007	0,564	-0,123	0,035	0,34	0,335	-0,072	0,012	0,106
Cobre	0,086	0,282	0,36	0,449	0,091	-0,136	-0,146	-0,105	0,104	0,231	-0,033
Chumbo	-0,015	0,31	0,1	0,429	0,017	-0,118	-0,124	0,093	0,196	0,026	0,05
Cádmio	0,1	0,199	0,105	0,384	-0,162	-0,036	0,019	-0,083	-0,116	0,048	0,098
Silica	0,383	0,431	0,203	-0,04	0,551	-0,142	0,005	0,114	-0,005	-0,266	-0,027
Sol.Susp	0,148	0,18	-0,144	0,306	-0,455	0,026	0,189	-0,2	0,06	-0,315	0,258
Nitrato	0,393	0,353	-0,333	-0,128	0,411	0,169	-0,091	0,238	-0,013	-0,227	-0,021
Clorofila a	0,116	-0,225	0,153	-0,038	0,1	0,644	0,057	-0,082	0,35	0,023	-0,004
OD	-0,104	-0,314	-0,02	-0,083	0,018	-0,453	0,171	0,171	0,361	0,362	0,112
Feofitina a	0,011	-0,386	0,233	0,043	0,187	0,403	0,21	-0,093	0,343	-0,093	0,193
P-total	0,275	0,284	-0,384	-0,131	0,049	-0,043	0,599	-0,299	-0,001	0,251	0,042
P-reativo	0,416	0,398	-0,171	-0,011	0,3	-0,182	0,524	-0,167	-0,03	0,203	0,007
Turbidez	0,116	0,006	0,199	0,004	0,009	0,127	0,365	0,136	0,317	-0,045	-0,053
Salinidade	0,219	-0,214	-0,02	-0,114	-0,153	-0,336	0,174	0,543	0,119	-0,305	0,076
N-total	0,15	0,183	-0,107	-0,008	0,055	0,347	-0,09	0,493	-0,001	0,316	0,184
Ferro	-0,074	-0,067	0,181	0,376	-0,06	0,25	0,366	0,123	-0,49	-0,261	0,005
Nitrito	0,107	0,181	0,028	-0,143	0,069	0,1	-0,138	0,12	-0,164	0,219	0,778
N-amon.	0,187	0,201	-0,055	0,125	-0,059	0,258	0,073	0,332	-0,263	0,425	-0,428

Método de extração: Análise do Componente principal.

a. 11 componentes extraídos.

a. 11 componentes extraídos.

Fonte: O autor

A componente 3 apresenta valores elevados de cálculo para zinco, fenóis e níquel, sendo zinco e níquel relacionados naturalmente ao pH do solo, apresentando impactos com toxicidade caso em concentrações elevadas (KABATA; PENDIAS,2001) são metais presentes naturalmente no solo e sua presença na água variando em conformidade com este. As

principais atividades que podem resultar na alta presença destes metais nas águas são a mineração e a fundição de peças metálicas (CETESB, 2001). O índice de fenóis está ligado diretamente ao processo de eutrofização de reservatórios, e são responsáveis em águas de abastecimento, por resultarem em um sabor e odor indesejáveis as águas (BRANCO; ROCHA, 1977).

5.1.2 Análise Discriminante Múltipla dos Eixo Leste, Eixo Norte e o reservatório de Itaparica

O teste de Análise Discriminante Múltipla (ADM) dos dados de qualidade de água, utilizou todo o conjunto de pontos coletados nas bacias que foram agrupadas segundo o Eixo Leste, Eixo Norte e o reservatório de Itaparica. Nas funções discriminantes canônicas tiveram a porcentagem (%) de variância explicada pela função 1 (0,687 ou 72,1%) e a 2 (0,266 ou 27,9%) com significância ($> 0,01$) logo, rejeitando-se a hipótese de que os grupos tem a mesma covariância. O agrupamento dos eixos pode ser visto de forma numérica na tabela 7, onde é importante destacar que quanto maior o número, maior é a coesão de agrupamento das amostras.

Tabela 7- Classificação para Análise Discriminante realizada para os Eixos do projeto de integração do rio São Francisco.

Tipo de análise	Forma de pontuação	Eixo	Associação ao grupo prevista			Total
			Leste	Norte	Itaparica	
Original	Contagem	Leste	92	51	11	154
		Norte	56	312	46	414
		Itaparica	1	11	93	105
	%	Leste	59,7	33,1	7,1	100,0
		Norte	13,5	75,4	11,1	100,0
		Itaparica	1,0	10,5	88,6	100,0
Com validação cruzada ^b	Contagem	Leste	81	57	16	154
		Norte	61	298	55	414
		Itaparica	2	17	86	105
	%	Leste	52,6	37,0	10,4	100,0
		Norte	14,7	72,0	13,3	100,0
		Itaparica	1,9	16,2	81,9	100,0

a. 73,8% de casos originais agrupados corretamente classificados.

b. Na valid cruzada, cada caso é classificado pelas funções derivadas de todos os casos diferentes desse caso.

c. 69,1% de casos com validação cruzada agrupados corretamente classificados.

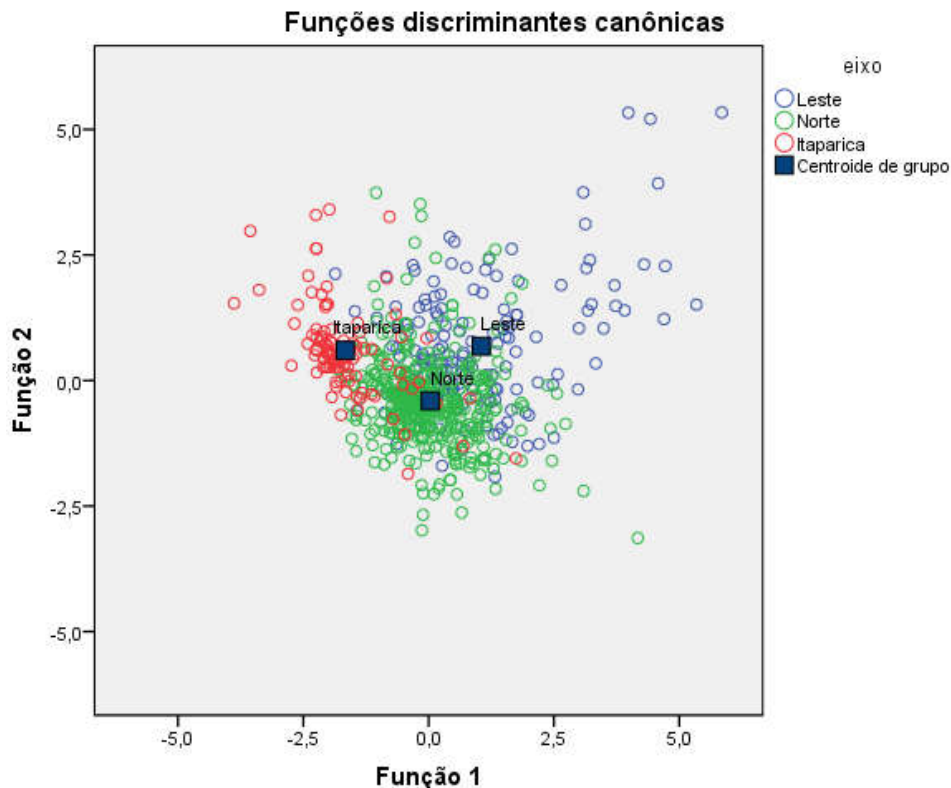
Fonte: O autor

A validação cruzada dos dados leva em conta os espaços vazios na tabela 6 e faz uma correção da classificação (DAVIS, 1986; LIU et al., 2010). Os resultados da análise mostram que apesar dos eixos serem separados corretamente, a discriminação entre eles não é robusta.

O método da validação cruzada agrupou corretamente 69,1% dos casos, demonstrando que apesar da diferença entre os grupos ser relevante, existem similaridades entre eles.

Desta maneira, é possível afirmar que os eixos formam dois grupos distintos e que os pontos coletados no reservatório de Itaparica se distinguem com maior intensidade dos demais. É possível observar estas diferenças de forma gráfica no mapa territorial das funções 1 e 2 para os eixos (Figura 15), onde o reservatório Itaparica apresenta-se com o centroide de grupo afastado dos demais e os Eixos Leste e Norte, formam dois grupos distintos.

Figura 15- Mapa territorial das funções 1 e 2 para análise discriminantes envolvendo os eixos do projeto de integração do rio São Francisco.



Fonte: O autor

Este resultado corrobora com outros autores, pois a qualidade de água do rio São Francisco possui melhor qualificação quando comparado com os reservatórios e trechos de rios menores do semiárido brasileiro (MI, 2004). Uma das causas apontadas para esta qualidade de água é o grande volume e capacidade de resiliência que possui (MELO, 2012; TRINDADE, 2013).

5.1.3 Análise Discriminante Múltipla por bacia hidrográfica

A Análise Discriminante também foi realizada com o refinamento por agrupamento de pontos de amostragens nas bacias hidrográficas. Para as bacias dos rios Piranhas, Jaguaribe, Brigida, Terra Nova, Apodi (Eixo Norte) e bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Pajeú e Moxotó (Eixo Leste); o teste obteve significância ($>0,01$), rejeitando a hipótese de igualdade entre as covariâncias. Foram utilizadas 8 funções canônicas, conforme o resultado na tabela 8. O teste aplicado determinou que os dados dos pontos amostrais das bacias hidrográficas apresentam coesão e formam grupos distintos.

Tabela 8: Valores das funções canônicas para as bacias hidrográficas do projeto de integração do rio São Francisco.

Função	Valor próprio	% de variância	% cumulativa	Correlação canônica
1	0,854 ^a	42,7	42,7	0,679
2	0,411 ^a	20,5	63,3	0,539
3	0,259 ^a	13,0	76,2	0,454
4	0,166 ^a	8,3	84,5	0,377
5	0,136 ^a	6,8	91,3	0,346
6	0,075 ^a	3,7	95,1	0,264
7	0,058 ^a	2,9	98,0	0,235
8	0,040 ^a	2,0	100,0	0,196

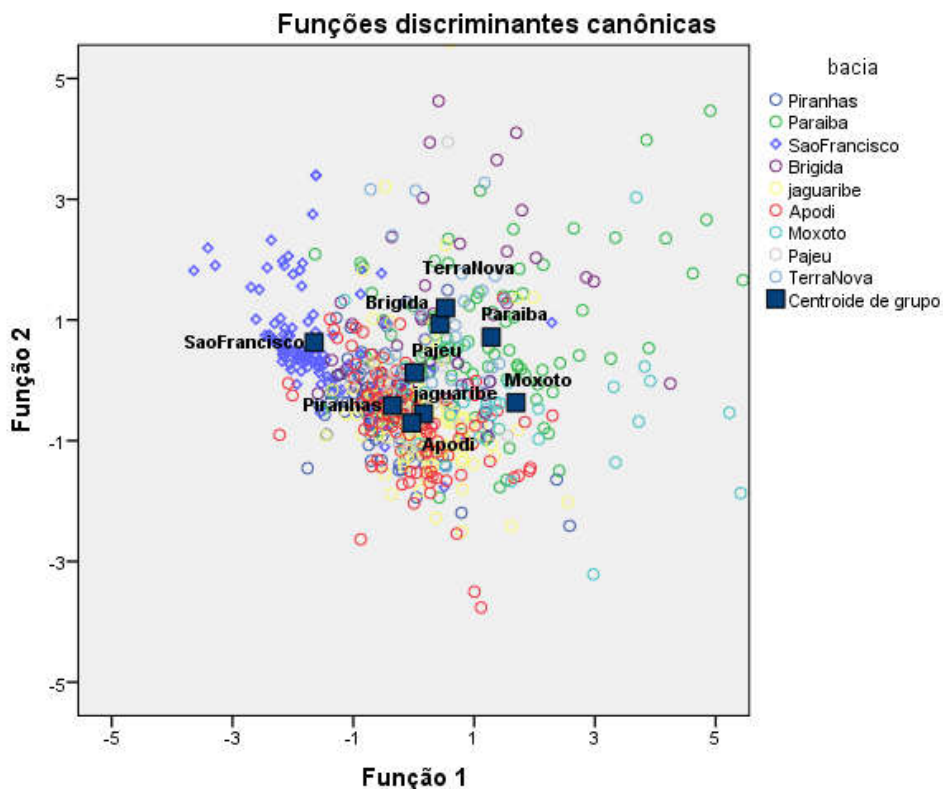
Fonte: O autor

O resultado de classificação por bacia hidrográfica mostra uma dispersão maior, quando comparado ao dado apresentado anteriormente na análise discriminante realizada para os eixos. Porém, ainda é notável que os dados de qualidade da água do Rio São Francisco nos pontos de amostragem do reservatório Itaparica, se diferenciam dos dados de qualidade de água das demais bacias hidrográficas.

Na representação gráfica do mapa territorial na Figura 16, é possível visualizar esta distribuição segundo a análise discriminante realizada. As bacias do rio Brígida e Terra Nova localizadas no Eixo Leste, não se agrupam tão intrinsecamente com as demais do Eixo Norte e São Francisco, destacado das demais pela função 1. Estes resultados são justificados pela composição do tratamento estatístico, na remoção de *outliers*, a diminuição do número de parâmetros analisados e o menor tamanho em relação às outras bacias. O agrupamento referente aos dados das bacias dos rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe localizadas no Eixo Norte,

apresentaram uma aglomeração centralizada no gráfico das funções discriminantes canônicas (Figura 16).

Figura 16 - Mapa territorial da análise discriminante, para bacias hidrográficas do projeto de integração do rio São Francisco.



Fonte: O autor

Apesar de distintas, a similaridade de suas águas é explicada pela proximidade geográfica dos conjuntos de pontos destas três bacias quando comparadas às distâncias entre as demais. Na tabela 9 é possível observar a correlação entre os valores na validação cruzada. A interação entre os pontos localizados nas bacias do rio Apodi e do rio Piranhas perfazem valores muito próximos (Apodi- Piranhas =23,5 e Piranhas-Apodí =25,7) em face da proximidade geográfica entre os pontos de amostragem que pode estar exercendo esta influência. Ressalta-se ainda que os valores obtidos da interação Apodi-Apodí =28,4 se aproxima dos valores obtidos acima, revelando uma semelhança entre estas bacias.

Tabela 9- Associação de grupos para análise discriminante do conjunto de bacias hidrográficas do projeto de integração do rio São Francisco.

		Bacia	Associação ao grupo prevista									Total
			Piranhas	Paraíba	São Francisco	Brigida	Jaguaribe	Apodi	Moxoto	Pajeú	Terra Nova	
Original	Contagem	Piranhas	67	0	9	8	14	28	2	6	2	136
		Paraíba	4	32	3	17	12	5	10	5	5	93
		R.Itaparica	3	0	84	1	5	5	0	3	4	105
		Brigida	5	3	4	24	4	2	1	0	2	45
		Jaguaribe	12	3	1	0	68	12	2	7	7	112
		Apodi	21	1	8	5	12	40	4	8	3	102
		Moxoto	1	3	1	1	5	2	19	1	0	33
		Pajeú	1	1	0	1	0	2	1	17	3	26
		TerraNova	1	1	1	0	0	0	0	1	17	21
	%	Piranhas	49,3	,0	6,6	5,9	10,3	20,6	1,5	4,4	1,5	100,0
		Paraíba	4,3	34,4	3,2	18,3	12,9	5,4	10,8	5,4	5,4	100,0
		R.Itaparica	2,9	,0	80,0	1,0	4,8	4,8	,0	2,9	3,8	100,0
		Brigida	11,1	6,7	8,9	53,3	8,9	4,4	2,2	,0	4,4	100,0
		Jaguaribe	10,7	2,7	,9	,0	60,7	10,7	1,8	6,3	6,3	100,0
		Apodi	20,6	1,0	7,8	4,9	11,8	39,2	3,9	7,8	2,9	100,0
		Moxoto	3,0	9,1	3,0	3,0	15,2	6,1	57,6	3,0	,0	100,0
		Pajeú	3,8	3,8	,0	3,8	,0	7,7	3,8	65,4	11,5	100,0
		TerraNova	4,8	4,8	4,8	,0	,0	,0	,0	4,8	81,0	100,0
Com validação cruzada	Contagem	Piranhas	51	0	12	10	15	35	4	6	3	136
		Paraíba	5	24	3	17	12	6	13	5	8	93
		R.Itaparica	3	0	81	1	6	5	0	3	6	105
		Brigida	8	5	5	15	5	2	1	0	4	45
		Jaguaribe	13	3	2	1	59	16	2	8	8	112
		Apodi	24	1	10	6	13	29	6	10	3	102
		Moxoto	3	5	1	2	5	3	10	3	1	33
		Pajeú	1	1	0	2	0	4	2	12	4	26
		TerraNova	1	2	1	1	1	0	2	1	12	21
	%	Piranhas	37,5	,0	8,8	7,4	11,0	25,7	2,9	4,4	2,2	100,0
		Paraíba	5,4	25,8	3,2	18,3	12,9	6,5	14,0	5,4	8,6	100,0
		R.Itaparica	2,9	,0	77,1	1,0	5,7	4,8	,0	2,9	5,7	100,0
		Brigida	17,8	11,1	11,1	33,3	11,1	4,4	2,2	,0	8,9	100,0
		Jaguaribe	11,6	2,7	1,8	,9	52,7	14,3	1,8	7,1	7,1	100,0
		Apodi	23,5	1,0	9,8	5,9	12,7	28,4	5,9	9,8	2,9	100,0
		Moxoto	9,1	15,2	3,0	6,1	15,2	9,1	30,3	9,1	3,0	100,0
		Pajeú	3,8	3,8	,0	7,7	,0	15,4	7,7	46,2	15,4	100,0
		TerraNova	4,8	9,5	4,8	4,8	4,8	,0	9,5	4,8	57,1	100,0

Fonte:O Autor

O teste discriminante ainda demonstrou que os parâmetros de qualidade de água que foram predominantes na separação dos grupos, segundo os parâmetros relacionados à função 1: dureza (0,728), magnésio (0,642) sólidos dissolvidos (0,633), alcalinidade (0,588), cloreto (0,559) e condutividade (0,545), relacionados predominantemente às condições mineralógicas da água.

A utilização da Análise Discriminante para relacionar pontos de amostragem a partir de parâmetros revelou ser eficiente quando aplicada em outros ambientes lacustres (GU et al., 2016). As condições mineralógicas das águas também foram evidenciadas por trabalho realizado por Trindade (2013) onde é relatado que os parâmetros mais importantes para a caracterização da qualidade das águas em trechos da bacia do rio São Francisco foram os de origem mineralógica, ou seja, diz respeito a material inorgânico dissolvido, características da origem dos solos das bacias.

5.1.4 Análise estatística com parâmetros não mineralógicos

Os testes de análise discriminante para os parâmetros não mineralógicos revelaram que alcalinidade, sulfato, DBO, DQO e clorofila foram os fatores que mais influenciaram na distinção das águas (Tabela 10).

Tabela 10 - Matriz de estruturas para Análise Discriminante dos parâmetros não mineralógicos.

	Função							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alcalinidade	,902*	-,027	-,230	,110	-,006	,170	,262	-,032
Sulfato	,428	,611*	,259	-,216	-,264	,043	-,180	,090
DBO	-,004	-,373*	,207	-,087	-,199	,335	,096	,098
DQO	,314	-,292	,567*	-,135	,088	,260	,030	,119
Clorofila a	,107	-,163	,427*	-,313	-,035	,197	,423	,144
OD	-,142	,358	,141	,622*	,462	,090	,170	,404
Turbidez	,166	-,020	,420	,440*	-,405	-,319	,322	-,243
NTotal	,225	-,131	,003	-,185	,517	-,588*	,285	,008
Feofitina a	,094	-,159	,357	,156	,250	,267	-,365*	-,295
P-Total	,051	,297	-,039	-,119	,221	,316	,514	-,649*
COT	,102	,010	-,043	-,192	,037	,332	,096	,338*

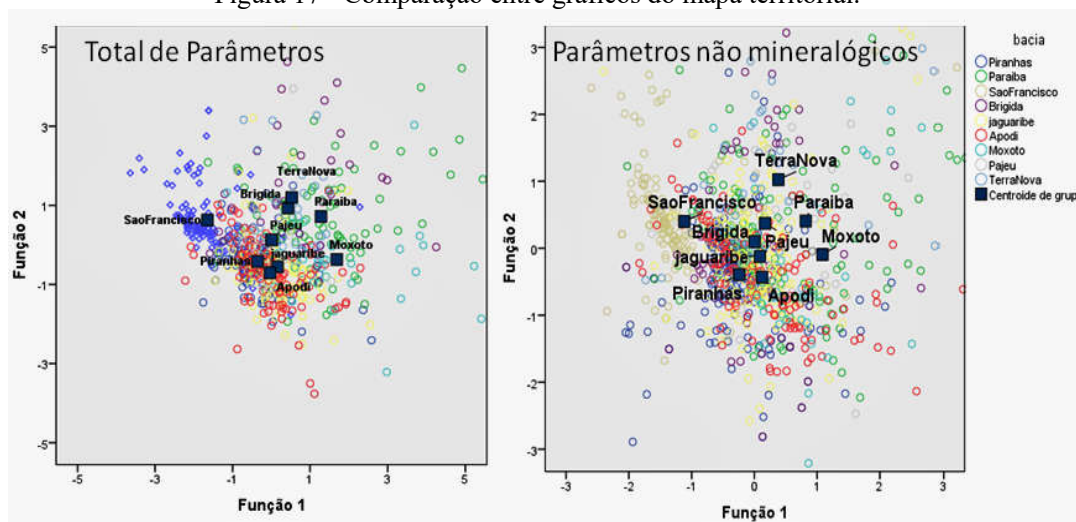
As correlações dentro de grupos em pool entre variáveis discriminantes e funções discriminantes canônicas padronizadas Variáveis ordenadas por tamanho absoluto de correlação dentro da função.

*. Maior correlação absoluta entre cada variável e qualquer função discriminante

Fonte: O autor

A Figura 17 evidencia que a separação espacial segundo a qualidade de água possui semelhança quando comparadas as análises com e sem parâmetros mineralógicos exibido na Figura 16, onde pode-se evidenciar posicionamento do ponto centroide do grupo rio Brígida. Esta bacia quando comparada a classificação em validação cruzada não demonstra definição significativa entre os grupos ou seja, na análise discriminante com os parâmetros não-mineralógicos para esta bacia se cruzada com ela mesma possui valores menores que quando cruzada com as demais de 33,3 (Tabela 9) para 6,8 na (Tabela 11)

Figura 17 - Comparação entre gráficos do mapa territorial.



Fonte :O autor

A análise discriminante dos parâmetros não mineralógicos evidenciou que é possível diferenciar os grupos de bacias sem a influência dos dados mineralógicos, porém que estas diferenças são menores que quando analisados todos os parâmetros.

