CONTRATAÇÃO DOS SERVIÇOS DE CONSULTORIA (PESSOA JURÍDICA) PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA HÍDRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTRATÉGICAS DO ACARAÚ, METROPOLITANAS E DA SUB-BACIA DO SALGADO

PSH-RT7-05

INVENTÁRIOS AMBIENTAIS DE AÇUDES DAS BACIAS METROPOLITANAS

AÇUDE GAVIÃO

NIPPON KOEI LAC

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Governador: Camilo Sobreira de Santana

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Secretário: Francisco José Coelho Teixeira

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Diretor-Presidente: João Lúcio Farias de Oliveira

CHEFIA DE GABINETE

Antônio Treze de Melo Lima

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO

Ubirajara Patrício Álvares da Silva

DIRETORIA DE OPERAÇÕES

Débora Maria Rios Bezerra

DIRETORIA FINANCEIRA

Paulo Henrique Studart Pinho

GERENTE DO PROJETO

Zulene Almada Teixeira

EQUIPE TÉCNICA DO CONSÓRCIO

Francisco Jácome Sarmento (Coordenador Geral)

Jonair Mongin

José Antônio de Oliveira Jesus

Romulo de Macedo Vieira

Bruno Costa Castro Alves

Juliana Argélia Garcia de Almeida

Alan Pinheiro de Souza

Akira D. Kobayashi

Talles Chateaubriand de Macedo

Marcela Rafaela de Freitas Silva

Emanuella Almeida Figueiredo

Jamille Freire Amorim

EQUIPE TÉCNICA DA COGERH

Francimeyre Freire Avelino

Micaella da Silva Teixeira Rodrigues

Nice Maria da Cunha Cavalcante

Zulene Almada Teixeira

AGRADECIMENTOS/COLABORADORES

Ana Lúcia Maia de Souza

Davi Martins Pereira

Elano Lamartine Leão Joca

Fátima Lorena Magalhães Ferreira

Francisco de Assis de Souza Filho

Walt Disney Paulino

QUADRO DE CODIFICAÇÃO

Código do Documento	PSH-RT7-05
Título	Contratação dos serviços de consultoria (pessoa jurídica) para elaboração do Plano de Segurança Hídrica das bacias hidrográficas estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da sub-bacia do Salgado
Aprovação inicial por:	Francisco Jácome Sarmento
Data da Aprovação Inicial:	06/04/2017

Controle de Revisões

Revisão Nº	***Natureza***	***Data***	***Aprovação***
01	Forma/Conteúdo	02/05/2017	Francisco Jácome Sarmento
02	Forma/Conteúdo	18/05/2017	Francisco Jácome Sarmento
03	Forma/Conteúdo	14/06/2017	Francisco Jácome Sarmento
04	Forma/Conteúdo	06/07/2017	Francisco Jácome Sarmento
05	Forma	17/07/2017	Francisco Jácome Sarmento

APRESENTAÇÃO

Este documento, denominado *Inventário Ambiental do Açude Gavião*, é parte integrante do **Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-Bacia do Salgado**, que é um indicador do Projeto de Apoio ao Crescimento Econômico com Redução das Desigualdades e Sustentabilidade Ambiental do Estado do Ceará – Programa para Resultados (PforR).

O Produto **Inventários Ambientais dos Açudes Estratégicos das Bacias Metropolitanas** contempla 5 (cinco) açudes:

1. Aracoiaba;
2. Catucinzenta;
3. **Gavião;**
4. Malcozinhado;
5. Maranguapinho.

O presente documento apresenta o Inventário Ambiental do Açude Gavião, constituindo-se em parte do conjunto de atividades estabelecidas no Termo de Referência para contratação dos serviços de consultoria (pessoa jurídica) para elaboração do Plano de Segurança Hídrica - PSH anteriormente citado. A contratação das atividades de elaboração dos Inventários Ambientais de Açudes – IVAs foi efetivada pelo Contrato n.º 021/2016, firmado entre a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH e a Nippon Koei LAC.

Na elaboração deste IVA foram utilizadas informações contidas nos seguintes produtos do PSH: 01 – Relatório de Diagnóstico Ambiental das Bacias Metropolitanas, 05 – Relatório de Coleta e Diagnóstico das Águas das Bacias Metropolitanas e 10 – Relatório Parcial de Metodologia de Enquadramento de Reservatórios, além de informações e dados coletados em campo, conforme orientações expressas no Termo de Referência. Adicionalmente, foi realizada visita ao centro administrativo da prefeitura de Pacatuba, a fim de coletar informações acerca das potenciais fontes de poluição existentes na área de contribuição do açude Gavião, e visitas *in loco* para identificação de potenciais fontes poluidoras existentes na área de influência do reservatório.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia de contribuição – Açude Gavião 19
Figura 2 - Principais vias de acesso – Açude Gavião 20
Figura 3 - Precipitação média anual da área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião 23
Figura 4 - Mapa hipsométrico da área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião 24
Figura 5 - Lançamento de efluente doméstico a céu aberto no entorno do açude Gavião 26
Figura 6 - Efluente doméstico a céu aberto no entorno do açude Gavião 26
Figura 7 - Disposição indevida de resíduos sólidos no entorno do açude Gavião 27
Figura 8 - Disposição indevida de resíduos sólidos no entorno do açude Gavião 27
Figura 9 - Desmatamento na APP do açude Gavião 28
Figura 10 - Prática de pecuária extensiva próxima a bacia hidráulica do açude Gavião 29
Figura 11 - Pontos visitados na área de influência da bacia hidrográfica do açude Gavião 30
Figura 12 - Estabelecimentos potencialmente poluidores na área de contribuição hidrográfica do açude Gavião 31
Figura 13 - Estimativa populacional nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 36
Figura 14 - Tratamento de água nos domicílios dos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 39
Figura 15 - Destinação de águas servidas nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 40
Figura 16 - Pecuária nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 43
Figura 17 - Área plantada com lavoura temporária nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 43
Figura 18 - Área plantada com lavouras permanentes nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 44
Figura 19 - Evolução do volume armazenado no período de 2004 a 2016 – Açude Gavião 48
Figura 20 - Histograma do volume armazenado no período de tempo de 2004 a 2016 – Açude Gavião 49
Figura 21 - Histograma do volume armazenado entre os anos de 2012 a 2016 – Açude Gavião 49
Figura 22 - Frequência de não superação do volume armazenado no período de 2004 a 2016 – Açude Gavião 50
Figura 23 - Histograma do aporte (hm³) – Açude Gavião 50
Figura 24 - Frequência de não superação do aporte de água no período de 2004 a 2016 – Açude Gavião 51
Figura 25 - Localização espacial do ponto de coleta no açude Gavião 53