Tabela 11: Classificação para análise discriminante com dados do monitoramento do PISF (2009-2014)

Tabela 11: Classificação para análise discriminante com dados de monitoramento do PIS (2009-2017)												
bacia		Associação ao grupo prevista									Total	
		Piranhas	Paraiba	SaoFrancisco	Brigida	jaguaribe	Apodi	Moxoto	Pajeu	TerraNova		
validação cruzada ^{bc}	Contagem	Piranhas	58	0	15	20	55	21	11	26	5	211
		Paraiba	5	11	10	17	23	15	14	15	26	136
		R.Itaparica	8	0	111	7	6	2	3	0	9	146
		Brigida	9	2	3	4	9	8	3	11	10	59
		jaguaribe	16	2	11	8	64	13	10	19	12	155
		Apodi	16	2	17	16	26	18	14	14	4	127
		Moxoto	1	6	2	4	13	11	6	1	7	51
		Pajeu	0	0	3	0	3	3	3	20	5	37
		TerraNova	1	1	1	2	2	1	3	2	15	28
	%	Piranhas	27,5	,0	7,1	9,5	26,1	10,0	5,2	12,3	2,4	100,0
		Paraiba	3,7	8,1	7,4	12,5	16,9	11,0	10,3	11,0	19,1	100,0
		R.Itaparica	5,5	,0	76,0	4,8	4,1	1,4	2,1	,0	6,2	100,0
		Brigida	15,3	3,4	5,1	6,8	15,3	13,6	5,1	18,6	16,9	100,0
		jaguaribe	10,3	1,3	7,1	5,2	41,3	8,4	6,5	12,3	7,7	100,0
		Apodi	12,6	1,6	13,4	12,6	20,5	14,2	11,0	11,0	3,1	100,0
		Moxoto	2,0	11,8	3,9	7,8	25,5	21,6	11,8	2,0	13,7	100,0
		Pajeu	,0	,0	8,1	,0	8,1	8,1	8,1	54,1	13,5	100,0
		TerraNova	3,6	3,6	3,6	7,1	7,1	3,6	10,7	7,1	53,6	100,0

b. A validação cruzada é feita apenas para os casos da análise. Na validação cruzada, cada caso é classificado pelas funções derivadas de todos os casos diferentes desse caso.

c. 32,3% de casos com validação cruzada agrupados corretamente classificados.

Fonte: OAutor

A análise discriminante realizada com os parâmetros não mineralógicos demonstra que os casos são agrupados corretamente em apenas 35,3% dos casos (com validação cruzada- 32,%) apresentando-se pouca diferenciação entre os grupos.

Somente os pontos do reservatório de Itaparica apresentaram um valor alto de agrupamento (76,0) o que demonstra a diferenciação de suas águas, mesmo sem a interferência das análises mineralógicas.

As cargas poluentes semelhantes em cada corpo hídrico nos pontos de amostragem de cada bacia podem ser apontadas como causadoras desta similaridade. A agricultura e o despejo de efluentes domésticos não tratados geralmente com alta carga de nitrogênio e fósforo. Como visto anteriormente, os valores de componentes como magnésio, que demonstrou grande influência na ACP com outros valores, está associado à contaminação por insumos agrícolas, sendo apontado como fator de variação direta de parâmetros físico-químicos como alcalinidade e DQO (MOURA, 2009). Portanto, verifica-se que a região possui atividade agrícola, bem como manejo inadequado do uso do solo.

5.1.5 Análise de Componentes Principais por bacia hidrográfica utilizando parâmetros não mineralógicos de qualidade de água

A variância total explicada (Quadros 6, 7 e 8) demonstram o que cada componente explica para as bacias hidrográficas analisadas, verificando que todas as bacias chegaram ao máximo de 6 componentes para o valor total da variância não se apresente menor que 1, e sempre explicando acumuladamente mais de 65% da variância total das variáveis originais, o que ocorreu na componente 2 para o reservatório Itaparica e para bacia hidrográfica do rio Pajeú e na componente 3 para as demais bacias.

Quadro 6 - Variância total explicada para ACP em bacias do projeto de integração do rio São Francisco.

Variância total explicada										
Eixo norte										
	Piranhas		Brigida		Jaguaribe		Apodi		Terra Nova	
Comp.	Total	% de variância	Total	% de variância	Total	% de variância	Total	% de variância	Total	% de variância
1	3,140	22,431	2,702	19,296	2,702	19,298	3,268	23,343	3,141	22,435
2	1,679	11,993	2,188	15,628	1,833	13,095	2,152	15,371	2,121	15,151
3	1,512	10,798	1,851	13,225	1,786	12,754	1,356	9,684	1,943	13,880
4	1,331	9,504	1,381	9,862	1,339	9,568	1,236	8,829	1,516	10,830
5	1,179	8,422	1,311	9,362	1,102	7,873	1,113	7,950	1,442	10,302
6	1,054	7,527	1,211	8,653	1,036	7,399	0,906	6,469	1,097	7,838
Eixo Leste										
	Paraíba		Moxotó		Pajeú		São Francisco			
Comp.	Total	% de variância	Total	% de variância	Total	% de variância		Itaparica		% de variância
1	2,699	19,281	2,587	18,480	2,992	21,373	1	4,546		32,471
2	2,153	15,375	2,512	17,945	2,792	19,941	2	1,807		12,906
3	1,813	12,952	1,663	11,877	1,641	11,723	3	1,563		11,166
4	1,236	8,831	1,392	9,943	1,571	11,223	4	1,441		10,291
5	1,076	7,688	1,238	8,845	1,246	8,898	5	0,894		6,386
6	0,993	7,096	1,109	7,919	1,009	7,208	6	0,802		5,73

Fonte: O autor

Quadro 7: Matriz Padrão com os componentes 1 e 2 da ACP para bacias do projeto de integração do rio São Francisco

Matriz Padrão								
Eixo Norte								
Piranhas	Componente		Brígida	Componente		Jaguaribe	Componente	
	1	2		1	2		1	2
DBO	0,893	-0,039	DQO	0,793	0,273	DBO	0,869	-0,365
DQO	0,766	0,038	COT	0,685	0,177	COT	0,727	-0,289
COT	0,683	-0,023	Sulfato	0,567	-0,276	DQO	0,718	-0,46
Alcalinidade	0,603	0,444	pH	0,542	0,208	Sol.Susp	0,595	0,177
Sulfato	0,542	0,234	Sol.Susp	-0,355	0,127	Feofitina-a	-0,47	-0,348
Sol.Susp	0,342	-0,161	Alcalinidade	0,224	-0,019	Clorofila-a	-0,424	-0,249
pH	0,326	0,085	Clorofila-a	0,12	0,621	pH	0,189	0,027
OD	-0,258	0,154	Sol.Dissolv	0,544	-0,572	N.Total	0,132	0,08
Turbidez	-0,118	0,652	OD	0,509	-0,541	Alcalinidade	0,027	0,718
P-Total	0,173	0,638	DBO	0,408	0,515	P-Total	0,3	0,55
Sol.Dissolv	0,281	0,581	N.Total	0	0,487	Sulfato	0,128	0,475
Clorofila-a	-0,076	0,459	P-Total	0,258	0,475	Turbidez	-0,025	-0,266
Feofitina-a	-0,27	0,323	Turbidez	-0,097	0,339	Sol.Dissolv	0,062	-0,229
N.Total	0,007	0,094	Feofitina-a	-0,036	0,32	OD	-0,075	0,195
Eixo Norte						R. Itaparica		
Apodi	Componente		Terra Nova	Componente			Componente	
	1	2		1	2		1	2
DQO	0,708	-0,087	DQO	0,846	0,151	DBO	0,851	-0,039
DBO	0,670	-0,403	DBO	0,737	-0,178	DQO	0,815	0,038
Sulfato	0,669	0,007	P-Total	0,736	-0,196	COT	0,721	-0,023
Alcalinidade	0,621	0,415	COT	0,674	0,055	Alcalinidade	0,603	0,444
COT	0,568	-0,047	N.Total	0,498	0,331	Sulfato	0,563	0,234
Turbidez	0,565	0,338	pH	-0,461	0,458	Sol.Susp	0,342	-0,161
P-Total	0,539	-0,181	OD	-0,427	0,09	pH	0,326	0,085
N.Total	0,538	0,346	Turbidez	-0,326	-0,151	OD	-0,258	0,154
OD	-0,278	0,058	Sulfato	-0,144	0,738	Turbidez	-0,118	0,652
Sol.Dissolv	0,232	0,816	Sol.Susp	0,053	0,628	P-Total	0,173	0,638
Sol.Susp	0,172	-0,534	Sol.Dissolv	-0,009	0,563	Sol.Dissolv	0,281	0,581
Feofitina-a	-0,135	0,518	Clorofila-a	-0,173	-0,513	Clorofila-a	-0,076	0,459
Clorofila-a	0,167	0,496	Alcalinidade	0,255	0,348	Feofitina-a	-0,27	0,323
pH	0,17	-0,325	Feofitina-a	-0,064	0,212	N.Total	0,007	0,094

Fonte: O autor

Quadro 8 - Matriz Padrão com os componentes 1 e 2 da ACP para bacias do projeto de integração do rio São Francisco

Eixo Leste								
Paraíba	Componente		Moxotó	Componente		Pajeú	Componente	
	1	2		1	2		1	2
COT	0,859	-0,094	COT	0,771	-0,443	Alcalinidade	0,741	0,004
DBO	0,829	-0,229	DBO	0,771	-0,598	OD	-0,676	-0,273
DQO	0,709	0,246	DQO	0,668	0,189	Feofitina-a	-0,662	-0,199
Turbidez	0,472	0,107	N.Total	0,579	-0,158	Sol.Susp	0,653	-0,226
N.Total	0,392	0,27	Feofitina-a	-0,499	-0,143	pH	0,587	-0,429
pH	0,14	-0,044	Clorofila-a	-0,44	-0,142	P-Total	0,565	-0,158
Sulfato	-0,051	0,693	Turbidez	0,323	0,03	Clorofila-a	-0,42	-0,357
Alcalinidade	0,065	0,632	P-Total	-0,139	-0,044	DQO	0,031	0,889
Sol.Dissolv	0,136	0,559	Sol.Susp	0,117	0,043	DBO	0,29	0,775
Sol.Susp	0,045	0,538	Sol.Dissolv	-0,006	0,796	Turbidez	-0,153	0,65
Feofitina-a	-0,059	0,513	Alcalinidade	0,185	0,779	Sol.Dissolv	-0,16	0,538
Clorofila-a	-0,074	0,423	Sulfato	0,144	0,581	N.Total	0,244	0,305
P-Total	0,206	0,368	OD	-0,08	0,481	Sulfato	0,251	-0,297
OD	-0,199	0,357	pH	0,157	0,317	COT	-0,016	-0,176

Fonte: O autor

Apesar dos valores das componentes não possuírem variação muito expressiva (>0.900) é possível destacar que os valores de DBO, DQO e COT estiveram sempre com elevada pontuação (>0.600) para a Componente 1, enquanto que para a Componente 2 Fósforo Total, Turbidez e Alcalinidade foram os parâmetros que obtiveram maior pontuação. A bacia do Rio Pajeú apresentou dados não consistentes com as demais bacias para as componentes.

A análise de componentes principais teve êxito ao evidenciar os parâmetros mineralógicos que são preponderantes na diferenciação das águas do projeto de integração do rio São Francisco, assim, com a eliminação destes parâmetros ficou evidenciado que dentre eles, as variações com maior contraste nas análises passaram a ser aqueles que sugerem ação antrópica originária de esgoto não tratado: DBO, DQO e o COT. E parâmetros que sugerem a eutrofização dos corpos d'água como a Clorofila-a a Feofitina-a e o OD.

As análises realizadas revelaram que os Eixos Leste e Eixo Norte do PISF possuem características distintas de qualidade de água principalmente comparadas com as águas do reservatório Itaparica.

As diferenças entre as características das águas das bacias hidrográficas que compõem o PISF foram evidenciadas pelos parâmetros mineralógicos e com menor intensidade

pelos não mineralógicos. Os parâmetros mineralógicos possivelmente foram influenciados pelas características geoquímicas das bacias, já os não-mineralógicos refletem características antrópicas como uso e ocupação do solo.

Melo et al., (2013) em estudo com os reservatórios do Eixo Leste (Itaparica, Poço da Cruz e Boqueirão) e Eixo Norte (Armando ribeiro Gonçalves e Castanhão), obtiveram separação significativa destes eixos em dois grupos distintos. Segundo os autores os parâmetros que mais influenciaram nesta separação foram nitrogênio total, fósforo total, DBO, ortofosfato e OD, principalmente para o Eixo Leste e nitrogênio amoniacal, sílica e zinco para o Eixo Norte. As separações das características físico-químicas em comparação são diferentes em comparação com este trabalho principalmente para o Eixo Leste onde as características mineralógicas foram menos influentes. Isto deve-se ao fato das amostras terem sido realizadas somente em reservatórios no trabalho de Melo et al (2012) potencializando as características antropogênicas.

5.2 ANÁLISE DO USO DO SOLO NO ENTORNO E DETERMINAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DOS RESERVATÓRIOS

Este item relata o uso do solo no entorno de seis reservatórios analisados neste estudo e que compõem o Projeto de Integração do Rio São Francisco, assim como, o Índice do Estado Trófico dos reservatórios. Os resultados da análise dos reservatórios são apresentados por eixos, ou seja, no Eixo Norte (Engenheiro Ávidos, Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves e Castanhão) e no Eixo Leste (Poções, Poço da Cruz e Boqueirão).

5.2.1 Reservatório Engenheiro Ávidos/PB - Eixo Norte

Este reservatório é formado pela barragem Engenheiro Ávidos, também conhecido como açude Piranhas, localizado no município de Cajazeiras no estado da Paraíba, no curso do rio Piranhas (Figura 18). Tem como principal função o abastecimento humano e irrigação para atender cerca de 5 mil hectares, mas também possui outros usos, como piscicultura e controle de cheias do rio Piranhas (AESAs, 2015).

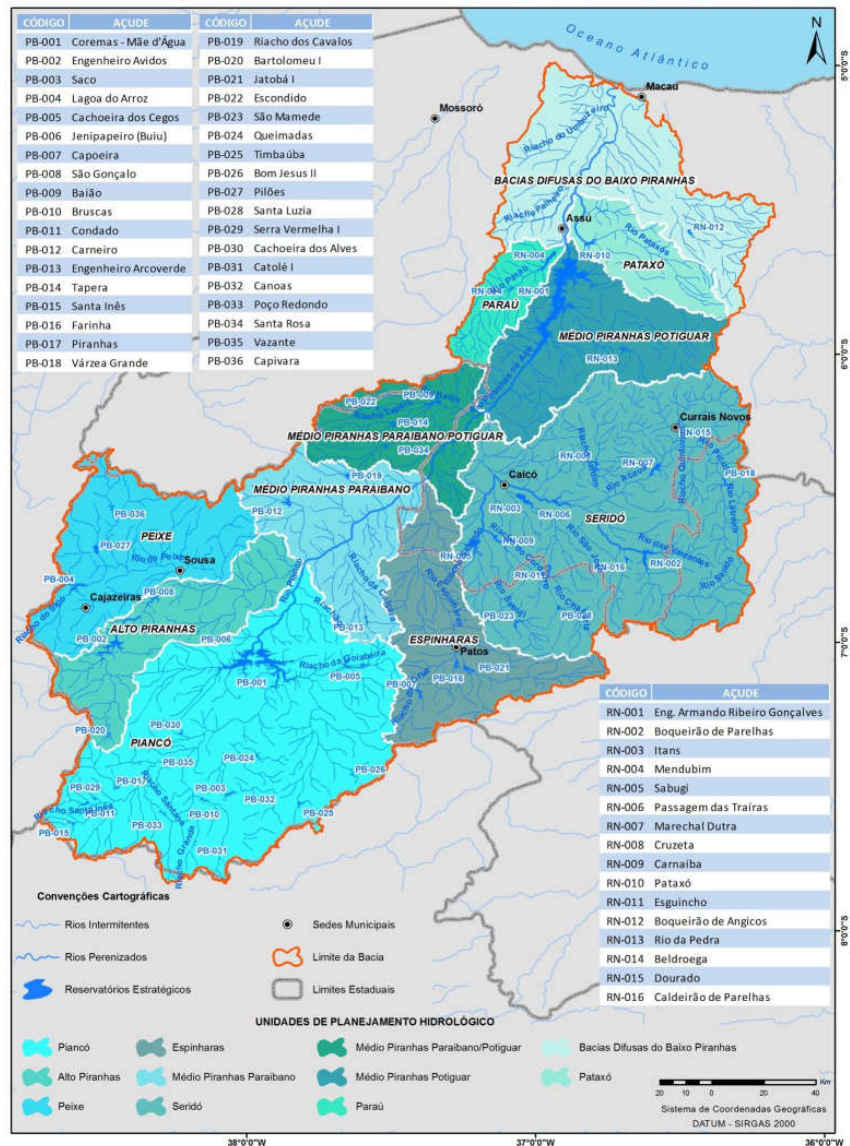
Figura 18 - Reservatório Engenheiro Ávidos/PB.



Fonte: DNOCS (2015).

Segundo a ANA (2014), o reservatório Engenheiro Ávidos, juntamente com o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, localizado na Paraíba, e reservatório Coremas Mãe-d'água, no Ceará, correspondem a cerca de 70% da capacidade de armazenamento da bacia do rio Piranhas-Açú, dentre os 52 reservatórios principais relacionados no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica rio Piranhas-Açú (ANA, 2014) (Figura 19). Estes três reservatórios são responsáveis pela perenização do rio Piranhas.

Figura 19- Principais reservatórios da Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu.



Fonte: ANA (2014).

A região do alto curso do Rio Piranhas apresenta problema de escassez hídrica decorrente, sobretudo, do uso da água para agricultura irrigada, maior consumidora de água e principal atividade econômica desta região (FARIAS, 2004). Esta área é responsável pelo abastecimento urbano de duas importantes cidades paraibanas, Cajazeiras (64 mil hab.) e Sousa (65 mil hab.), com uma população estimada em 2013 de cerca 129 mil habitantes no total (IBGE, 2010).

A montante do reservatório está situado o município de São José de Piranhas, com pouco mais de 19 mil habitantes, pouco urbanizado e com sua economia baseada, principalmente, na prestação de serviços (IBGE, 2010). Segundo a Pesquisa Nacional

de Saneamento Básico (2008), a cidade não possui sistema de esgotamento, sendo utilizadas fossas simples nas residências. A maior parte da população urbana possui água com tratamento convencional. O município possui sua sede há mais de 10 km do curso do rio Piranhas, a montante do reservatório, e como não possui industrialização e com pequena população, oferece pouco risco de liberação de cargas poluentes que sejam expressivas para a perda da qualidade de água do reservatório. A agricultura é fracamente densa nas margens do reservatório e pode oferecer riscos devido ao manejo inadequado dos insumos utilizados.

Segundo o IBGE (2013) as culturas perenes predominantes são a do coco-da-bahia, banana e manga, que demandam irrigação contínua no território do semiárido, assim como as culturas temporárias de cana-de-açúcar, arroz e milho, também utilizadas na região. Farias (2004) em estudo sobre este reservatório, conclui que a área irrigada poderia ser 60% maior no caso de modernização dos sistemas de irrigação, e que a retirada de água a montante do reservatório pode trazer riscos a capacidade de fornecimento de água para abastecimento e irrigação a partir do reservatório.

Os pontos de coleta das amostras de qualidade de água localizam-se na região do remanso a montante (Q36), próximo ao barramento (Q37) e a jusante do açude (Q38). O mapa de uso dos solos no entorno do reservatório demonstra que a área próxima ao ponto Q36 representa uma área com 25%-50% de sua ocupação por agricultura (Figura20). O uso do solo no entorno deste reservatório pode ser visualizado em suas áreas totais e porcentagens onde é demonstrado que quase 70% da área delimitada em 1000 m do entorno é ocupada por estabelecimentos agropecuários pouco densos ou intercalados por solo exposto ou por sistemas naturais (Tabela 12).

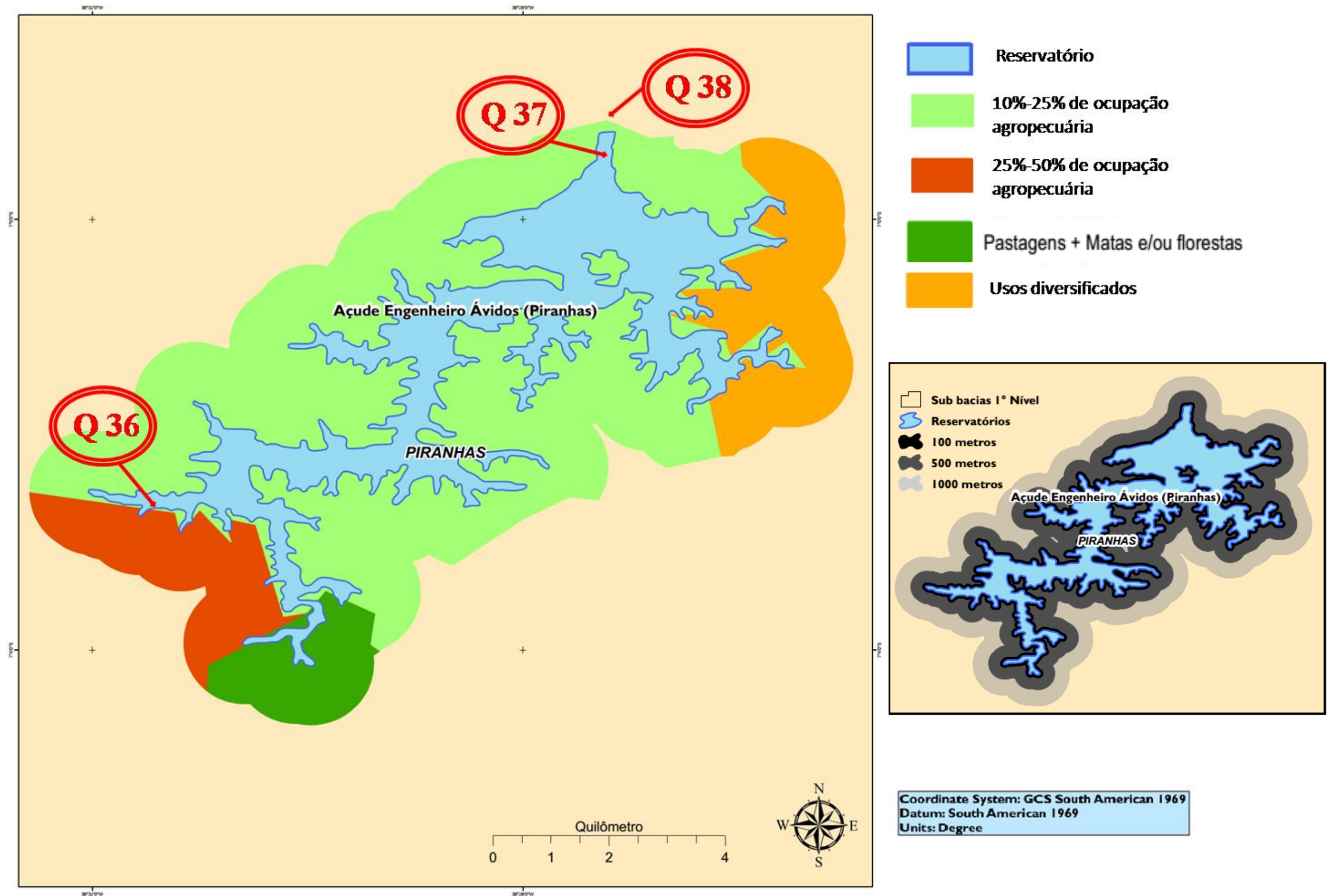


Tabela 12- Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Engenheiro Ávidos/PB.

Usos	Área (km ²)	%
Pastagens + Matas e/ou florestas	3,92	6,8
10% -25% e de ocupação por estabelecimentos agropecuários	40,41	69,9
25%-50% e de ocupação por estabelecimentos agropecuários	5,87	10,1
Usos diversificados	8,31	14,6
Total	57,82	100,00

Fonte: O autor.

Os resultados do IET evidenciaram que a presença de clorofila teve maior influência no índice, com valores elevados durante todo o estudo. Apesar de todos os pontos de coleta apresentarem concentrações de fósforo acima de 0,020 mg/l P que é o permitido pela Resolução CONAMA 357/ 2005 (BRASIL, 2005) para corpos hídricos Classe 2 na maior parte do período, verificou-se que esse parâmetro não foi determinante no cálculo do IET (Tabela 13).

A existência de dos adensamentos agropecuários nas proximidades das margens deste reservatório podem representar um aporte de nutrientes que tende a se elevar com o aumento da disponibilidade de água provinda do PISF e apresentar risco de eutrofização do reservatório.

Tabela 13- IET (CL), (PT) e Médio para reservatório Engenheiro Ávidos/PB. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.

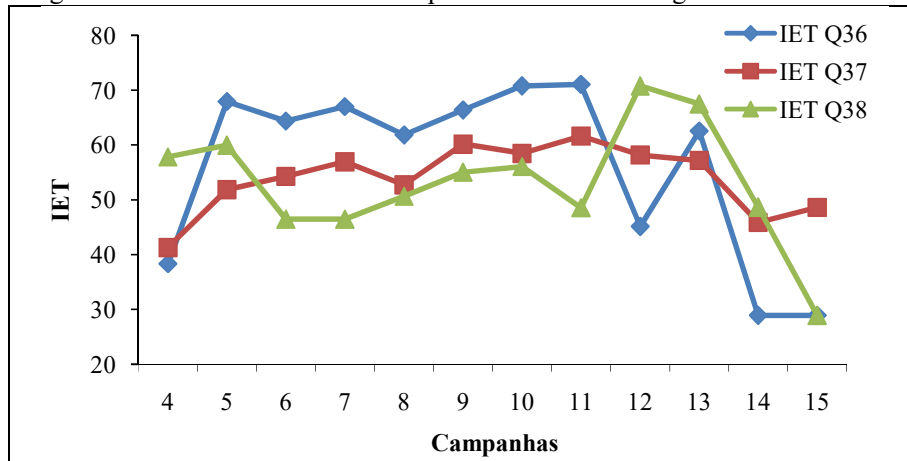
Ponto	Campanha	P-Total	Clorofila	IET (CL)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
Q36	4	0,04	0,01	30,68	46,03	38,36	Ultraoligotrófico
	5	2,44	10,7	64,90	70,94	67,92	Hipereutrófico
	6	0,44	21	68,21	60,56	64,38	Supereutrófico
	7	1,01	22	68,43	65,60	67,02	Hipereutrófico
	8	0,07	72	74,25	49,42	61,84	Eutrófico
	9	0,48	43	71,72	61,09	66,41	Hipereutrófico
	10	2,5	33	70,42	71,09	70,76	Hipereutrófico
	11	1,69	61	73,44	68,72	71,08	Hipereutrófico
	12	0,001	15	66,56	23,68	45,12	Oligotrófico
	13	2,04	1,5	55,26	69,86	62,56	Eutrófico
	14	0,001	0,02	34,08	23,68	28,88	Ultraoligotrófico
	15	0,001	0,02	34,08	23,68	28,88	Ultraoligotrófico
Q37	4	0,06	0,02	34,08	48,49	41,29	Ultraoligotrófico
	5	0,05	5	61,17	47,38	51,86	Oligotrófico
	6	0,03	5	61,17	44,29	54,28	Mesotrófico
	7	0,06	22	68,43	48,49	56,93	Mesotrófico
	8	0,07	16	66,87	49,42	52,73	Mesotrófico
	9	0,02	0,5	49,87	41,83	60,17	Eutrófico
	10	0,1	9	64,05	51,58	58,46	Mesotrófico
	11	0,01	1,5	55,26	37,63	61,63	Eutrófico
	12	0,04	1,5	55,26	46,03	58,15	Mesotrófico
	13	0,24	1,5	55,26	56,89	57,17	Mesotrófico
	14	2,5	33	70,42	71,09	45,85	Oligotrófico
	15	0,68	0,02	34,08	63,20	48,63	Oligotrófico
Q38	4	0,05	1,92	56,47	47,38	57,82	Mesotrófico
	5	0,02	5	61,17	41,83	59,94	Eutrófico
	6	0,07	5	61,17	49,42	46,45	Oligotrófico
	7	0,06	80	74,77	48,49	46,45	Oligotrófico
	8	0,06	9	64,05	48,49	50,65	Mesotrófico
	9	0,03	0,5	49,87	44,29	55,03	Mesotrófico
	10	0,08	0,5	49,87	50,23	56,08	Mesotrófico
	11	0,01	1,5	55,26	37,63	48,55	Oligotrófico
	12	0,11	1,5	55,26	52,16	70,76	Hipereutrófico
	13	0,02	1,5	55,26	41,83	67,46	Hipereutrófico
	14	0,19	11	65,03	55,47	48,64	Oligotrófico
	15	0,09	0,02	34,08	50,95	28,88	Ultraoligotrófico

Fonte: O autor.

O ponto Q38 apresentou 27% das campanhas com grau eutrófico ou superior (eutrófico na campanha 5, e supereutrófico nas campanhas 12 e 13). O ponto Q37 apresentou 18% das campanhas com grau eutrófico (campanhas 9 e 11). O ponto Q36 apresentou 82% em condição eutrófica ou superior (condição eutrófica na campanha 8, supereutrófica nas campanhas 6 e 13, e hipereutrófica nas campanhas 5, 7, 9, 10 e 11). O resultado da análise do IET do ponto Q36 demonstrou alto índice de eutrofização, quando comparado com os dois pontos a jusante do reservatório. Os processos de drenagem de

sua área de entorno, com ocupação agrícola mais intensificada, podem ser apontados como uma das principais causas desta eutrofização, juntamente com a carga poluidora do próprio rio Piranhas (Figura 21).

Figura 21: Índice de Estado Trófico para o reservatório Engenheiro Ávidos/PB.



Fonte: O autor.

Em estudo realizado por Marques et al., (2015), em três pontos de coletas no reservatório em questão, na região próxima à entrada do corpo hídrico, foi relatada a existência de alteração da qualidade de água a sua montante (próximo ao ponto Q36). Os testes foram realizados com micro-organismos, apontando, principalmente, a proximidade com a cidade de São José de Piranhas e a presença de esgotos não tratados neste trecho o rio.

Barbosa (2008), evidenciaram resultados semelhantes apontando que este reservatório sofre pressões antrópicas causadas pelo lançamento de esgoto sanitário sem tratamento de povoados próximos, juntamente com a descarga de efluentes das áreas de agricultura irrigada situadas no seu entorno.

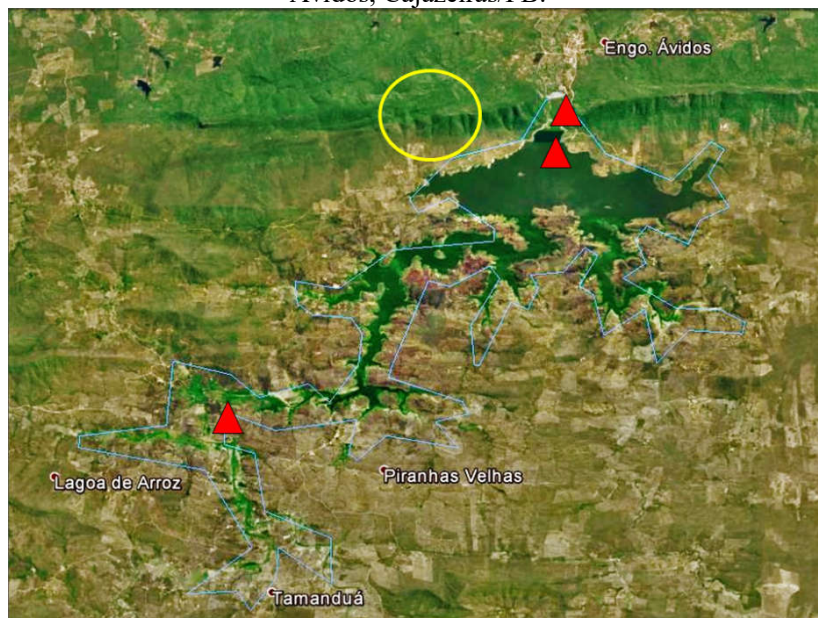
Em estudo realizado pela ANA (2014), onde foi utilizada a mesma metodologia da presente tese, em um ponto a montante e outro no barramento do reservatório em questão, os resultados apresentaram uma classificação para supereutrófico ($63 < IET \leq 67$).

Na região do reservatório Engenheiro Ávidos está localizada uma Unidade de Conservação (UC) denominada Distrito de Engenheiro Ávidos-Cajazeiras/PB (Figura22) sendo uma unidade de proteção integral da categoria Parque Ecológico sob

responsabilidade do município. Esta unidade tem 181,98 ha e foi homologada pela Lei Municipal 1147/GP-97 de 29/08/1997 (MI, 2005).

A presença de uma UC às margens do reservatório pode representar uma importante área de recarga de água de qualidade, tanto pelo sistema de drenagem superficial quanto pelo subterrâneo. Estudos para a verificação de quantidade de chuvas e do fluxo de água no solo podem quantificar os benefícios que uma UC oferece a um reservatório (ALCANTARA, 2015). No caso do reservatório Engenheiro Ávidos, a importância da UC foi comprovada por Feitosa et al., (2002), ressaltando o papel da interação entre as instituições governamentais para o controle ambiental da região, que apresentava diversos conflitos socioambientais.

Figura 22- Unidade de Conservação localizada no Distrito de Engenheiro Ávidos, Cajazeiras/PB.



Fonte: GoogleEarth (2014) modificado pelo autor.

O reservatório Engenheiro Ávidos ocupa uma posição de destaque no PISF, sendo o último reservatório de grandes dimensões a receber águas após o canal do Eixo Norte, além de possuir importância para o controle de vazão do rio Piranhas. Portanto, a proteção da qualidade de água deste reservatório apresenta especial interesse estratégico.

Os resultados da análise de ocupação do solo e IET demonstram que a eutrofização é um problema real e o uso agrícola do entorno pode ser o principal contribuinte para a eutrofização deste reservatório. Ações governamentais e de conscientização dos

moradores nas margens do reservatório devem ser intensificadas, principalmente em relação à melhoria do sistema de esgotamento sanitário, juntamente com o bom uso de técnicas agrícolas, tanto nas margens do açude como nas margens do rio Piranhas conforme ressaltado por diversos estudos realizados na área (ALVES et al., 2012; FEIJÓO; LOMBARDO, 2007; FREITAS, 2012; MELO, 2012; SAAD et al., 2007).

5.2.2 Reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves/RN - Eixo Norte

Posicionado a cerca de 220 km de distância do reservatório Engenheiro Ávidos, o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, também denominado Açude Açú, é formado por um barramento do rio Piranhas-Açu. Ao longo do leito do rio, as águas do PISF seguirão do reservatório Engenheiro Ávidos até o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, com contribuição dos rios Seridó, Piancó, rio do Peixe e riacho Baião (DNOCS, 2015) (Figura 23)

O barramento está localizado à 6 km a montante da cidade de Açú – RN. Atualmente 20 cidades e, aproximadamente, 350 mil habitantes possuem abastecimento público fornecido por este manancial (ANA, 2015). O reservatório possui área de drenagem de 36,770 km² e um volume de 389 milhões de m³. A concepção da barragem ocasionou o deslocamento de 1.852 famílias rurais, exigindo ações mitigadoras de impacto sobre estas populações, bem como transferir linhas de transmissão e um sistema viário (DNOCS, 2015). Diversas atividades econômicas são realizadas no corpo hídrico, como, aquicultura em tanques escavados e em pequena escala fornecimento de água para usos industriais. Grande parte de suas águas são destinadas a perímetros irrigados, como o Vale do Açú que depende diretamente de suas águas (SILVA;SILVA, 2007).

Figura 23- Vista geral do Reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves/RN.

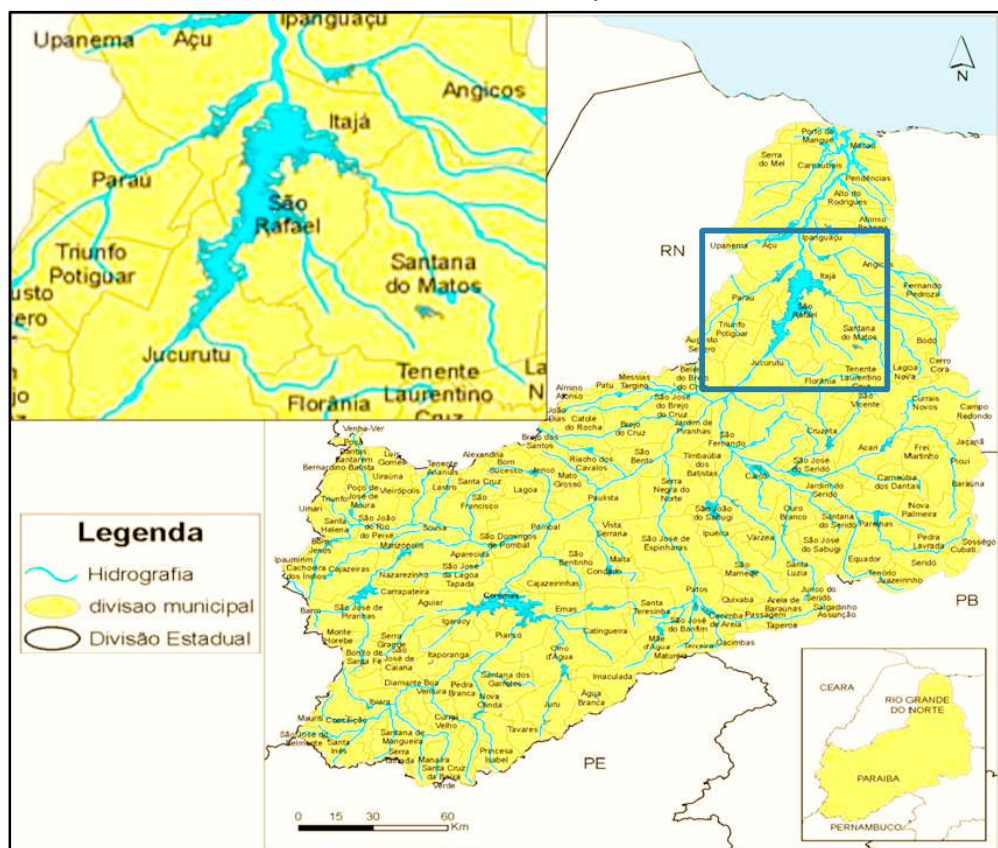


Fonte: DNOCS (2015).

A jusante do reservatório está localizada a região urbana dos municípios de Açú (Figura 24) com 15 mil habitantes e um sistema incompleto de tratamento de efluentes (IBGE, 2008; 2010). Também se situa na área de entorno do reservatório a sede municipal de São Rafael, com 8.111 habitantes, 61% destes com sistema de recolhimento de esgoto e uma estação anaeróbia, mas sem a divulgação de sua eficiência (CAERN, 2009; IBGE, 2008; 2010). Outros Municípios menores, localizados a montante do reservatório, como São Bento, Jucurutu, Sombra, Bonito, Cacimba de Baixo e Jatobá, têm o esgotamento sanitário em condições precárias, com despejo em córregos e riachos contribuintes (CAERN, 2015).

O reservatório está situado em uma região pouco povoada, porém as atividades relativas a agropecuária no seu entorno representa risco para a manutenção da qualidade de água. Segundo o mapa do uso do solo, as áreas do entorno do reservatório são ocupadas em sua maioria por estabelecimentos agropecuários de pequena e média densidade (Tabela 14 e Figura 25)

Figura 24- Localização do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves na Bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu.

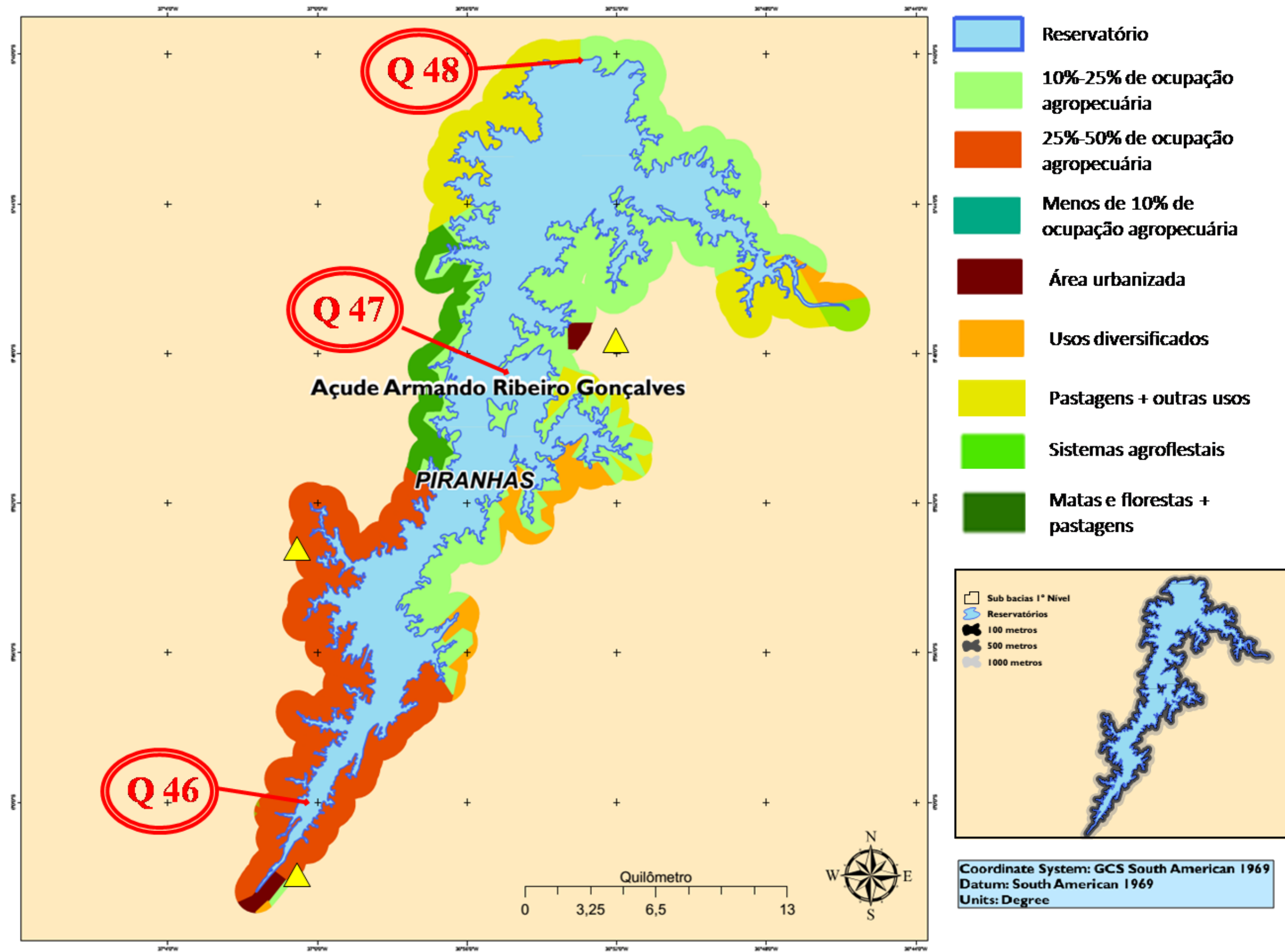


Fonte: AESA (2007) modificado pelo autor.

Tabela 14- Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN.

Usos	Área (km ²)	%
Pastagens + Matas e/ou florestas	16,00	6,64
Pastagens naturais	2,68	1,11
Área com menos de 10% de ocupação agropecuária	0,1	0,1
Área entre 25% e 10% de ocupação agropecuária	95,58	39,64
Área entre 50% e 25% de ocupação agropecuária	69,39	28,78
Pastagens + Lavouras	0,08	0,03
Pastagens + Outras coberturas e usos	39,78	16,50
Usos diversificados	16,52	6,85
Área urbanizada	3,08	1,28
Total	243,10	100,00

Fonte: O autor.

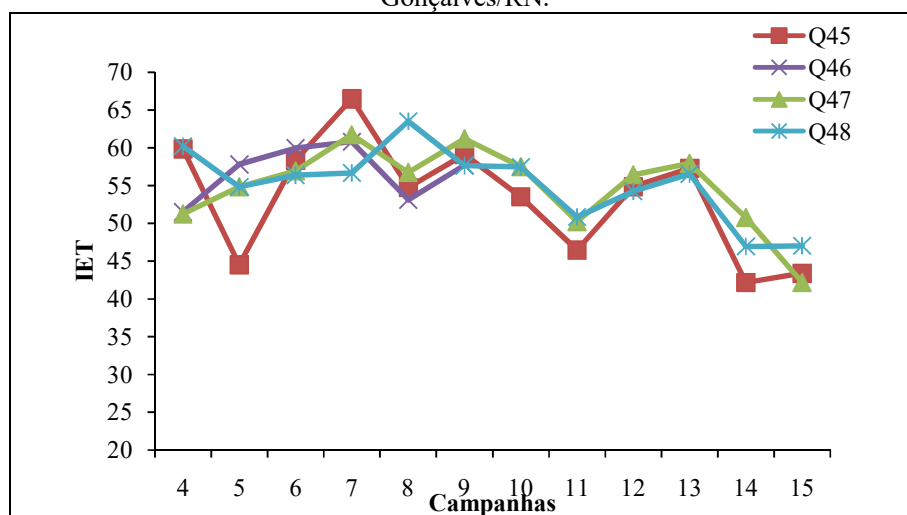


O resultado demonstrado no mapa, em relação à densidade das áreas ocupadas por agricultura, pode ser uma consequência das grandes áreas de solos expostos presentes na região, onde a vegetação natural foi retirada para utilização como fonte de energia. Em mapeamento realizado por Amorim (2007), por meio de geoprocessamento para a bacia do rio Piranhas, foram encontradas grandes áreas de solo exposto a montante do reservatório, áreas de lavoura, caatinga arbustiva e vegetação serrana no seu entorno.

Em relação ao IET, as campanhas 1, 2 e 3, não foram realizadas nestes pontos, pois este reservatório foi incluído posteriormente ao monitoramento do PISF (Figura 26). No ponto Q45, localiza-se no leito do rio Piranhas, a 12 km de distância do ponto Q46 na parte interna do reservatório. Este ponto foi inserido na análise por ser um importante indicador das condições da água a montante do reservatório. O ponto Q45 apresentou 27% do total de amostras do período acima do estado eutrófico (campanhas 4, 7 e 9) (Tabela 15)

O ponto Q46 passou grande parte do período de amostragem (campanhas 11,12,13,14 e 15) sem coletas, devido ao baixo nível de água no reservatório. As amostras para esse ponto apresentaram grau eutrófico em 33% do período amostral (campanhas 7 e 8). O ponto Q47 apresentou grau eutrófico para 18% das campanhas (7 e 9). O ponto Q48 também apresentou 18% do período com grau eutrófico ou superior (campanha 4 eutrófico e campanha 8 supereutrófico).

Figura 26- Índice de Estado Trófico para o reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN.



Fonte: O autor.

Tabela 15- IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN.
Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.

Ponto	Campanha	P-total	Clorofila	IET (CL)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
Q45	4	0,16	11,5	65,25	54,43	59,84	Eutrófico
	5	0,002	5	61,17	27,88	44,52	Oligotrófico
	6	0,19	5	61,17	55,47	58,32	Mesotrófico
	7	0,18	148	77,78	55,15	66,47	Supereutrófico
	8	0,07	4	60,07	49,42	54,75	Mesotrófico
	9	0,13	11	65,03	53,17	59,10	Eutrófico
	10	0,25	0,5	49,87	57,14	53,50	Mesotrófico
	11	0,01	1,5	55,26	37,63	46,45	Oligotrófico
	12	0,16	1,5	55,26	54,43	54,85	Mesotrófico
	13	0,36	1,5	55,26	59,35	57,30	Mesotrófico
	14	0,08	0,02	34,08	50,23	42,16	Ultraoligotrófico
	15	0,12	0,02	34,08	52,69	43,39	Oligotrófico
Q46	5	0,02	5	61,17	41,83	51,50	Mesotrófico
	6	0,16	5	61,17	54,43	57,80	Mesotrófico
	7	0,16	12	65,46	54,43	59,95	Eutrófico
	8	0,11	27	69,44	52,16	60,80	Eutrófico
	9	0,22	0,5	49,87	56,36	53,12	Mesotrófico
	10	0,57	1	53,27	62,13	57,70	Mesotrófico
Q47	4	0,04	1,92	56,47	46,03	51,25	Mesotrófico
	5	0,06	5	61,17	48,49	54,83	Mesotrófico
	6	0,12	5	61,17	52,69	56,93	Mesotrófico
	7	0,13	32	70,27	53,17	61,72	Eutrófico
	8	0,07	9	64,05	49,42	56,74	Mesotrófico
	9	0,24	12	65,46	56,89	61,18	Eutrófico
	10	0,09	9	64,05	50,95	57,50	Mesotrófico
	11	0,01	7	62,82	37,63	50,22	Mesotrófico
	12	0,27	1,5	55,26	57,60	56,43	Mesotrófico
	13	0,44	1,5	55,26	60,56	57,91	Mesotrófico
	14	1,36	0,02	34,08	67,40	50,74	Mesotrófico
	15	0,08	0,02	34,08	50,23	42,16	Ultraoligotrófico
Q48	4	0,06	44,6	71,90	48,49	60,19	Eutrófico
	5	0,06	5	61,17	48,49	54,83	Mesotrófico
	6	0,1	5	61,17	51,58	56,38	Mesotrófico
	7	0,11	5	61,17	52,16	56,66	Mesotrófico
	8	0,2	39	71,24	55,78	63,51	Supereutrófico
	9	0,08	11	65,03	50,23	57,63	Mesotrófico
	10	0,07	12	65,46	49,42	57,44	Mesotrófico
	11	0,01	9	64,05	37,63	50,84	Mesotrófico
	12	0,13	1,5	55,26	53,17	54,22	Mesotrófico
	13	0,28	1,5	55,26	57,82	56,54	Mesotrófico
	14	0,39	0,02	34,08	59,83	46,96	Oligotrófico
	15	0,4	0,02	34,08	59,98	47,03	Oligotrófico

Fonte: O autor.

O resultado do IET para o ponto Q47, localizado nas proximidades do município de Açu mostra uma elevada concentração de clorofila e fósforo na campanha 7 (Tabela 16). Resultado que pode ser correlacionado com a presença de perímetros irrigados do Projeto do Vale do Açu, em conjunto com o lançamento de efluentes ainda com carga

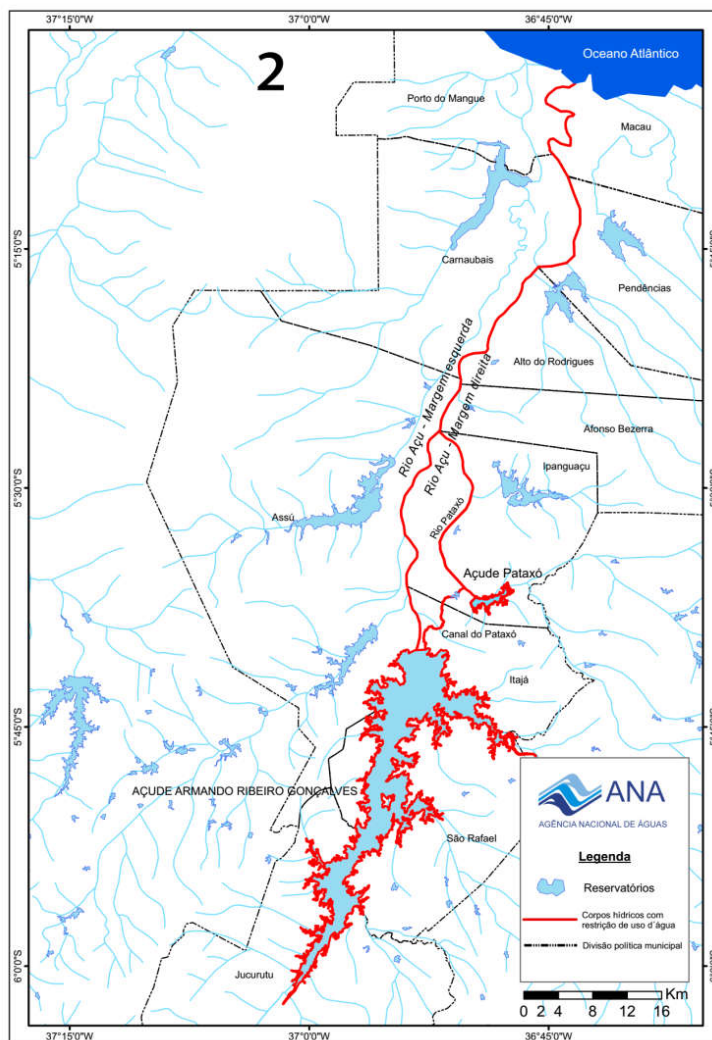
poluidora relacionando este aporte provável de nutrientes ao grau de eutrofização na campanha para este ponto.

A área urbana na área central localizada na margem esquerda do reservatório, próximo ao ponto Q47, é parte do município de São Rafael/RN, que possui como principais produções as culturas de feijão e milho, também existindo na região a extração vegetal para a produção de carvão. A pecuária é explorada neste município, principalmente, com o gado bovino para a produção de leite (IBGE, 2010).

O ponto Q48, localizado próximo ao barramento, possuiu os melhores resultados, porém o estado geral é o mesotrófico. Pode ser apontada como causa desta melhora na qualidade de água a localização do ponto. O gerenciamento do reservatório em questão enfrenta diversos desafios como o intenso uso de fertilizantes, o cultivo de peixes e camarões, que em conjunto com a situação ambiental de baixa pluviosidade, alta insolação e evaporação, fazem com que este reservatório fique permanentemente em risco de eutrofização e floração de cianobactérias, oferecendo risco à população que destas águas dependem (COSTA et al., 2006; CHELLAPPA, 2009).

A ANA (2015), formalizou a Resolução Conjunta ANA-IGARN N° 1202, para racionamento do uso da água do reservatório e corpos hídricos da região (Figura 27) solicitando adaptações da empresa de abastecimento de água do Rio Grande do Norte (CAERN), a fim de reduzir o consumo de água, dada à escassez hídrica que atinge a região.

Figura 27-Restrição do uso de água para o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves e demais corpos hídricos.



Fonte: ANA (2015).

Righetto e Guimarães Filho (2003), apontam a necessidade de, no momento da entrada das águas do PISF para os reservatórios da bacia do rio Piranhas, que a vazão de entrada das águas providas do Eixo Norte seja capaz de suprir as perdas que existirão em seu trajeto. Segundo esses autores, a vazão estimada em $3\text{m}^3/\text{s}$ pode não ser suficiente para abastecer em quantidade o reservatório, e assim garantir condições para que a demanda requerida no Vale do Açu seja atendida.

Por ser fonte essencial de captação para abastecimento público da região interiorana do Rio Grande do Norte, também agindo para a perenização do rio Piranhas, e por este corpo hídrico ser um reservatório receptor das águas do PISF - Eixo Norte, é destacada

a importância da manutenção das condições de suas águas e o correto manejo do solo, essenciais para a preservação de suas águas.

5.2.3 Reservatório Castanhão/CE - Eixo Norte

O reservatório Castanhão está inserido na bacia do rio Jaguaribe e é responsável por 100% do abastecimento público da região metropolitana de Fortaleza (Figura28) (SRH-CE, 2015). Possui grande importância para a região por sua gestão fazer o controle das secas e cheias sazonais que atingem o vale do Jaguaribe, e por fazer parte da reserva hídrica do estado do Ceará como um todo (SRH-CE, 2015).

Figura 28- Reservatório Castanhão/CE.



Fonte: DNOCS (2015).

Este reservatório é de construção recente, localizado quase que na totalidade dentro da área do município de Nova Jaguaribe, tendo sua obra concluída em 2002 por meio de parceria entre Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará – SRH/CE e o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS (DNOCS, 2015). Durante a construção do reservatório foi necessário remover a antiga sede do município de Jaguaribara, que ficou sob as águas. Em substituição à cidade submersa, foi construída a cidade de Nova Jaguaribara.

No entorno do reservatório estão localizados os municípios de Jaguaribe (34 mil hab.), Jaguaretama (18 mil hab.), Iracema (13,5 mil hab.) e Jaguaribara ou Nova Jaguaribara (10,5 mil hab.) (IBGE, 2010). O saneamento nestas cidades é realizado pela CAGECE,

com exceção de Jaguaribe, que tem este serviço realizado pela empresa Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). No município de Iracema o esgoto é coletado 100%, no entanto não existe dados sobre a quantidade de efluente tratado. Jaguaritama e Jaguabiraba possuem 100% do esgoto tratado, porém a rede coletora atinge menos de 50% da população destes municípios. Para o município de Nova Jaguaribe, 30% do esgoto é coletado e destes 90% são tratados (SNIS, 2014).

Os municípios em seu entorno possuem vocações econômicas para cultivo de algodão herbáceo (irrigado e sequeiro), manga, cana-de-açúcar, feijão, milho, banana irrigada, coco irrigado, bovinocultura de corte e leite semi-intensiva e intensiva, caprinocultura de corte semi-intensiva, ovinocultura extensiva, turismo e piscicultura consorciada intensiva, produzindo cerca de 1,5 milhão kg/ano de pescada em tanques rede (tilápia). (IBGE, 2014).

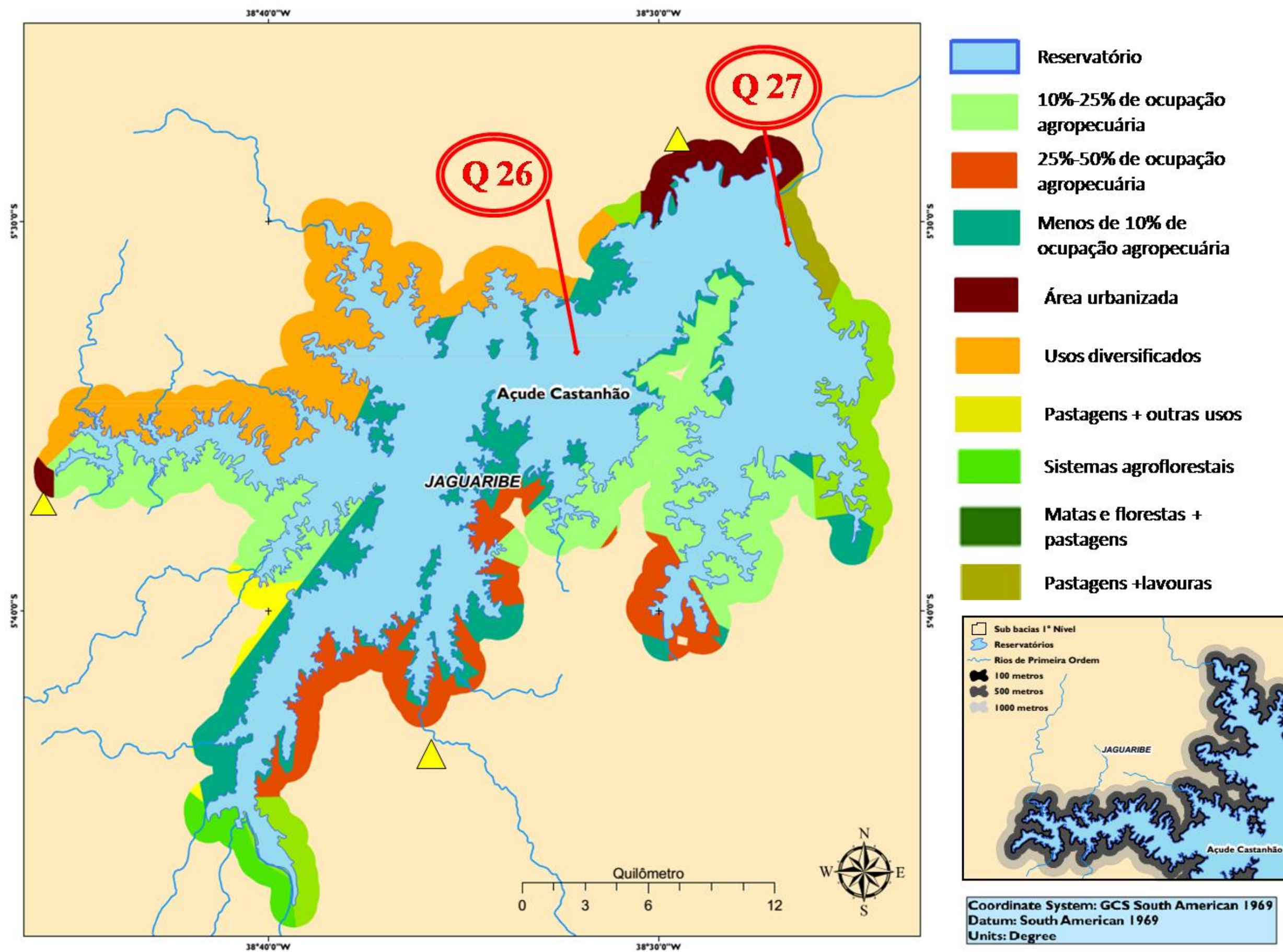
O uso do solo calculado para a área de entorno do reservatório Castanhão é predominantemente pela classe denominada de 25% e 10% ocupadas por agropecuária (27,64%) e por usos diversificados (22,63%) (Figura 29, Tabela 16). Estas áreas representam baixo risco para a manutenção da qualidade da água do reservatório.

Tabela 16 - Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Castanhão/CE.

Uso do Solo	Área (km²)	%
Pastagens naturais	30,46	9,22
Sistemas agroflorestais	8,92	2,70
Sistemas agroflorestais + usos diversificados	5,71	1,73
Usos diversificados	74,74	22,63
Área com menos de 10% de ocupação por agropecuária	57,71	17,47
Área entre 25% e 10% de ocupação por agropecuária	91,30	27,64
Área entre 50% e 25% de ocupação por agropecuária	42,17	12,77
Pastagens + Lavouras	6,02	1,82
Área urbanizada	13,28	4,02
Total	330,31	100,00

Fonte: O autor.

As áreas urbanas representadas pelo triângulo amarelo na figura 29 são sedes municipais de Jaguaribara, na parte superior, Jaguaritaca, na lateral esquerda, e Jaguaribe, na parte inferior. Não foi possível adquirir dados confiáveis sobre a eficiência das estações de tratamento destas cidades, porém segundo os dados do SNIS (2014) estas estações estão em funcionamento.



Os pontos de amostragem no reservatório (Q26 e Q27) ao longo do período de coleta variaram do estado mesotrófico para eutrófico (Tabela 17, Figura 30). O monitoramento do reservatório Castanhão demonstra que as amostras físico-químicas de qualidade de água possuem valores que ultrapassam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 375/2005 principalmente para DBO (superior a 5,0 mg/l O₂), para as campanhas 11- 15 nos dois pontos de coleta, porém a tendência de eutrofização do reservatório é dada pela grande quantidade de vegetação em decomposição dentro do reservatório no período.

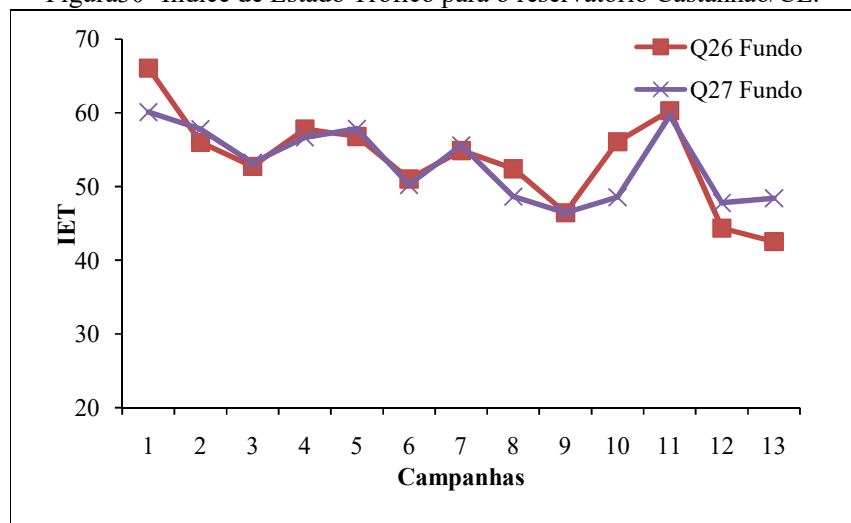
O ponto Q26, localizado no eixo do reservatório, apresentou alto grau de trofia somente nas campanhas 3, 11 e 14, que corresponde a 25% do período amostral. O ponto Q27 apresentou alto grau de trofia somente nas campanhas 3 e 13, que corresponde a 13% do período amostral. Portanto, este reservatório apresentou água de boa qualidade durante o período estudado.

Tabela 17- IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Castanhão/CE. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.

Ponto	Campanha	P -total	Clorofila a	IET (CL)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
Q26	3	1,75	8,54	63,7932	68,92659	66,35989	Supereutrófico
	4	0,04	13,7	66,11155	46,03151	56,07153	Mesotrófico
	5	0,02	5	61,16735	41,83151	51,49943	Oligotrófico
	6	0,08	2,4	57,56711	50,23151	53,89931	Mesotrófico
	7	0,05	12	65,46167	47,3836	56,42264	Mesotrófico
	8	0,02	4	60,07279	41,83151	50,95215	Oligotrófico
	9	0,04	16	66,87279	46,03151	56,45215	Mesotrófico
	10	0,06	6,3	62,30099	48,48835	55,39467	Mesotrófico
	11	0,99	1,5	55,26167	65,4748	60,36824	Eutrófico
	12	0,2	1,5	55,26167	55,7836	55,52264	Mesotrófico
	13	0,28	1,5	55,26167	57,8224	56,54203	Mesotrófico
	14	0,26	8	63,47279	57,37335	60,42307	Eutrófico
	15	0,01	0,02	34,08368	23,67941	49,88155	Ultraoligotrófico
Q27	3	1,88	11,2	65,12325	69,36078	67,24201	Hipereutrófico
	4	0,05	4,06	60,14583	47,3836	53,76471	Mesotrófico
	5	0,01	5	61,16735	37,63151	49,39943	Oligotrófico
	6	0,06	5	61,16735	48,48835	54,82785	Mesotrófico
	7	0,05	17	67,17017	47,3836	57,27689	Mesotrófico
	8	0,02	4	60,07279	41,83151	50,95215	Oligotrófico
	9	0,01	13	65,85429	37,63151	51,7429	Oligotrófico
	10	0,04	0,5	49,87279	46,03151	47,95215	Oligotrófico
	11	0,01	1,5	55,26167	37,63151	46,44659	Ultraoligotrófico
	12	0,56	1,5	55,26167	62,0224	58,64203	Mesotrófico
	13	0,76	1,5	55,26167	63,8728	59,56723	Eutrófico
	14	3,8	0,02	34,08368	73,6249	53,85429	Mesotrófico
	15	0,053	0,02	34,08368	47,73667	40,91018	Ultraoligotrófico

Fonte: O autor.

Figura30- Índice de Estado Trófico para o reservatório Castanhão/CE.

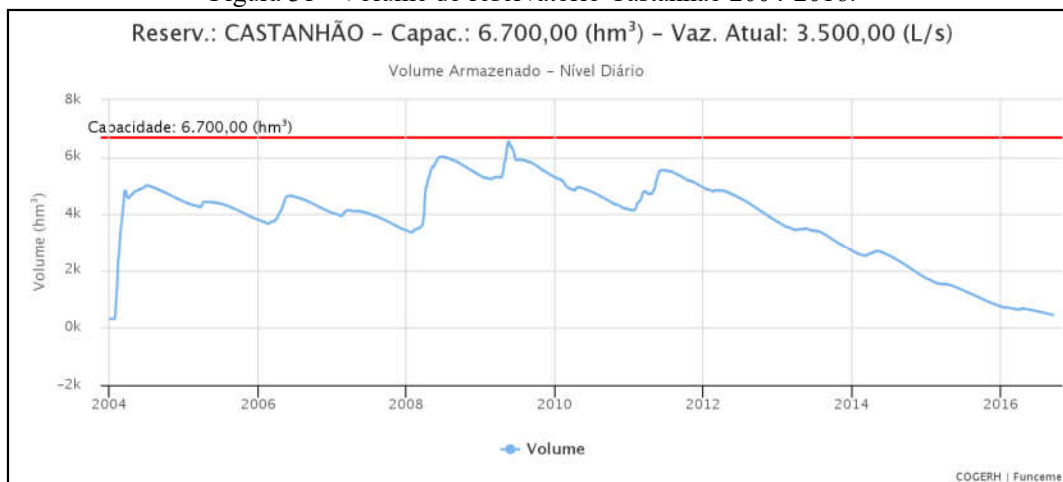


Fonte: O autor.

A presença de ocupação urbana no entorno do reservatório Castanhão pode representar risco, caso o saneamento nas cidades na área de entorno seja realizado sem eficiência necessária e seus afluentes despejados nos trechos de rios a montante. Esta situação é levantada no RIMA do PISF, que elabora como meta para a mitigação deste impacto o investimento massivo nas estações de tratamento de esgoto das cidades nesta situação (MI, 2002).

A variação do volume do reservatório (Figura 31) segue a variação da precipitação descrita por Alves et al., (2007) para séries históricas, com concentração das chuvas nos meses de fevereiro, março e abril. A variação do estado trófico não acompanha a variação do volume, o que reforça a hipótese de que a carga poluente sofre variação conforme o uso do solo no entorno do reservatório e nos trechos próximos do rio Jaguaribe.

Figura 31 - Volume do reservatório Castanhão 2004-2016.



Fonte: COGERH (2016).

Molisani et al., (2013), em estudo relativo ao fluxo de nutrientes neste reservatório relatam que a retenção de fósforo é alta, principalmente pela condição intermitente do rio e o controle de fluxo de descarga da barragem. Espera-se que com a entrada do volume de água de boa qualidade do Rio São Francisco, será realizada a manutenção da quantidade e da qualidade de água para este reservatório.

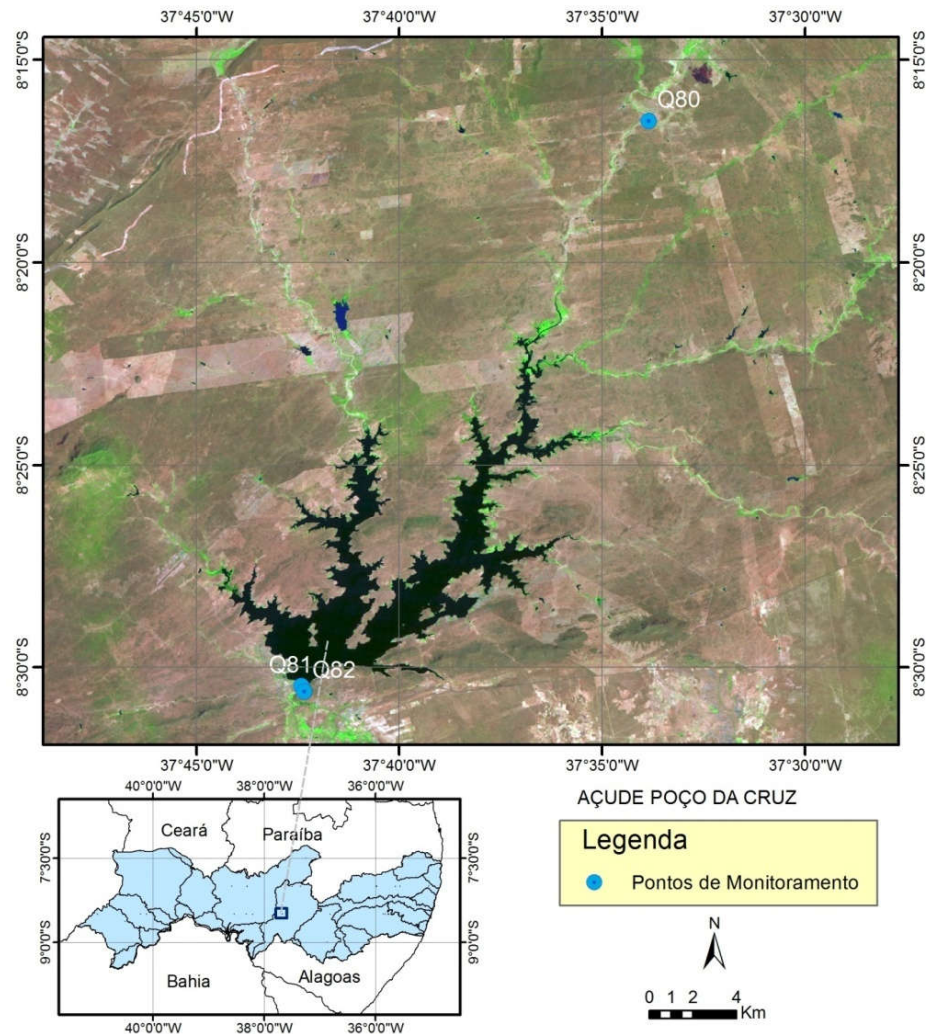
A proteção do solo nas margens aliada ao controle ambiental dos projetos de piscicultura em operação neste reservatório deve ser ampliado para evitar o aporte de nutrientes e por consequência a eutrofização de suas águas.

5.2.4 Reservatório Poço da Cruz/PE - Eixo Leste

O açude Público Francisco Sabóia, conhecido como Poço da Cruz, está localizado no município de Ibimirim/PE, bacia do rio Moxotó e formado pelo barramento deste rio. A profundidade máxima varia entre 37 e 50 metros. Este reservatório foi projetado pela Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), e atualmente é gerido pelo DNOCS. Possui como finalidades principais a irrigação das terras a jusante e a montante do vale, a piscicultura e a geração de energia que se encontra desativada (MELO, 2011).

O reservatório Poço da Cruz (Figura 32), é o maior reservatório da bacia do Rio Moxotó, abastecendo a cidade de Ibimirim/PE, com população estimada em 28.604 hab. para 2015, densidade demográfica de 13,79 hab/km², e apresenta um dos menores Índices de Desenvolvimento Humano do Brasil (0,566) (IBGE, 2010).

Figura 32- Reservatório Poço da Cruz /PE.



Fonte: Melo, 2011.

Este reservatório possui importância na irrigação, pesca e lazer (MELO, 2012; MONTEIRO, 2015). Segundo Monteiro (2015), o perímetro irrigado Moxotó tem importância econômica para a região, onde são cultivados banana, manga, mamão, goiaba e coco.

O Poço da Cruz é um dos principais reservatórios do PISF, onde as águas providas do Eixo Leste, é transportada por meio de um canal secundário (MI, 2002) (Figura 33).

Figura 33- Canal secundário do reservatório Poço da Cruz /PE.



Fonte: Lira (2015).

Em estudo realizado por Araujo (2011), com moradores do povoado Poço da Cruz (Ibimirim/PE), localizado as margens do reservatório, foi evidenciado que a região não possui saneamento básico e existe defasagem de conhecimento e entendimento sobre os riscos e impactos que esta situação pode ocasionar, uma realidade comum nas zonas rurais do semiárido.

Quanto ao uso do solo no entorno de 1 km do reservatório, a ocupação predominante é de estabelecimentos agropecuários, com 62,7% de área classificada como ocupação pouco densa e uma área de 3% de área urbanizada (Tabela18).

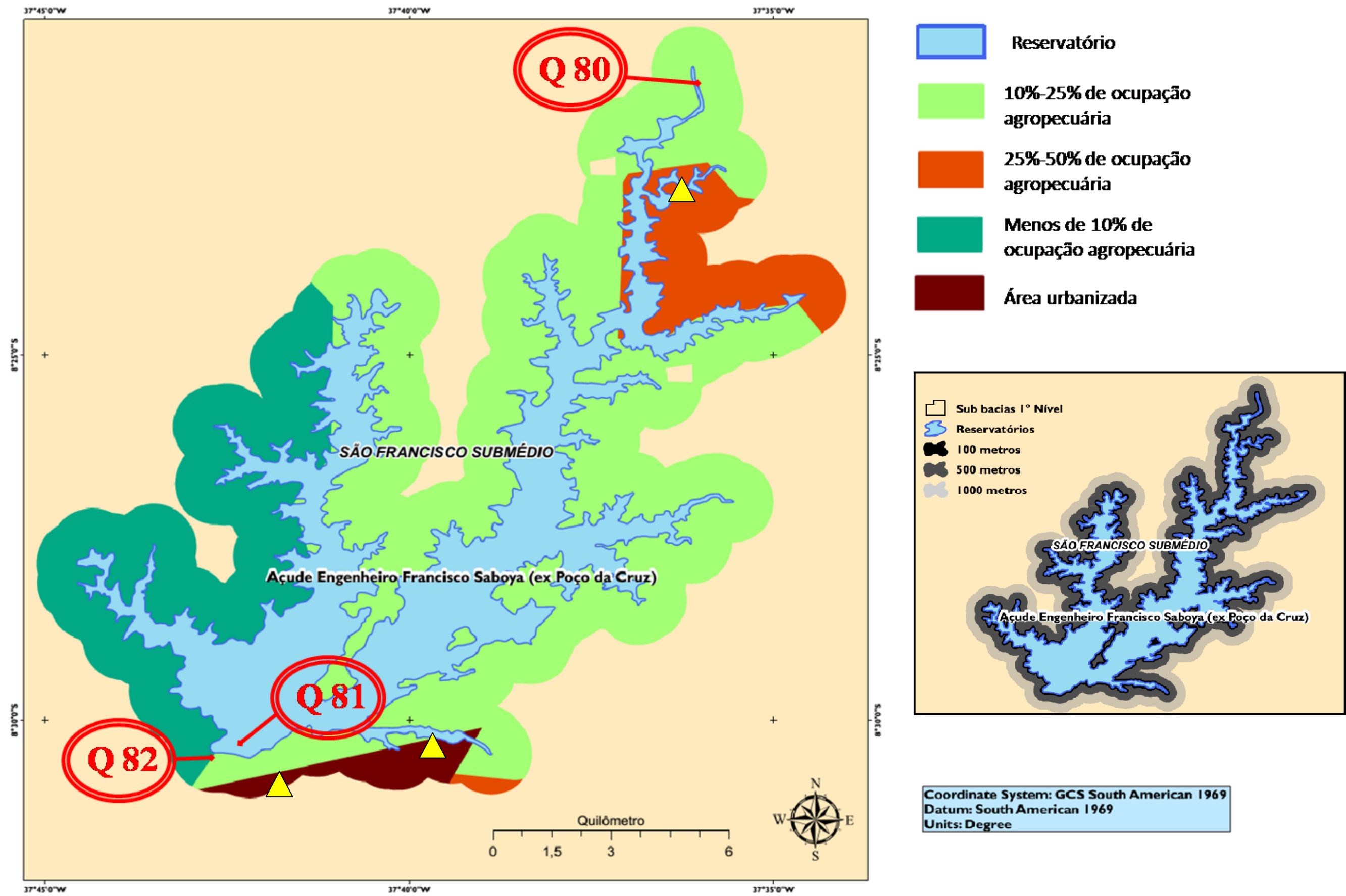
Tabela 18- Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Poço da Cruz/PE.

Uso do solo	Área (km ²)	%
Menos de 10% de ocupação agropecuária	34,21	25,37
10%-25% de ocupação agropecuária	84,49	62,67
25%-50% de ocupação agropecuária	11,96	8,87
Área urbanizada	4,16	3,08
Total	134,81	100,00

Fonte: O autor.

As áreas de entorno apresentam duas regiões com potencial poluidor (Figura 34). A área em vermelho próxima do ponto de amostragem Q80 indica o uso do solo na classe de 25% a 50% por ocupação agropecuária, que pode gerar degradação da qualidade da água pela drenagem de fertilizantes e agrotóxicos. A outra área com potencial poluidor está localizada próxima aos pontos de amostragem Q81 e Q82, onde encontra-se a área urbana do município de Ibimirim/PE.

Monteiro (2015), em trabalho realizado com imagens de satélite, obtendo os índices de vegetação no entorno do reservatório Poço da Cruz, verificou que em uma extensão de 1.000 metros, a partir do espelho d'água na cota máxima, a classe com maior área está representada por vegetação rasteira e seca (4.769 ha, de um total de 6.937,51 ha), correspondendo a 69% da área total. Segundo IBGE (2010), as áreas de agricultura pouco adensadas correspondem à classificação vegetação rasteira. Portanto, este resultado se aproxima do obtido neste estudo, onde a vegetação rasteira e áreas pouco adensadas categorizadas na classe 10%-25% de ocupação agropecuária, totalizam 8.449 ha, correspondendo a 67% da área total.



O ponto Q80 localizado a montante do reservatório foi classificado como eutrófico nas campanhas 2, 6 e 7 (Tabela 19). Nas demais campanhas a escassez de água não permitiu a realização da coleta.

No que se refere ao estado trófico, o ponto Q81 apresentou grau eutrófico ou superior em 23% das campanhas analisadas (campanhas 2 e 3 hipereutrófico, campanha 4, eutrófico). Para este ponto não possível o cálculo do IET para as campanhas 6 e 8 devido a amostragem inadequada.

Para o ponto Q82, 26% das campanhas apresentaram grau eutrófico ou superior (campanhas 2 e 8 eutrófico; campanha 3 hipereutrófico e campanha 15 supereutrófico).

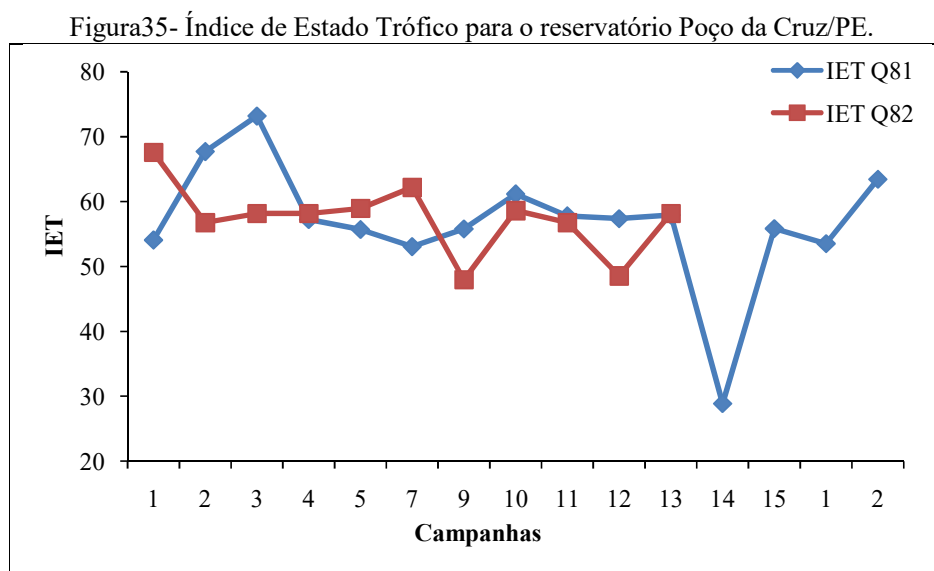
Tabela 19- IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Poço da Cruz/PE. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.

Campanha	Ponto	P-Total	Clorofila	IET (CL)	IET (PT)	IET	Estado trófico
Q80	2	0,4	5,34	61,49	59,98	60,74	Eutrófico
	6	0,39	5	61,17	59,83	60,50	Eutrófico
	7	0,7	5	61,17	63,37	62,27	Eutrófico
Q81	1	0,03	8,6	63,83	44,29	54,06	Mesotrófico
	2	3,4	6,51	62,46	72,95	67,71	Hipereutrófico
	3	4,8	39,8	71,34	75,04	73,19	Hipereutrófico
	4	0,06	13,4	66,00	48,49	57,25	Mesotrófico
	5	0,08	5	61,17	50,23	55,70	Mesotrófico
	7	0,01	22	68,43	37,63	53,03	Mesotrófico
	9	0,02	29	69,79	41,83	55,81	Mesotrófico
	10	0,1	35	70,71	51,58	61,15	Eutrófico
	11	0,42	1,5	55,26	60,28	57,77	Mesotrófico
	12	0,12	6	62,06	52,69	57,38	Mesotrófico
	13	0,44	1,5	55,26	60,56	57,91	Mesotrófico
	14	0,001	0,02	34,08	23,68	28,88	Ultraoligotrófico
	15	0,72	0,35	48,12	63,55	55,83	Mesotrófico
Q82	1	0,08	2,07	56,84	50,23	53,54	Mesotrófico
	2	1,9	2,35	57,46	69,42	63,44	Eutrófico
	3	4,7	4,14	60,24	74,91	67,58	Hipereutrófico
	4	0,15	3,52	59,45	54,04	56,74	Mesotrófico
	5	0,18	5	61,17	55,15	58,16	Mesotrófico
	6	0,18	5	61,17	55,15	58,16	Mesotrófico
	7	0,06	27	69,44	48,49	58,96	Mesotrófico
	8	0,22	20	67,97	56,36	62,16	Eutrófico
	9	0,04	0,5	49,87	46,03	47,95	Oligotróficos
	10	0,11	11	65,03	52,16	58,60	Mesotrófico
	11	0,3	1,5	55,26	58,24	56,75	Mesotrófico
	12	0,02	1,5	55,26	41,83	48,55	Oligotróficos
	13	0,48	1,5	55,26	61,09	58,18	Mesotrófico
	14	1,04	0,0961	41,78	65,77	53,78	Mesotrófico
	15	0,82	20,52	68,09	64,33	66,21	Supereutrófico

Fonte: O autor.

Os resultados para o IET nos pontos Q81 (eixo da barragem) e Q82 (jusante do reservatório) apresentaram resultados semelhantes (Figura 35). Os dados apresentam características de eutrofização, sendo influenciada pela clorofila. Esse resultado corrobora com estudo realizado por Regueira (2013) no mesmo reservatório, com dados de 2005 a 2008. O autor relatou elevados valores de densidade de cianobactérias, clorofila a e fósforo. Contudo, o reservatório foi classificado como oligotrófico no período de estiagem e supereutrófico no período chuvoso.

Monteiro (2015), em análise do índice de vegetação das margens do reservatório de Poço da Cruz, conclui que são necessárias intervenções imediatas para a recuperação ambiental, em especial a recuperação das áreas de solo exposto. As áreas de entorno deste reservatório necessitam, portanto, de intervenção para a proteção de suas águas, o trabalho de reflorestamento de margens, controle de agroquímicos e saneamento nos aglomerados urbanos ao longo do rio Moxotó.



Fonte: O autor.

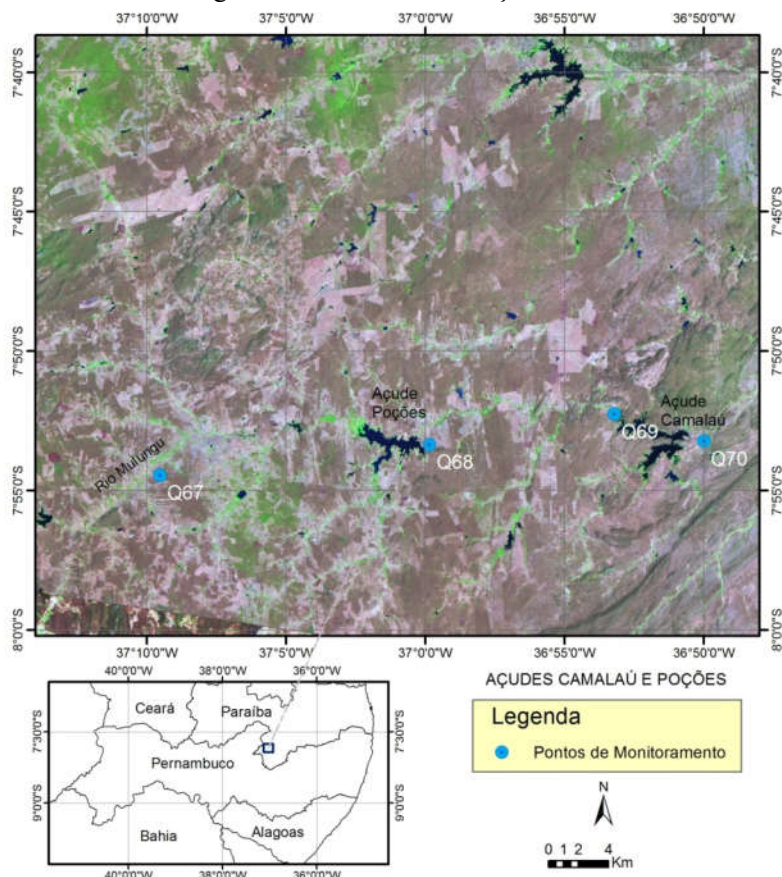
5.2.5 Reservatório Poções/PB - Eixo Leste

O reservatório Poções está localizado na bacia hidrográfica do rio Paraíba, formado pelo represamento deste rio, com volume de cerca de 30 milhões de m³ (Figura 36). Este reservatório foi concebido para suprir projetos de irrigação na região de município de Monteiro/PB. Ele está situado em uma região com precipitação abaixo de 588 mm/ano

(PARAIBA, 2013). A partir deste reservatório serão construídas adutoras com a totalidade de 4,2 m³/s de vazão que atenderão regiões mais carentes do estado da Paraíba com águas providas do PISF (BRITO, 2013).

O reservatório está inserido no município de Monteiro, que possui uma população de cerca de 30 mil hab. (IBGE, 2010). Segundo o IBGE (2008), o município possui estação de tratamento de esgoto sanitário com pouca eficiência. A produção agrícola é baseada em culturas cíclicas de feijão, milho e tomate (IBGE, 2014).

Figura 36 - Reservatório Poções /PB.



Fonte: Melo (2011).

Cerca de 66,5% das áreas de entorno são ocupadas pela classe usos diversificados, ou seja, comunidades agrícolas sem grandes áreas de plantação ou com uso extrativista do solo (Figura 37e tabela 20). Menor proporção do entorno está classificada como pastagens naturais (4,48%) e matas e/ou florestas + pastagens (29,03%).

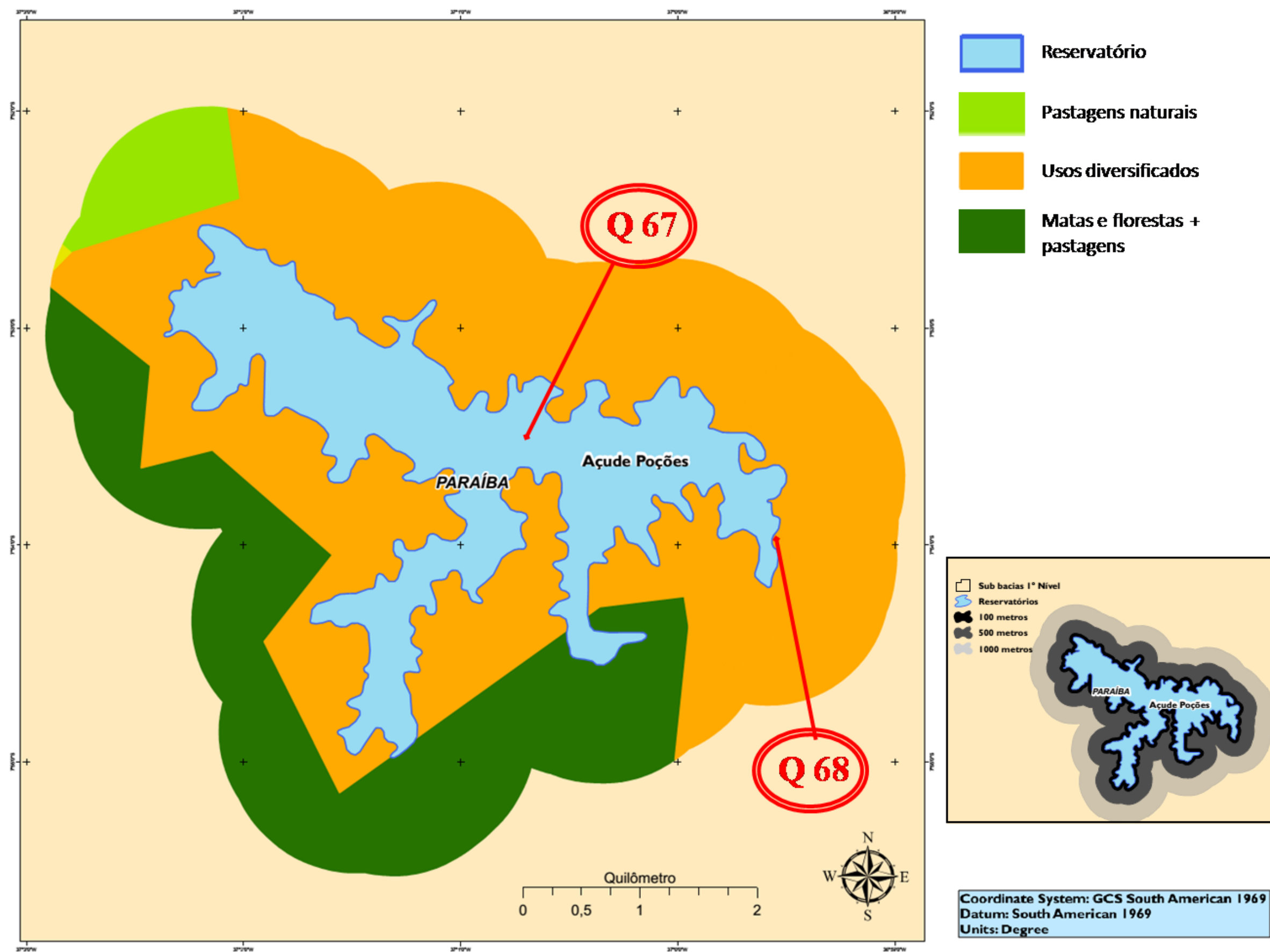


Tabela 20 - Classes dos usos do solo para as margens do reservatório Poções/PB.

Uso do solo	Área (km²)	%
Matas e/ou florestas + pastagens	7,09	29,03
Pastagens naturais	1,10	4,48
Usos diversificados	16,24	66,49
Total	24,43	100,00

Fonte: O autor.

Com relação ao IET, os resultados para o ponto Q67 foram obtidos apenas nas campanhas 1 e 2, uma vez que nas demais este ponto se apresentou seco, em virtude da escassez hídrica e consequente diminuição do volume do reservatório. O resultado do índice de estado trófico calculado para essas duas campanhas resultou numa condição eutrófica (Tabela21, Figura 38).

O ponto Q68 localizado à margem do reservatório, apresentou grau eutrófico ou superior em 53% das campanhas, sendo eutrófico para campanhas 2, 7, 10, 12 e 13; supereutrófico para 4 e 9; hipereutrófico para a campanha 3. O estado utraoligotrófico foi observado na campanha 14, que pode ser considerada uma melhora nas condições tróficas do reservatório.

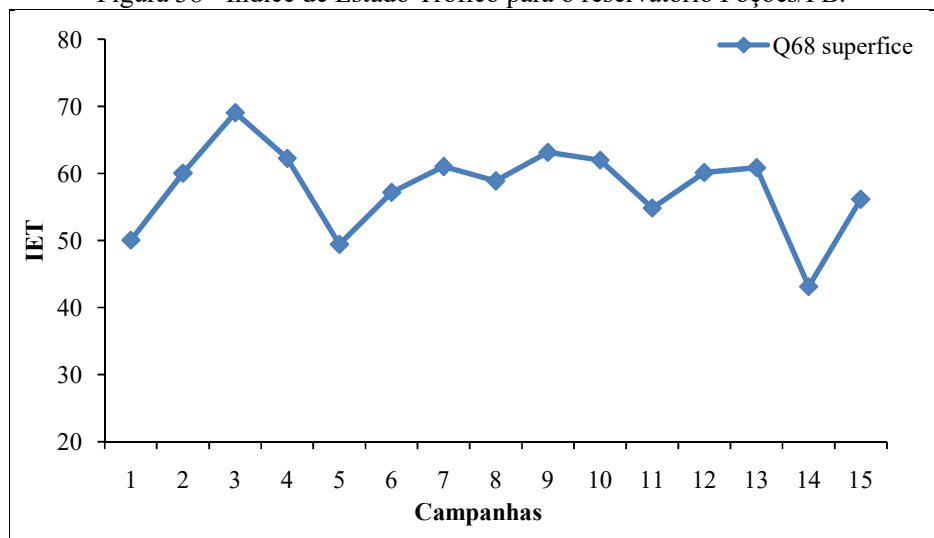
Silva (2014), em trabalho realizado na região em questão, ressalta que a escassez hídrica em 2010, resultou em redução do volume de água e, por consequência, aumento nas concentrações de sais. Além disso, verificou a baixa concentração de oxigênio dissolvido, apontado como resultado da degradação de matéria orgânica proveniente dos impactos antropogênicos no reservatório. Neste estudo foram utilizados macroinvertebrados bentônicos como indicadores do estado de eutrofização do reservatório.

Tabela 21- IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Poções/PB. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.

Ponto	Campanha	P total	Clorofila a	IET (CL)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
Q67	1	0,2	8,2	63,59392	55,7836	59,68876	Eutrófico
	2	0,3	8,54	63,7932	58,24045	61,01682	Eutrófico
Q68	1	0,07	0,59	50,68467	49,4224	50,05353	Oligotrófico
	2	0,3	5,74	61,84437	58,24045	60,04241	Eutrófico
	3	1,2	40,7	71,45245	66,64045	69,04645	Hipereutrófico
	4	0,11	49	72,36281	52,16112	62,26196	Supereutrófico
	5	0,01	5	61,16735	37,63151	49,39943	Oligotrófico
	6	0,13	5	61,16735	53,17335	57,17035	Mesotrófico
	7	0,18	16	66,87279	55,14519	61,00899	Eutrófico
	8	0,12	11	65,03486	52,68835	58,86161	Mesotrófico
	9	0,16	44	71,83486	54,43151	63,13318	Supereutrófico
	10	0,09	56	73,0178	50,94519	61,9815	Eutrófico
	11	0,16	1,5	55,26167	54,43151	54,84659	Mesotrófico
	12	0,92	1,5	55,26167	65,03047	60,14607	Eutrófico
	13	1,16	1,5	55,26167	66,43503	60,84835	Eutrófico
	14	0,11	0,02	34,08368	52,16112	43,1224	Ultraoligotrófico
	15	1,68	0,1402	43,63569	68,67924	56,15747	Mesotrófico

Fonte: O autor.

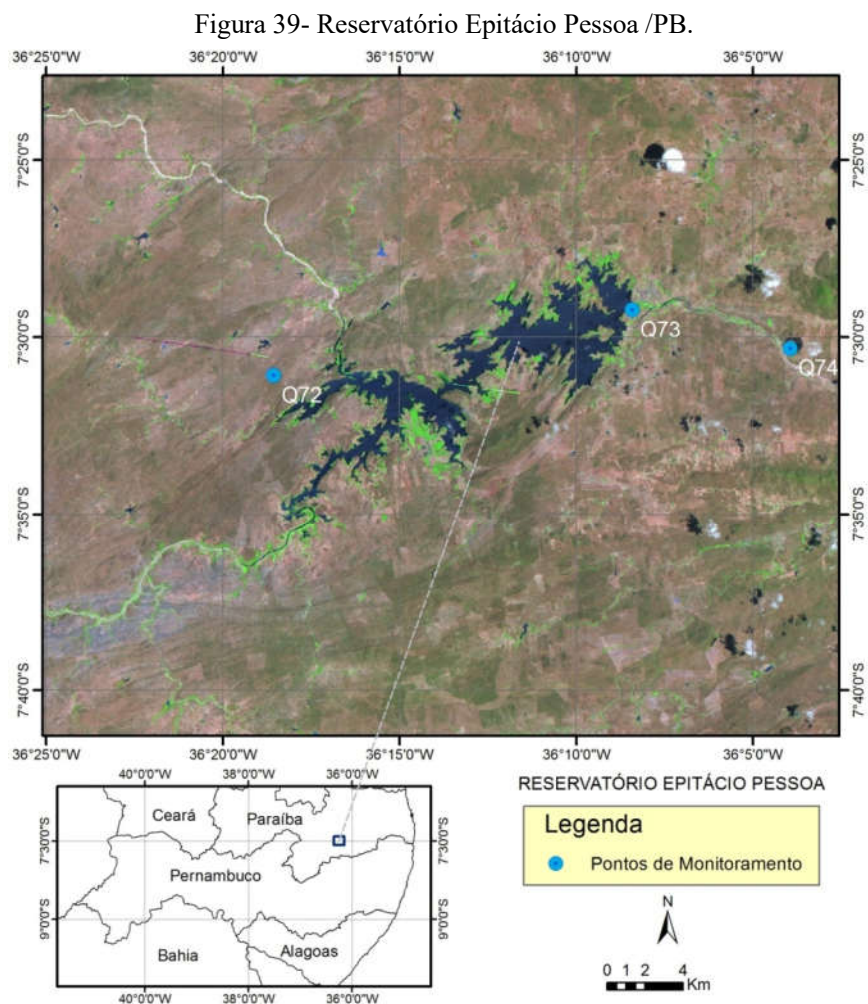
Figura 38 - Índice de Estado Trófico para o reservatório Poções/PB.



Fonte: O autor.

5.2.6 Reservatório Epitácio Pessoa/PB - Eixo Leste

O reservatório público Epitácio Pessoa, conhecido popularmente por Boqueirão, está inserido na bacia hidrográfica do Alto Paraíba e foi construído entre os anos de 1951 e 1956 pelo DNOCS (Figura 39). É o segundo reservatório do estado em capacidade de acumulação, o maior da bacia do rio Paraíba, apresentando um volume máximo de armazenamento de 411 milhões m^3 , abastecendo a cidade de Campina Grande (400 mil hab.), a segunda maior do estado e outras da circunvizinhança (PARAÍBA, 2004).



A área da bacia hidrográfica pertence a vários municípios do Estado da Paraíba e está inserida nas regiões dos Cariris e Curimataú, caracterizadas por baixa precipitação pluviométrica e elevadas taxas evaporativas. É densamente ocupada por açudes, possuindo um total de 708. A montante do açude de Boqueirão existem 22 açudes de médio porte construídos para regularização da vazão do rio Paraíba (DNOCS, 2005).

As cidades no seu entorno são Boqueirão, Cabaceiras e Barra de São Miguel. A cidade de Boqueirão, da onde se origina o nome popular para o reservatório Epitácio Pessoa, possui pouco mais de 17,5 mil habitantes segundo estimativa do IBGE (2010) para 2016.

O uso do solo no entorno do reservatório é classificado, principalmente, como pastagens naturais (52,483 km²) e matas e/ou florestas + pastagens (20,548 km²), correspondendo a 64,36% da área total (Tabela 23, e Figura 40). Este reservatório possui área urbanizada em suas margens (município Boqueirão, com 17 mil hab.), correspondendo a 1,8184 km².

Tabela 23- Classes dos usos do solo às margens do reservatório Epitácio Pessoa /PB.

Uso do solo	Área (km²)	%
Matas e/ou florestas + Pastagens	20,548	18,11
Sistemas agroflorestais + usos diversificados	7,4845	6,60
Pastagens naturais	52,483	46,25
25% a 50% de ocupação por estabelecimentos agropecuários	18,353	16,17
Usos diversificados	11,545	10,17
Outras coberturas e usos	1,2382	1,09
Área urbanizada	1,8184	1,60
Total	113,47	100,00

Fonte: O autor.

O mapa de uso e ocupação do solo mostra uma área urbana próxima ao ponto Q73 correspondendo a uma região de 1,8 km² da área urbana do município de Boqueirão. Esta ocupação a princípio oferece riscos pela drenagem fluvial da cidade e por ligações clandestinas nestas.

O IET do ponto Q72 apresentou grau eutrófico ou superior em 33% das seis campanhas analisadas (campanha 2, supereutrófico; e campanha 3, hipereutrófico). Devido ao baixo nível do reservatório não foram realizadas as campanhas (1, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15) (Tabela 23).

O ponto Q73 apresentou 20% das campanhas com grau eutrófico ou superior campanha 2, eutrófico e campanha 3 e 14 supereutrófico. (Figura40). O ponto Q73 apresentou estado mesotrófico e eutrófico pelo fato de estar localizado em uma área com maior volume de água e dentro do reservatório. Esta característica deve-se, principalmente, à ocupação das margens do rio Paraíba, tanto a montante quanto a jusante do reservatório.

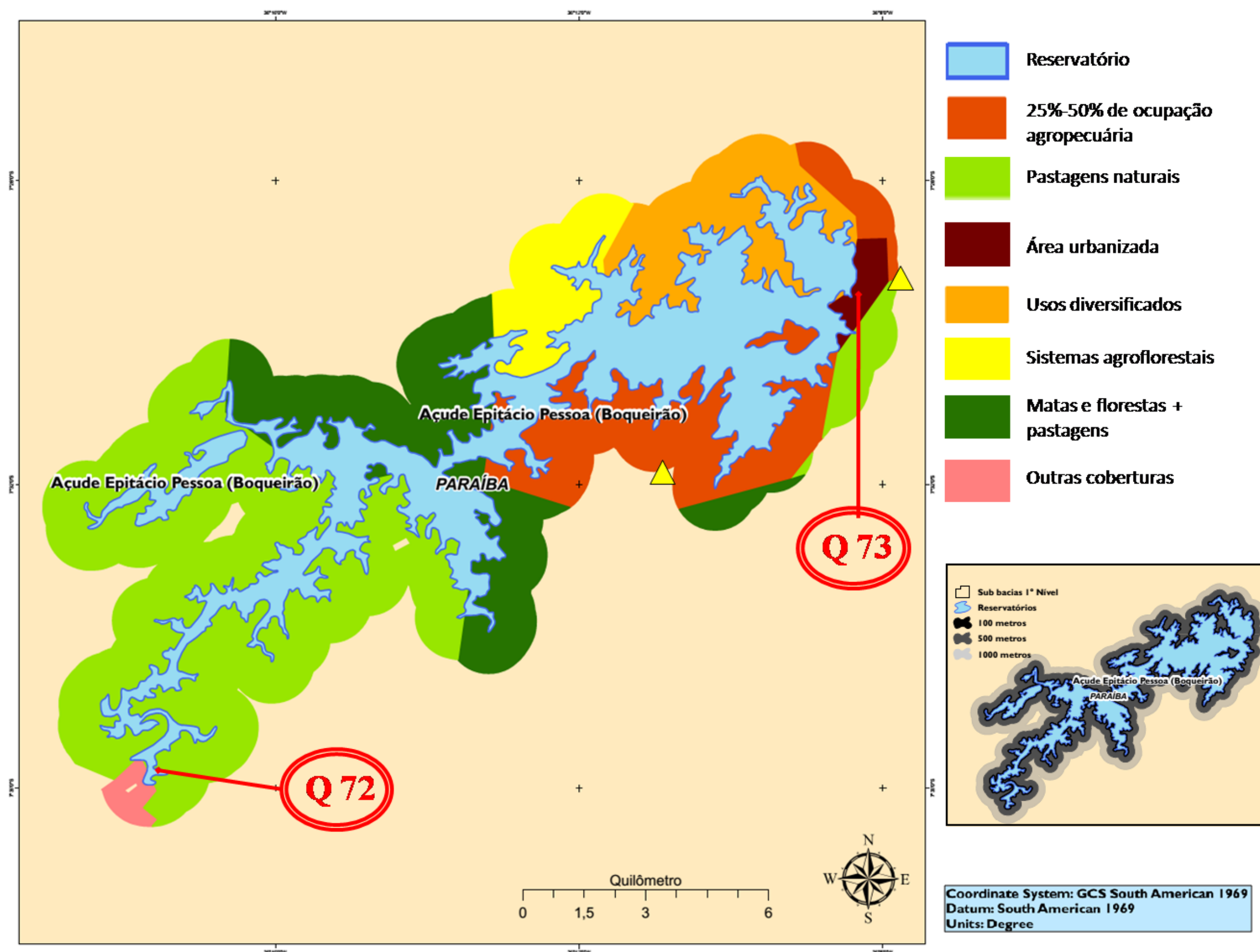
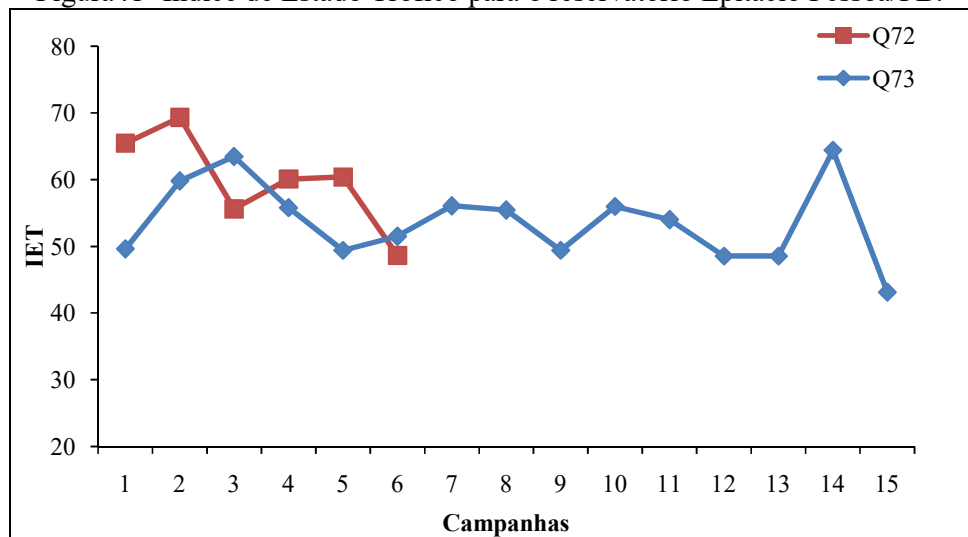


Tabela 23- IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Epitácio Pessoa/PB. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.

Ponto	Campanha	P total	Clorofila	IET (CL)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
Q72	2	4,2	2	56,67	74,23	65,45	Supereutrófico
	3	5	7,8	63,35	75,29	69,32	Hipereutrófico
	4	0,08	4,81	60,98	50,23	55,6	Mesotrófico
	6	0,34	5	61,17	59	60,08	Eutrófico
	7	0,07	40	71,37	49,42	60,39	Eutrófico
	8	0,05	0,5	49,87	47,38	48,63	Oligotróficos
Q73	1	0,01	5,45	61,59	37,63	49,61	Oligotróficos
	2	0,1	20,2	68,02	51,58	59,8	Eutrófico
	3	2,3	1,87	56,34	70,58	63,46	Supereutrófico
	4	0,08	5,18	61,34	50,23	55,79	Mesotrófico
	5	0,01	5	61,17	37,63	49,4	Oligotróficos
	6	0,02	5	61,17	41,83	51,5	Oligotróficos
	7	0,09	5	61,17	50,95	56,06	Mesotrófico
	8	0,05	8	63,47	47,38	55,43	Mesotrófico
	9	0,01	5	61,17	37,63	49,4	Oligotróficos
	10	0,06	8	63,47	48,49	55,98	Mesotrófico
	11	0,12	1,5	55,26	52,69	53,98	Mesotrófico
	12	0,02	1,5	55,26	41,83	48,55	Oligotróficos
	13	0,02	1,5	55,26	41,83	48,55	Oligotróficos
	14	0,92	8,54	63,79	65,03	64,41	Supereutrófico
	15	0,11	0,02	34,08	52,16	43,12	Ultraoligotrófico

Fonte: O autor.

Figura41- Índice de Estado Trófico para o reservatório Epitácio Pessoa/PB.



Fonte: O autor.

No diagnóstico ambiental realizado pelo DNOCS (2005) foram levantados os principais problemas ambientais, bem como as fontes de poluição. Prioritariamente, duas fontes de poluição devem ser combatidas: poluição por esgotos domésticos, cujo risco tende a crescer a medida que se promove o desenvolvimento em torno do açude, e a poluição proveniente do uso inadequado de agrotóxicos. Esses problemas se agravam nos locais onde a ocupação do território se faz de forma desordenada, como nas áreas de vazante quando o nível do açude atinge uma cota abaixo de certa cota crítica, nas áreas de preservação permanente, e na zona urbana da cidade de Boqueirão, diretamente em contato com o açude.

A poluição por esgoto doméstico apresenta um caráter mais urgente no município de Boqueirão, problema que precisa ser analisado no Plano Diretor da Sede Municipal de Boqueirão. Este plano deverá vincular a renovação de uso do solo a critérios ambientais.

Conforme descrito por Silva Junior (2013), outra fonte de poluição que necessita de controle é a presença de embarcações motorizadas (lanchas e *jets-ski*) no reservatório, que provoca risco de contaminação hídrica por óleos e combustíveis, bem como de erosão das margens por conta do hidrodinamismo.

5.2.7 Reservatório Itaparica

O ponto Q54, localizado próximo a captação do Eixo Leste apresentou grau eutrófico ou superior em 29% das 14 campanhas analisadas (supereutrófico nas campanhas 2, 3 e 11; eutrófico na campanha 9) (Figura 42 e tabela 24). Isso se deve provavelmente ao fato deste ponto de amostragem estar situado em uma região do reservatório com baixa circulação de água e próximo às margens.

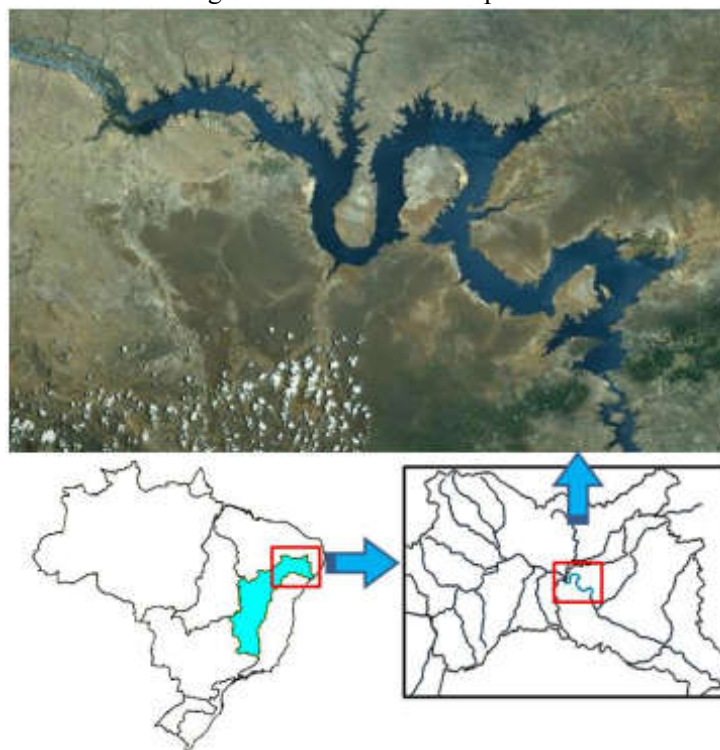
O ponto Q84, localizado no eixo do reservatório, região que apresenta melhor qualidade de água uma vez que 21% das 14 campanhas analisadas apresentaram grau eutrófico ou superior (eutrófico na campanha 11; supereutrófico nas campanhas 2 e 3).

O ponto Q86 localizado nas proximidades do ponto de captação do Eixo Norte, em ambiente lótico, a montante do reservatório Itaparica, apresentou 25% das 12

campanhas analisadas com grau eutrófico ou superior (eutrófico nas campanhas 3 e 7; supereutrófico na campanha 14).

Verificou-se que nos pontos de amostragem ao longo das campanhas realizadas nestes pontos de amostragem do reservatório Itaparica IET com grau oligotrófico ou ultraoligotrófico (Q54-29%; Q84-57%; Q86-42%) que representa boa qualidade de água, em um percentual significativa das amostras.

Figura 42- Reservatório Itaparica.



Fonte: Melo, 2011.

Tabela 24- IET (CL), (PT) e Médio para o reservatório Itaparica. Valores em negrito indicam IET igual ou acima do Eutrófico.

Ponto	Campanha	P-Total	Clorofila a	IET (CL)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
Q54	1	0,01	1,5	55,26	37,63	46,45	Ultraoligotrófico
	2	0,22	3,74	59,74	69,74	64,74	Supereutrófico
	3	0,47	1,7	55,88	74,91	65,39	Supereutrófico
	4	0,13	4,91	61,08	53,17	57,13	Mesotrófico
	5	0,07	5	61,17	49,42	55,29	Mesotrófico
	6	0,04	5	61,17	46,03	53,60	Mesotrófico
	7	0,02	11	65,03	41,83	53,43	Mesotrófico
	9	2,11	0,5	49,87	70,06	59,97	Eutrófico
	10	0,09	3	58,66	50,95	54,80	Mesotrófico
	11	4,08	1,5	55,26	74,06	64,66	Supereutrófico
	12	0,1	1,5	55,26	51,58	53,42	Mesotrófico
	13	0,02	1,5	55,26	41,83	48,55	Oligotrófico
	14	0,001	10	64,57	23,68	44,12	Ultraoligotrófico
	15	0,001	0,02	34,08	23,68	28,88	Ultraoligotrófico
Q84	1	0,01	0,75	51,86	37,63	44,75	Ultraoligotrófico
	2	0,42	5,47	61,61	74,23	67,92	Supereutrófico
	3	0,46	0,9	52,76	74,78	63,77	Supereutrófico
	4	0,05	1,34	54,71	47,38	51,05	Oligotrófico
	5	0,08	5	61,17	50,23	55,70	Mesotrófico
	6	0,01	5	61,17	37,63	49,40	Oligotrófico
	7	0,02	5	61,17	41,83	51,50	Oligotrófico
	9	0,02	1	53,27	41,83	47,55	Oligotrófico
	10	0,09	12	65,46	50,95	58,20	Mesotrófico
	11	1,23	1,5	55,26	66,79	61,03	Eutrófico
	12	0,02	1,5	55,26	41,83	48,55	Oligotrófico
	13	0,02	1,5	55,26	41,83	48,55	Oligotrófico
	14	1,6	0,1202	42,88	68,38	55,63	Mesotrófico
	15	0,1	0,02	34,08	51,58	42,83	Ultraoligotrófico
Q86	3	0,51	0,53	50,16	74,66	62,41	Eutrófico
	4	0,05	0,01	30,68	47,38	39,03	Ultraoligotrófico
	5	0,07	5	61,17	49,42	55,29	Mesotrófico
	6	0,1	5	61,17	51,58	56,38	Mesotrófico
	7	0,05	38	71,12	47,38	59,25	Eutrófico
	8	0,05	0,5	49,87	47,38	48,63	Oligotrófico
	9	0,05	2	56,67	47,38	52,03	Mesotrófico
	11	0,01	1,5	55,26	37,63	46,45	Ultraoligotrófico
	12	0,02	1,5	55,26	41,83	48,55	Oligotrófico
	13	0,32	1,5	55,26	58,63	56,95	Mesotrófico
	14	0,35	20,5	68,09	59,17	63,63	Supereutrófico
	15	0,001	11	65,03	23,68	44,36	Ultraoligotrófico

Fonte: O autor

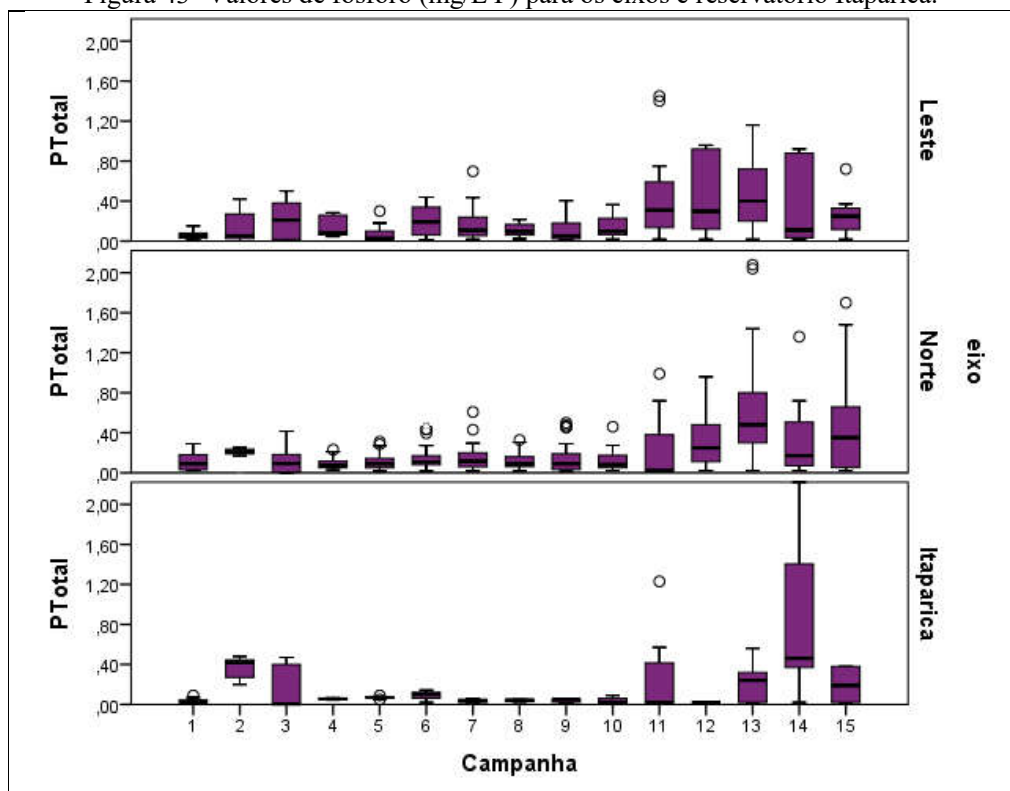
Ao relacionar o uso do solo com a qualidade de água do reservatório Itaparica, Araújo Filho et al., (2013) concluíram que existe forte relação dos atributos do solo com os parâmetros físico-químicos da água, e que estes solos em conjunto com o tratamento insuficiente de efluentes sanitários, e outras causas antropogênicas como a piscicultura, podem estar relacionados com processos de eutrofização do reservatório.

5.3 ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE DA ÁGUA, ENTRE O RESERVATÓRIO ITAPARICA E OS EIXOS NORTE E LESTE

Conforme apresentado no capítulo anterior, a qualidade da água do reservatório Itaparica se diferencia das demais bacias hidrográficas, tanto para o Eixo Norte como para o Eixo Leste. Aqui apresentados de forma gráfica com os pontos de amostragem apenas dos reservatórios.

A Figura 43 apresenta os resultados das análises de fósforo total para as 15 campanhas realizadas considerando conjuntamente os valores para ambientes lênticos. O valor limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, é de 0,03 mg/L para ambientes lênticos e 0,050 mg/L para ambientes intermediários. Para ambos eixos e o reservatório Itaparica, verificou-se que as campanhas 2 e 3 apresentaram valores muito elevados e as campanhas 11, 12, 13 e 14 ultrapassaram em menor escala esse valor limite.

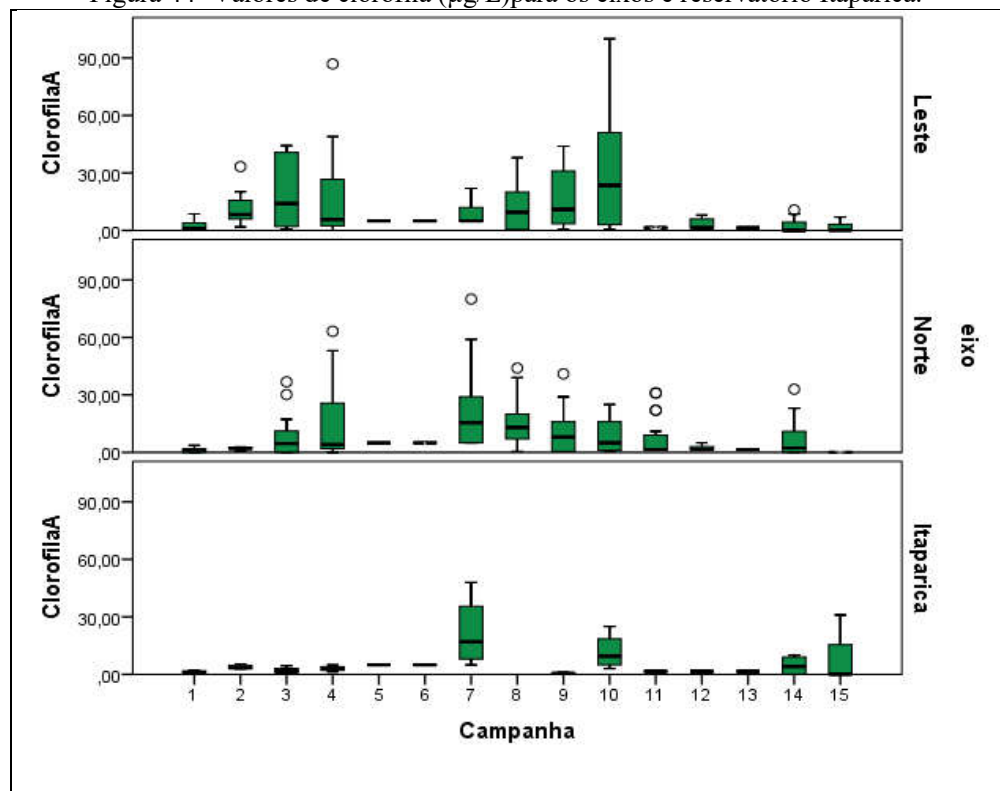
Figura 43- Valores de fósforo (mg/L P) para os eixos e reservatório Itaparica.



Fonte: O autor.

As amostras de clorofila (Figura 44) para ambos eixos, demonstraram valores superiores ou próximos ao máximo de 30 µg/l estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 nas campanhas 3, 7, 8, 9 e 10 para os eixos, enquanto o reservatório Itaparica apresentou os valores elevados nas campanhas 7, 10, 14 e 15.

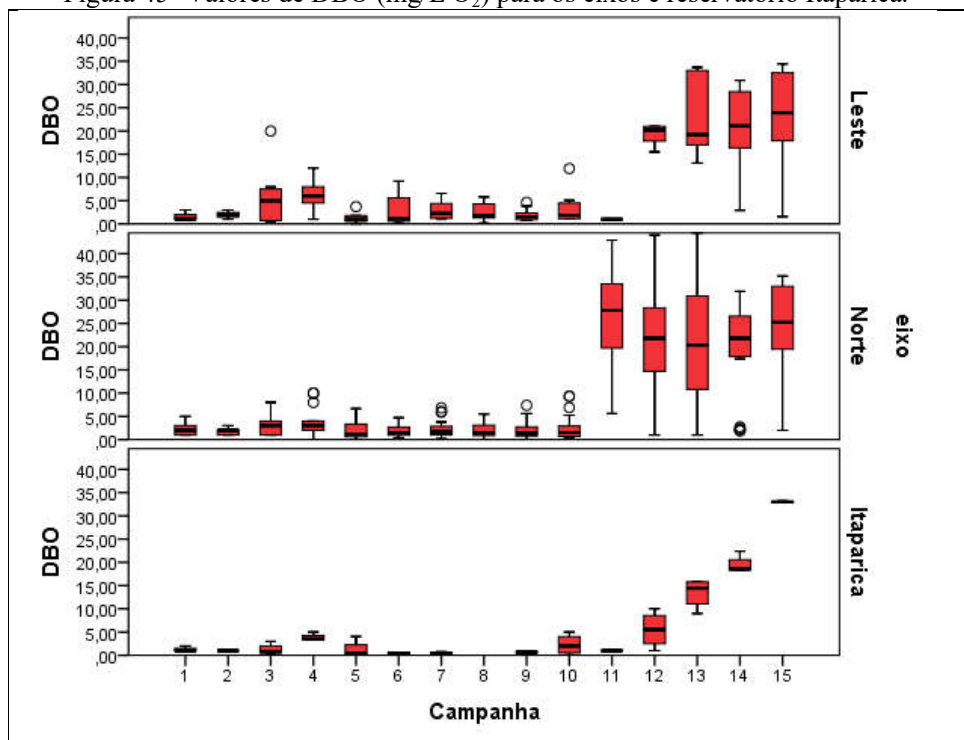
Figura 44- Valores de clorofila (µg/L) para os eixos e reservatório Itaparica.



Fonte: O autor.

Com relação a DBO, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o valor limite de 5 mg/l O₂ para os corpos d'água de Classe 2. Considerando os pontos de amostragem nos reservatórios, para Eixo Norte, Eixo Leste e reservatório Itaparica (Figura 45) os valores apresentaram média superior ao limite estabelecido nas campanhas, 3, 4, 12, 13, 14 e 15 para o grupo de reservatórios do Eixo Leste, nas campanhas 11, 12, 13, 14 e 15 para o Eixo Norte e nas campanhas 12, 13, 14, 15 para o reservatório de Itaparica. Ao considerar os pontos de reservatórios e trechos de rios os limites foram ultrapassados nas mesmas campanhas, mas com variação das médias em menor intensidade.

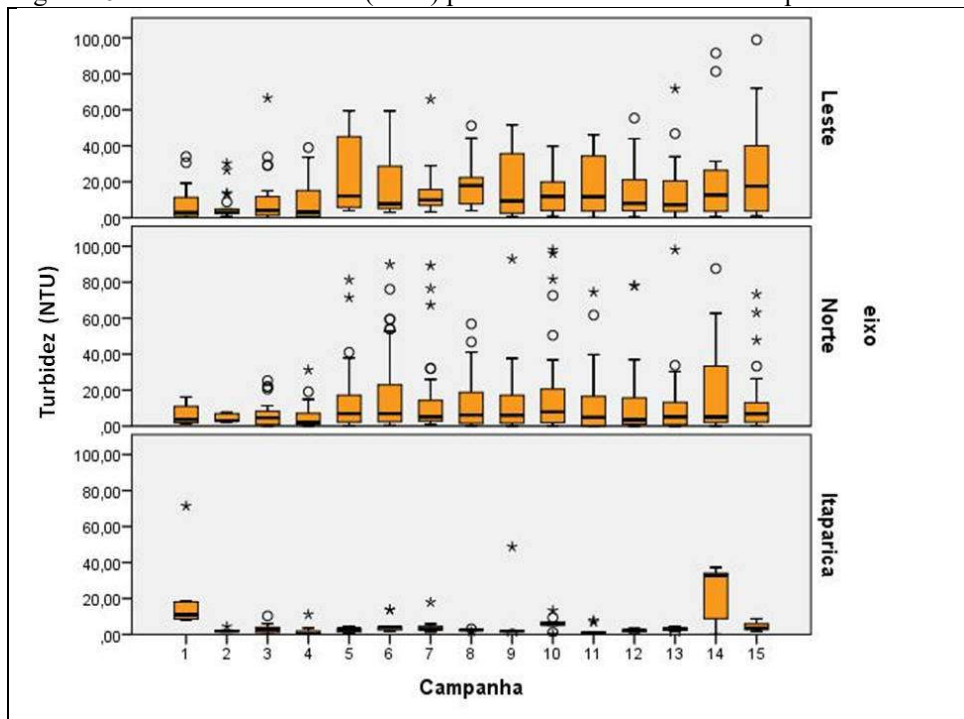
Figura 45- Valores de DBO (mg/L O₂) para os eixos e reservatório Itaparica.



Fonte: O autor.

Para os valores de turbidez (NTU) a média dos pontos nos eixos e reservatório Itaparica não ultrapassaram o valor estabelecido pela CONAMA (máximo de 100 NTU) (Figura 46). Porém observa-se que no reservatório Itaparica os valores estão em sua maioria abaixo de 10 NTU enquanto nos eixos somente os valores das campanhas 1 e 2 não se aproximam deste valor. A turbidez na água está relacionada com a velocidade de fluxo, tipo de sedimento, preservação das margens do corpo hídrico e seus usos. Dadas as grandes dimensões do reservatório Itaparica, era esperado que sua turbidez não atingisse valores elevados.

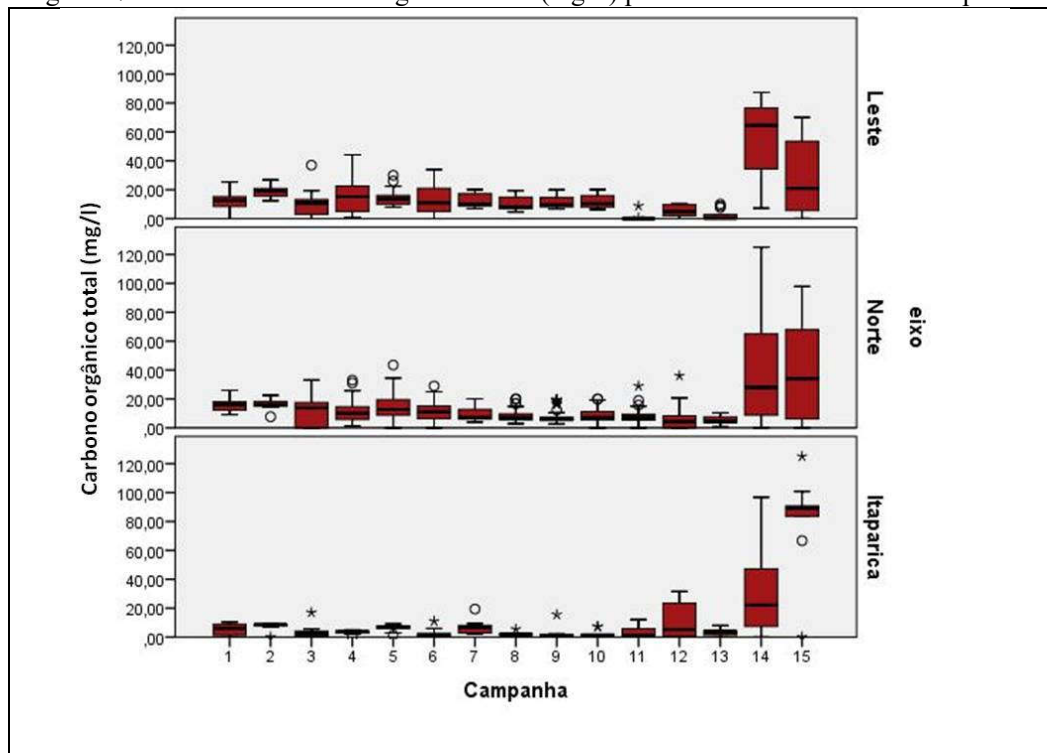
Figura 46- Valores de Turbidez (NTU) para os eixos e reservatório Itaparica.



Fonte: O autor.

No que se refere ao parâmetro carbono orgânico total, os eixos apresentaram valores próximos a 20 mg/l das campanhas 1 a 13, e superiores nas campanhas 14 e 15, enquanto para o reservatório Itaparica as campanhas de 1 a 11, e 13 mantiveram valores próximos a 10 mg/l e nas campanhas 12, 14 e 15 apresentaram valores semelhantes aos dos eixos (Figura 47). Apesar deste parâmetro não possuir valores limites estabelecidos na legislação brasileira para ambientes lênticos e lóticos, a sua presença pode indicar impacto antrópico, resultante de atividades agropecuárias e despejo de efluentes urbanos (ALVES et al., 2012, PALMA et al., 2010).

Figura 47-Valores de Carbono Orgânico Total (mg/L) para os eixos e reservatório Itaparica.



Fonte: O autor.

As diferenças estatísticas demonstradas (ADM) para as características de qualidade de água entre os reservatórios eixos Leste e Norte, e o reservatório Itaparica, são demonstradas nos gráficos deste capítulo que representam as principais características não mineralógicas predominantes da distinção destes grupos.

Esta diferença pode estar relacionada ao grande volume do de Itaparica. A cota (volume de água) de Itaparica é controlada pela Operadora Nacional do Sistema Elétrico (ONS) conforme a disponibilidade de água e a demanda do setor hidroelétrico nacional tendo em consideração as exigências da ANA.

A gestão das águas do PISF será uma tarefa complexa que demandará uma avaliação das diferentes características de uso na ocasião de implementação de vazão máxima para os Eixos Norte e Leste, manter as condições para uso das águas para as populações locais, assegurando-se que a vazão Sobradinho -Itaparica se preserve com segurança.

Dado o estado trófico dos reservatórios receptores é necessário que se adotem medidas de controle para os múltiplos usos das águas e da ocupação dos solos nas margens, é

essencial a preservação das águas do rio São Francisco nos pontos de captação dos Eixos, pois, ainda que em melhor qualidade oferecem risco de eutrofização para os reservatórios devido ao longo transporte e as misturas de águas (MI, 2004).

Os reservatórios apresentam uso do solo diversificado, a presença de adensamentos agrícolas com irrigação deve ser dimensionada de forma a evitar o aporte de nutrientes para os corpos hídricos, assim como, realizar o controle da eficiência das estações de tratamento de efluentes das áreas urbanas de rios e reservatórios. Estas medidas se bem aplicadas, e dado as características de qualidade de água dos reservatórios, apresentarão resultados no monitoramento e auxiliarão os órgãos gestores na tomada de decisões e aplicação de medidas de controle. Volk et al., (2009) afirmam que o monitoramento e os modelos de uso da água, como ferramentas base para esta gestão, bastante utilizados para propostas de melhorias. Brito (2013) ressalta que para assegurar a garantia de segurança hídrica para o semiárido é necessário além das obras de engenharia, estratégias políticas, investimento financeiro, e organização de base da população cobrando dos serviços públicos as melhorias necessárias. Sem estes preceitos os conflitos pelo uso da água não cessarão, pelo contrário, tendem a agravar-se.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação integrada dos corpos hídricos do conjunto de bacias hidrográficas inseridas no Projeto de Integração do Rio São Francisco permite compreender parte da complexidade e dos riscos que os reservatórios estão inseridos, se apresentando como uma importante ferramenta de gestão e fomentando pesquisas futuras.

A presente pesquisa comprovou a hipótese de que a avaliação ambiental integrada entre a qualidade da água e uso do solo de reservatórios do Projeto de Integração do rio São Francisco com as bacias hidrográficas do nordeste setentrional contribui para identificação de medidas de gestão destes reservatórios. Os resultados obtidos podem subsidiar o processo de tomada de decisão entre os agentes envolvidos, visando a segurança hídrica das populações. Este capítulo apresenta as conclusões e recomendações associadas aos objetivos específicos do trabalho.

6.1 CONCLUSÕES

A Análise Discriminante Múltipla (ADM) aplicada aos pontos os 54 pontos de amostragem referentes aos eixos Leste e Norte, e ao reservatório de Itaparica revelou diferenças significativas em função da diversidade das características de qualidade de água. As propriedades mineralógicas foram preponderantes nesta diferenciação, porém quando isoladas, foi evidenciado que os fatores de origem biológica/antropológica apresentaram esta separação significativamente.

Esta diferenciação entre as características de qualidade da água foi identificada quando os pontos de coleta foram agrupados por suas respectivas bacias hidrográficas. As oito bacias hidrográficas componentes do PISF se apresentam de forma distinta em função das características físico-químicas e biológicas de qualidade de água. As bacias hidrográficas dos rios Apodi e Piranhas (Eixo Norte), bem como Terra Nova (Eixo Leste) possuem correlação significativa quando analisadas somente as características de qualidade de água de origem não mineralógica. Este resultado indica que estes locais sofrem pressões antrópicas semelhantes ou possuem uma reação do sistema limnológico semelhante para diferentes impactos.

A Análise de Componentes Principais (ACP) evidenciou os parâmetros mineralógicos (magnésio, dureza e cálcio) preponderantes na diferenciação nos pontos coletados. Com a eliminação dos parâmetros mineralógicos, pôde ser observado que as variações com maior contraste nas análises foram aquelas relacionadas à ação antrópica, tais como DBO, DQO, COT, OD, clorofila e feofitina. Esta variação ficou evidente para os pontos de coleta no reservatório de Itaparica, onde verificou-se através de baixos IET ao longo das campanhas e das características de qualidade de água que possuem águas menos impactadas em relação aos outros locais do projeto.

O estudo das diferenças e similaridade entre os reservatórios contribui para um melhor entendimento da situação que eles se encontram e quais medidas poderão ser adotadas, para dar apoio e promover o manejo adequado dos recursos hídricos, principalmente a partir do início de operação do PISF, quando haverá alterações na qualidade da água por conta da interligação entre as bacias.

A análise do uso do solo no entorno e estado trófico foram realizadas para os seguintes reservatórios: Eixo Norte (Engenheiro Ávidos, Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves e Castanhão) e Eixo Leste (Engenheiro Eptácio Pessoa, Poções e Poço da Cruz). Os resultados estatísticos demonstraram significância na separação dos eixos.

O reservatório Engenheiro Ávidos, localizado na bacia do rio Piranhas, no município de Cajazeiras (PB), tem como principal função o abastecimento humano, piscicultura, a perenização do rio Piranhas e a irrigação de mais de 5 mil ha de terras. Os resultados da análise de ocupação do solo e IET demonstram uma condição de super a hipereutrófica, com uma escala de ocupação agrícola entre 25 e 50% do entorno, um forte contribuinte para classificação deste estado trófico.

O reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, também denominado Açude Açú, é formado por um barramento do rio Piranhas-Açu e localizado a cerca de 220 km de distância do reservatório Engenheiro Ávidos. No reservatório Açú são desenvolvidas atividades econômicas, como, aquicultura em tanques escavados e fornecimento de água para usos industriais. Grande parte de suas águas são destinadas a perímetros irrigados, como o Vale do Açú que depende diretamente de suas águas. Apesar da presença de pequenos municípios, as áreas do entorno do reservatório são ocupadas em sua maioria

por estabelecimentos agropecuários de pequena e média densidade a agropecuária. As atividades antrópicas.

O reservatório Castanhão/CE, localizado na bacia do rio Jaguaribe, abastece diretamente grande parte da região metropolitana de Fortaleza. Apresenta ocupação urbana no seu entorno que deve ser observada criteriosamente, pois a deficiência do tratamento de efluentes coloca o reservatório sob risco de eutrofização de suas águas, principalmente em períodos de estiagem. Além disso verifica-se a presença de tanques redes para piscicultura que contribuem para o aporte de nutrientes.

Apesar destes riscos, no período estudado este reservatório apresentou água de boa qualidade, com 25% das campanhas com IET acima do estado eutrófico para o Q26 e 13% para o ponto Q27. Possivelmente, o volume de acumulação do reservatório propicia elevada capacidade de diluição de poluentes. A entrada de volume de água do PISF contribuirá para a manutenção desta boa qualidade de água e garantia da oferta de água para a região.

Nesse contexto, para os reservatórios do Eixo Norte, fica evidenciado que o lançamento de esgoto não tratados provenientes das áreas urbanizadas, juntamente com os efluentes provindos da atividade agrícola, particularmente em perímetros irrigados, contribuem para a má qualidade da água e elevado Índice de Estado Trófico. A presença destes fatores aumenta o risco de eutrofização dos reservatórios e consequentemente do fornecimento adequado de água para abastecimento humano.

A água do reservatório de Itaparica apresenta qualidade superior em relação aos pontos dos reservatórios do Eixo Leste quanto do Eixo Norte, e contribuirá para melhorar a qualidade da água dos reservatórios receptores. A quantidade e a qualidade de água do reservatório de Itaparica dependem diretamente da operação do reservatório Sobradinho localizado à sua montante, que é realizada pela Chesf.

As localidades próximas aos reservatórios, apesar do seu pequeno porte, contribuem para aumentar a degradação da qualidade da água e o risco de eutrofização, por causa do lançamento de esgoto não tratado ou com tratamento ineficiente. Com o início da operação do projeto, o crescimento desordenado da área urbana pode ser favorecido, potencializando os impactos antrópicos urbanos e agrícolas.

Além disso, as áreas do entorno dos reservatórios que possuem atividades agropecuárias, particularmente a agricultura irrigada, contribuem para aumentar o risco de eutrofização pela utilização descontrolada de fertilizantes e agrotóxicos. Outro fator identificado é a escassez de matas ciliares, contribuindo para o assoreamento dos reservatórios e o risco de entrada de contaminantes do solo.

6.2 RECOMENDAÇÕES

As recomendações aqui apresentadas propõem a proteção da qualidade da água e uso do solo no entorno dos reservatórios estudados, visando assegurar condições adequadas de operação do PISF e, conseqüentemente, a segurança hídrica de grande parte da população do semiárido brasileiro, conforme detalhado a seguir.

Os elevados valores de IET calculados na maioria dos reservatórios estudados, coloca em risco o fornecimento de água para as populações dela dependentes. A ampliação de rede de coleta e tratamento de esgotamento sanitário nas áreas urbanizadas próximas aos reservatórios e trechos de rio, sobretudo aqueles com regime intermitente, é fundamental para reduzir o aporte de esgoto não tratado nesses corpos hídricos. O melhoramento da eficiência das estações de tratamento de esgoto é uma das metas do PISF. Contudo, demanda o envolvimento dos diversos atores responsáveis pela garantia e manutenção de água para abastecimento.

A carga de nutrientes oriundas da piscicultura em tanques-rede é outro fator que propicia a degradação da qualidade da água, principalmente nos locais próximos às captações de água. A produção de informações relativas ao manejo adequado desta atividade econômica, bem como estudos de capacidade de suporte dos reservatórios são fontes de dados essenciais para estabelecer o zoneamento dos usos nos espelhos d'água.

A malha atual de monitoramento semestral da qualidade da água implementada pelo Ministério da Integração deve ser mantida, atentando-se para uma avaliação das influências climatológicas da região. Esta frequência deverá ser intensificada no início da operação do sistema ou no caso de detecção de condições insatisfatórias da qualidade de água, que ameacem gravemente o abastecimento público. As informações geradas poderão ser disponibilizadas em um banco de dados público que agreguem também

dados de monitoramento realizados por outras instituições, tais como, companhias de saneamento estaduais, órgãos estaduais de meio ambiente, de recursos hídricos, prefeituras, entre outros.

A disponibilidade de água nos pontos de captação de água do projeto depende, em termos de quantidade e qualidade, da garantia do volume de água acumulado no reservatório Itaparica. Nesse sentido, é importante a interação entre o órgão gestor do projeto e as empresas responsáveis pela operação dos reservatórios em cascata do rio São Francisco, de modo a garantir uma vazão ecológica satisfatória e atendendo aos seus múltiplos usos.

Estudos aprofundados sobre a estrutura e dinâmica hidrobiológica dos reservatórios e aplicação de modelos matemáticos de qualidade de água nos reservatórios e trechos de rio devem ser desenvolvidos para subsidiar a elaboração de cenários futuros de operação do sistema e proposição de medidas de gestão ambiental.

No que se refere ao uso do solo no entorno dos reservatórios, recomenda-se a implantação de medidas de proteção e adequados do uso de fertilizantes e agrotóxicos nas áreas destinadas à agricultura, minimizando os riscos de contaminação do solo e da água. Além disso, é fundamental medidas para reflorestamento das margens utilizando espécies nativas, para redução dos processos erosivos e de assoreamento dos reservatórios e trechos de rios.

A complexidade desse projeto requer uma análise integrada contínua envolvendo os múltiplos atores. A boa governança deste empreendimento depende da efetiva interação entre as agências estaduais de gestão da água, do uso do solo e do planejamento e controle ambiental. Ações de conscientização e educação ambiental devem ser intensificadas para promover a implementação de técnicas agrícolas conservacionistas e uso racional da água. Nesse contexto, a participação da comunidade local é fundamental para garantir o uso sustentável desses recursos naturais, promovendo melhoria da qualidade de vida para grande da população do semiárido.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA. **Açude Engenheiro Ávidos**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 05 dezembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Metadados**. Mapa do uso da terra (2010). Disponível em < <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: janeiro de 2016

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Plano nacional de recursos hídricos minuta**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasil, 2013. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/pnrh/index.htm>>. Acesso em maio de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Decenal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (2004 - 2013)**. Brasília, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS -ANA- **Nota Técnica no 30/2014/SAG-ANA Documento nº 024538/2014-13 Em 25 de julho de 2014** Disponível em: <http://agevap.org.br/downloads/nt-30.2014-sag-ana.pdf>>. Acesso em 2014.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA- APAC.Outorga. Disponível em < <http://www.apac.pe.gov.br/outorga>> acesso em: 2014.

AMORIM, R., DA SILVA ALMEIDA, S. A., CUELLAR, M. Z., DE BRITTO COSTA, A. M., & GOMES, C. Mapeamento de Uso e Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica Piranhas/Açu, utilizando imagens CBERS e técnicas de classificação supervisionada. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, , INPE**, p. 5159-5166/2007

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S; SURY DE MOURA MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F; GUIMARÃES, J. T. F. **Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil)**. *Acta Amazonica*, v. 42, n. 1, 2011.

APHA-AWWA-WPCF; **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 20th ed.; Washington, 1999

ALBA-TERCEDOR, Javier; SÁNCHEZ-ORTEGA, A. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, v. 4, n. 51-56, 1988.

ARAÚJO FILHO, J. C. D., GUNKEL, G., SOBRAL, M., KAUPENJOHANN, M., & LOPES, H. L.. Soil attributes functionality and water eutrophication in the surrounding area of Itaparica Reservoir, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 1005-1013, 2013.

AZEVEDO, L.G.T; PORTO, R.L.L; MÉLLO JUNIOR, A V; PEREIRA, J. G;ARROBAS, D La P.; NORONHA, L.C.; LUIZ CORREA, P. **Transferência de água entre Bacias Hidrográficas**. Banco Mundial- 1º Edição, Brasília, 2005

BARBOSA, G.S.O. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista visões**. v1. n 4. 4 ed. jan/jun. 2008

BARTRAM, J. **Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation freshwater quality studies and monitoring programmes**. London: E&FN SPON, 383p. 1996.

BRAGA, R. A. P. **Instrumentos para Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2009

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. **Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas**. 185 p. Edgard Blucher. CETESB,. São Paulo (SP) 1977.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de RecursosHídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outrasprovidências. Brasília (DF) 1997

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Programa Nacional de Meio Ambiente II (PNMA II)**. Brasília, 2000.

BRASIL. Constituição da república federativa do Brasil. Brasília DF. 1988

BRASIL, Decreto presidencial nº 8.207, de março de 2014, Institui o Sistema de Gestão do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, e dá outras providências.2014.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional - MI. **Integração do Rio São Francisco - o andamento das obras**. Disponível em < <http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco/o-andamento-das-obras>> acesso em agosto de 2016.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional -MI. **RIMA- Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**. Brasília, 2004.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional -MI. **Transposições pelo mundo**. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco/transposicoes-pelo-mundo>>. Acesso em março de 2015

BRASIL, Ministério da Integração Nacional -MI. **Obras do São Francisco Serão Concluídas Neste Ano, diz ministro. Sessão Infraestrutura**, Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/06/obras-do-sao-francisco-serao-concluidas-neste-ano-diz-ministro>> acesso em 15 junho de 2016

BRASIL, Ministério da Integração Nacional -MI. **Nova delimitação do semi-árido Brasileiro**. 2005. Disponível em <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5aa4d4b55a6e182faf0762763&groupId=24915> Acesso em, 02 nov. 2015

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Política Nacional de Meio Ambiente II**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pot/se/pnma2/introd.html>> Acesso em: agosto de 2012. Brasília: MMA, 2004;

BRASIL. Ministério da Integração Nacional -MI. **Relatório do Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (PRSF)**. 44p. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução CONAMA 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 União.n. 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, p. 67-68. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>>. Acesso em: dezembro de 2015

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução n.. 357, de 17 de março de 2005. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/conama/>>. Acesso em: dezembro de 2005.

BRASIL. **Lei Federal 12.651**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências de. Brasília (DF) 2012

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução n. 274, de 2000. Trata da balneabilidade, dá definições e revoga artigos da resolução 020/86 – Data da legislação: 29/11/2000 – Publicação DOU n. 18, de 8/01/2001, p. 70-71. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente; 2001. Disponível em: <<http://www.ima.al.gov.br/legislacao/resolucoes-conama>>. Acesso em dezembro de 2015.

BRITO, FRANKLYN BARBOSA. **Conflitos pelo acesso e uso da água: integração do rio São Francisco com a Paraíba (eixo Leste)**. Tese de doutorado Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia. acesso em <<http://hdl.handle.net/10183/77990>>João Pessoa, 2013

BU, H., TAN, X., LI, S., & ZHANG, Q. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 73, n. 5, p. 907-913, 2010.

CABECINHA, E., LOURENÇO, M., MOURA, J. P., PARDAL, M. Â., & CABRAL, J. A. A multi-scale approach to modelling spatial and dynamic ecological patterns for reservoir's water quality management. **Ecological Modelling**, v. 220, n. 19, p. 2559-2569, 2009

CARVALHO, R. M. C. M. O. **Avaliação da sustentabilidade da agricultura familiar em projetos de irrigação no semiárido pernambucano**. Tese (doutorado)

Departamento de engenharia civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.

CARVALHO, R. M. C. M. O. ; SOBRAL, M C.M. ; COSTA, M. R. ; GUNKEL, Gunter ; SILVA, M. M. ; LEITE, L L L . Subsurface dams for water storage and sustainable development in semi-arid areas. In: DUARTE, L.M.G.; PINTO,P.. (Org.). Sustainable Development: Energy, Environment and Natural Disasters. 1 ed. Évora: Fundação Luis de Molina, 2009, v. , p. 147-159.

CHAO, W. A. N. G.; WANG, Yan-ying; WANG, Pei-fang. Water quality modeling and pollution control for the Eastern route of South to North water transfer project in China. **Journal of Hydrodynamics, Ser. B**, v. 18, n. 3, p. 253-261, 2006.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. Reino Unido: UNESCO/WHO/UNEP, 2 ed., 1996. 651 p.

CHELLAPPA, N.T.; CÂMARA, F. R.A.; ROCHA, O. Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxó Channel, Rio Grande do Norte, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 2, p. 241-251, 2009.

CHELLAPPA, N.T.; COSTA, M.A.M. Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. **Acta Oecologica**, v. 24, p. 3-10, 2003.

CIRILO, J. A. Public water resources policy for the semiarid region. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

COMPANHIA DE AGUA E ESGOTO DO RIO GRANDE DO NORTE-CAERN. RN- **Caern amplia estação de Tratamento de Esgotos de São Rafael**. Disponível em: <http://www.saneamentobasico.com.br/portal/index.php/arquivo/rncaernampliaestacaode tratamento de esgotos de sao rafael> acesso em agosto de 2016

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: CETESB, 2007.

COSTA, I. A. S.; AZEVEDO, S. M. F. O.; SENNA, P. A. C.; BERNARDO, R. R.; COSTA, S. M.; CHELLAPPA, N. T. Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a brazilian semiarid reservoir. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 1B, p. 211-219, 2006.

COSTA, I. A. S.; CUNHA, S. R. S.; PANOSSO, R.; ARAÚJO, M. F. F.; MELO, J. L. S.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. **Oecol. Bras.**, v. 13, n. 2, p. 382-401, 2009.

CODD, G.A.; BELL, S.G.; KAYA, K.; WARD, C.J.; BEATTIE, K.A.; METCALF, J.S.. Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health. *European Journal of Phycology*, v. 34, n. 04, p. 405-415, 1999.

DAVIS, JOHN C.; SAMPSON, ROBERT J. **Statistics and data analysis in geology**. New York, Wiley, 1986.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Barragens do DNOCS**. Disponível em <<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/>> Acesso em outubro de 2015.

DE ANDRADE, J. G. P., BARBOSA, P. S. F., SOUZA, L. C. A., & MAKINO, D. L. . Interbasin water transfers: the Brazilian experience and international case comparisons. *Water resources management*, v. 25, n. 8, p. 1915-1934, 2011

DIAMOND, Jered. **Colapso- como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso**. São Paulo: Ed. Record 2005

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY- EEA. **Environmental indicators: Tipology and overview**.: EEA (Technical report, n 25). Copenhagen. 1999.
ESTEVEZ, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1988. 574p.

FARIAS, SERGIO ROBERTO ALVE, **Operação integrada dos reservatórios Engenheiro Avidos e São Gonçalo**. 107p. Dissertação (mestrado). Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grade. 2014.

FEIJÓO, Claudia S.; LOMBARDO, Rubén J. Baseline water quality and macrophyte assemblages in Pampean streams: a regional approach. **Water Research**, v. 41, n. 7, p. 1399-1410, 2007.

FRANÇA, MARIANNE SCHAEFER, **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da bacia do alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. Dissertação (mestrado). Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade do Paraná. Curitiba. 2009

GONÇALVES, Gelsy Wany Pedrini Soares. **Urbanização e qualidade da água : monitoramento em lagos urbanos de Londrina-PR**. Dissertação (mestrado). Geografia , Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina (PR). 2008.

GUNKEL, G.; SELGE, F.; DO CARMO SOBRAL, M. Re-oligotrophication of tropical Water reservoirs to minimize environmental impact. **River Basin Management VII**, v. 172, p. 313-326, 2013.

HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E., & TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Bookman Editora, 2009

HUSSEIN, Walaa. **Contaminated Delays Sinai Canal**, In: Egypt Pulse, 2014 Disponível em: <www.al-monitor.com/pulse/originals/2014/11/egypt-sinai-canal-project-postpone-sisi> acesso em nov , 2015

HUSZAR, V.; AZEVEDO, S. M. F. de O. Toxic cyanobacterial blooms in the Tapacurá reservoir, Northeast Brazil. In: **INT conf on harmful algal bloom**, 9., 2000, Tasmania, Anais... Tasmania. p.126. 2000.

HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L. H. S.; DOMINGOS, P.; MARINHO, M.; MELO, S. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia*, v. 369, n. 370, p. 59-71, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, **Mapa da cobertura e uso da terra**. Rio de Janeiro. Disponível em < <ftp://geoftp.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 de julho de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**.Rio de Janeiro: IBGE - Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: janeiro de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**.Rio de Janeiro: IBGE , 2009. Sistema IBGE de recuperação automática SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: janeiro 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**.Rio de Janeiro: IBGE - Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cadastro de Municípios localizados na Região Semiárida do Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>>. Acesso em : Janeiro de 2016

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA - IICA. Projeto de Cooperação Técnica Chesf/IICA. Relatório Final. Recife, 2001.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. Projeto de Cooperação Técnica Chesf/IICA. Relatório Final. Recife:IICA, 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H.**Trace elements in soils and plants**. 413p 3ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

KNUPP, E. A. N. **Usos de Métodos Estatísticos para dados de qualidade de águas: estudo de caso, rio das Velhas**. Departamento de Química. Tese (doutorado) 203p Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

LAMPARELLI , M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (doutorado). 235 f.: Departamento de Ecologia. Universidade de São Paulo. São Paulo (SP). 2004.

LIMA FILHO, G. Q. de. **Mudanças interanuais das comunidades fitoplanctônica efícoperifítica de açudes do alto rio Paraíba.** 50f. Dissertação (Mestrado), Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB, 2010

LIU, L., NGADI, M. O., PRASHER, S. O., & GARIÉPY, C. Categorization of pork quality using Gabor filter-based hyperspectral imaging technology. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 3, p. 284-293, 2010.

MARQUES, A. E. F., ALMEIDA, T. S. S., ARAÚJO, A. D. S., SOUSA FILHO, E. A., & VIEIRA, A. C. B.. Avaliação da qualidade microbiológica da água do açude Engenheiro Ávidos, Cajazeiras-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 05-08, 2015.

MELO, G. L de; **Avaliação da qualidade da água em reservatórios interligados com o rio São Francisco situados no semiárido do Brasil.** Tese de doutorado em engenharia civil da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

MELO, G., MORAIS, M., DO CARMO SOBRAL, M., GUNKEL, G., & CARVALHO, R. . Influência de Variáveis Ambientais na Comunidade Fitoplanctônica nos Reservatórios Receptores do Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 6, p. 1300-1316, 2013.

MOLION, L. C. B. Secas: o eterno retorno. **Ciência Hoje – Especial Nordeste**. São Paulo: Ed. SBPC, v.3, n.18, p. 26-32, 1985

MOLISANI, M. M., BECKER, H., BARROSO, H. S., HIJO, C. A. G., MONTE, T. M., VASCONCELLOS, G. H., & LACERDA, L. D. The influence of Castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral Jaguaribe River (CE, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 115-123, 2013.

MORAIS, M.; PEDRO, A.; ROSADO; J. PINTO, P. Temporary rivers: from the excess to scarcity. Évora, Portugal: Fundação Luís de Molina, p. 37-49. 2009.

MORETTO, Daiane Loutert. **Calibração do Índice de Qualidade da Água (IQA) para bacia hidrográfica do rio Pardo, RS, Brasil.** Dissertação (mestrado). Tecnologia Ambiental. Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul (RS). 2011.

MOLICA, R. J. R. ; OLIVEIRA, E. J. A.; CARVALHO, P. V. V. C. ; COSTA, A.P N. S. F.; CUNHA, M. C. C.; MELO, G. L. de ; AZEVEDO, S. M. F. de O. Occurrence of saxitoxins and an anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply . **Harmful Algae**, v. 4, n. 4, p. 743-753, 2005.

MOLICA, R.J.R.; ONODERA, H; GARCÍA C.; RIVAS, M.; ANDRINOL, O. D.; NASCIMENTO, S. M.; MEGURO, H ; OSHIMA, Y.; AZEVEDO, S. M. F. O.; LAGOS, N. Toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) isolated from Tabocas reservoir in Caruaru, Brazil, including demonstration of a new saxitoxin analogue. *Phycologia*. v. 41, n. 6, 2002.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. editora: ABES, Rio de Janeiro, 1997.

NA, X. D., ZANG, S. Y., ZHANG, N. N., & CUI, J. Impact of land use and land cover dynamics on Zhalong wetland reserve ecosystem, Heilongjiang Province, China. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, n. 2, p. 445-454, 2015.

NASCIMENTO, S. M.; BOUVY, M.; MOLICA, R. J. R.; FERREIRA, A.; SILVA, L. H. S. NEIFF, J. J., POI DE NEIFF, A. S. G., PATIÑO, C. A. E.; BASTERRA DE CHIOZZI, I. Prediction of colonization by macrophytes in the Yaciretá reservoir of the Paraná river (Argentina and Paraguay) **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n.4, p. 615-626, 2000.

PHILIPPI JR., A. ROMERO, M. de A., BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: Manole, 2004.

REIMANN, CLEMENS; FILZMOSE, PETER. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. **Environmental geology**, v. 39, n. 9, p. 1001-1014, 2000.

RIGHETTO, Antonio Marozzi; GUIMARÃES FILHO, João Abner. Utilização ótima dos recursos hídricos superficiais do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 19-29, 2003.

SALATI, E., LEMOS, H. M., SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. in: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

SANTOS, R. A. ; BRITO, W. O. ; SANTOS, K. D. . Cenário da Qualidade da Água para Abastecimento Humano e Uso na Construção Civil: Análise do Reservatório Poções. In: **IX CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 2014, São Luís - MA. IX CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**, 2014.

SANTOS, R. A. ; ARAUJO, D. T. R. ; BRITO, A. C. O. ; BRITO, W. O. . Uma análise da qualidade da água do reservatório Poções no período de escassez de chuvas. In: **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2015, Porto Alegre/RS. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2015.

SANTANA FILHO, J. R. **Projeto São Francisco: garantia hídrica como elemento dinamizador do semiárido nordestino. Inclusão Social**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 14-18, abr./set. 2007.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P. Contribution to the knowledge of potentially toxic cyanobacteria from Brazil. *Nova Hedwigia*, Stuttgart, v. 71, n. 3-4, p. 359-385, 2000.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação Ambiental Estratégica e sua Aplicação no Brasil. Rumos da avaliação ambiental estratégica no Brasil (09 de dezembro de 2008), São Paulo. 2008.

SANTOS-ROMÁN, DÉBORAH M.; WARNER, GLENN S.; SCATENA, FREDERICK. Multivariate analysis of water quality and physical characteristics of selected watersheds in **Journal of American Water Resources Association**. Puerto Rico. 2003.

SANTOS, M. J. **Água e qualidade de vida em cinco comunidades rurais do semi-árido de Sergipe**. 187 f. Dissertação (Mestrado). PRODEMA/NESA/UFS. Aracaju: 1999.

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS -CE. **Açudes**. Disponível em <atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/> acesso em março de 2015.

SILVA, J. **Estudo do estado trófico em reservatório público de usos múltiplos em região do semiárido nordestino utilizando a técnica de modelagem computacional como ferramenta de gerenciamento da qualidade da água** Tese Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.2013

SILVA, Jaime dos Santos; SILVA, Franciclécia de Sousa Barreto. CONSIDERAÇÕES SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO VALE DO AÇU E OS IMPACTOS SOBRE O MUNDO DO TRABALHO!. **Revista da ABET**, v. 6, n. 1, 2006.

SILVA, VICENTE P.R; PEREIRA, EMERSON R.R; AZEVEDO, PEDRO V. SOUZA, Francisco de A.S; SOUSA, Inajá F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais econômicos, administrativos e sociais**. Brasília- DF:Secretaria de Recursos Hidricos, 2000.

SILVA, M.B.; AZEVEDO, P.V; ALVES, T.L.B. Análise da degradação ambiental no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Bol.Goia. Geografia**. Goiana. v.34, n.1, p35-53, 2014

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série histórica 2014**. Disponível em <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>> Acesso em 2015.

SINGH, K. P., MALIK, A., MOHAN, D., & SINHA, S.. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. **Water research**, v. 38, n. 18, p. 3980-3992, 2004.

SOBRAL, M. C.; GUNKELce, G.; ROHN, H.; AURELIANO, J. Avaliação do Monitoramento da qualidade da Água de Rios Intermitentes: o caso do Rio Ipojuca,

Pernambuco. em: **Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 16, João Pessoa, 2005.

SOBRAL, M. C.; OLIVEIRA, R. M. C. M.; FIGUEIREDO, R. C.. Management of environmental risks from multipurpose use of reservoirs in semiarid areas of São Francisco River. In: GUNKEL, G.; SOBRAL, M.C. (Org.). **Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany**. Berlin: TUB Verlag, 2007.

SOBRAL, M C.M., CARVALHO, R. M. C. M. O Gerenciamento de riscos ambientais em reservatórios de múltiplos usos localizados na região semi-árida In: **X Reunião Anual da Rede Luso-Brasileira de Estudos Ambientais: Seminário Internacional Sobre Gestão de Reservatórios e Bacias Hidrográficas: Intercâmbio de Experiências de Portugal, Alemanha e Brasil.**, Recife. 2006.

SOBRAL, M.C.M. **Ist die Umweltverträglichkeitsprüfung ein wirksame Instrument des Umweltschutzes in Brasilien?**, 1992. Doktordissertation für die Institut für Umweltplanung der TU-Berlin. Berlin, 1992.

TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S.; HAGE, E. Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica, Bahia, Brazil. **Bulletin of PAHO**. v. 27. n.3, 1993.

TEMÓTEO, J.W.C. **Base municipal de informações das águas subterrâneas – município de Ibimirim– PE**. 18p. CPRM. Recife 2000.

TUCCI, C.E.M.; MENDES. C.A. avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. PNUD- programa das nações unidas para o desenvolvimento, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p

TUNDISI, J. G. Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização. São Carlos: United Nations Environment Programme: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente/Instituto Nacional de Ecologia, 2001.

TRINDADE, ANA LAURA CERQUEIRA. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira do rio São Francisco**. 181p. Dissertação (mestrado). Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. 123 pSão Paulo: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. São Paulo (SP).1991.

VIEIRA V. P. P. B.; GODIM FILHO J. C. G.. Água doce no semi-árido. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Eds). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª edição. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semiárido. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 7-17, 2003.

VOLK, M., LAUTENBACH, S., VAN DELDEN, H., NEWHAM, L. T., & SEPPELT, R. . How can we make progress with decision support systems in landscape and river basin management? Lessons learned from a comparative analysis of four different decision support systems.**Environmental Management**, v. 46, n. 6, p. 834-849, 2010.

ZHANG, X., WANG, Q., LIU, Y., WU, J., & YU, M.. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. **Environmental monitoring and assessment**, v. 173, n. 1-4, p. 17-27, 2011.