Figura 26 - Volume e clorofila-a ao longo do tempo – Açude Gavião 68
Figura 27 - Volume e cianobactérias ao longo do tempo – Açude Gavião 69
Figura 28 - Volume e DBO ao longo do tempo – Açude Gavião..... 70
Figura 29 - Volume e fósforo total ao longo do tempo – Açude Gavião..... 70
Figura 30 - Volume e nitrogênio total ao longo do tempo – Açude Gavião..... 71
Figura 31 - Volume e oxigênio dissolvido ao longo do tempo – Açude Gavião 72
Figura 32 - Volume e pH ao longo do tempo – Açude Gavião 73
Figura 33 - Volume e turbidez ao longo do tempo – Açude Gavião..... 74
Figura 34 - Volume e condutividade elétrica ao longo do tempo – Açude Gavião 75
Figura 35 - Estado trófico do açude Gavião..... 75
Figura 36 - Diagrama de articulação dos principais componentes da modelagem matemática 79
Figura 37 - Relação Chuva-Vazão pelo modelo SMAP..... 82
Figura 38 - Relação chuva-vazão das Bacias Metropolitanas com dados de estações fluviométricas localizadas dentro da bacia 84
Figura 39 - Relação chuva-vazão - Bacias Metropolitanas com dados de estações fluviométricas localizadas dentro e próximas à bacia..... 85
Figura 40 - Relação chuva-vazão - Bacias Metropolitanas 86
Figura 41 - Carga total de fósforo na área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião..... 94
Figura 42 - Concentração média anual de fósforo na área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião 95
Figura 43 - Mapa de uso e cobertura do solo da área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião..... 96
Figura 44 - Área de influência da bacia hidrográfica – Açude Gavião 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da área da bacia hidrográfica – Açude Gavião 18
Tabela 2 - Distribuição da área da bacia hidrográfica – Barragem Gavião 21
Tabela 3 - População residente rural e urbana nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 36
Tabela 4 - Número de docentes e matrículas iniciais por município no ano de 2015 – Açude Gavião.. 37
Tabela 5 - Profissionais de saúde/SUS nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião – 2015 37
Tabela 6 - Cobertura de abastecimento de água e esgoto nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião – 2015 38
Tabela 7 - Ligações da rede de distribuição de água e rede coletora de esgoto nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião – ano 2015 39
Tabela 8 - Tipo de moradia e acesso à energia elétrica nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 41
Tabela 9 - Indicadores municipais de coleta e produção de resíduos *per capita* (2015) nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 41
Tabela 10 - Produto interno bruto a preços de mercado nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 42
Tabela 11 - População com renda mensal de até R$ 70,00 nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião 45
Tabela 12 - IDHM e IDM dos municípios pertencentes à bacia de contribuição do açude Gavião 46
Tabela 13 - Resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas do açude Gavião 56
Tabela 14 - Quantitativo e qualitativo de cianobactérias no açude Gavião 57
Tabela 15 - Quantitativo e qualitativo dos demais grupos de fitoplâncton no açude Gavião 57
Tabela 16 - Resultados de análises (em mg/L) da água do açude Gavião 58
Tabela 17 - Classe trófica a partir do IET do fósforo e clorofila 59
Tabela 18 - Classe trófica a partir da contagem de cianobactérias 60
Tabela 19 - Classe trófica a partir da transparência 60
Tabela 20 - Classificação do estado de trofia do açude Gavião 61
Tabela 21 - Procedimento para seleção das profundidades de coleta 62
Tabela 22 - IQAR do açude Gavião 62
Tabela 23 - Classificação das águas do açude Gavião quanto a salinidade e sodificação 63
Tabela 24 - Resultados da análise do sedimento do açude Gavião 64
Tabela 25 - Pontos e coordenadas do açude Gavião 66
Tabela 26 - Estatística da qualidade de água da série histórica do açude Gavião – 2004 a 2016 67

Tabela 27 - Parâmetros utilizados para a construção do primeiro modelo chuva-vazão..... 81
Tabela 28 - Estações fluviométricas selecionadas para a construção do segundo modelo chuva-vazão 83
Tabela 29 - Equações de regressão chuva-vazão..... 83
Tabela 30 - Estação fluviométrica adicionada ao cálculo matemático de chuva e vazão das Bacias Metropolitanas..... 84
Tabela 31 - Equações de regressão chuva-vazão..... 85
Tabela 32 - Estações fluviométricas selecionadas para o cálculo final da chuva-vazão - Bacias Metropolitanas..... 86
Tabela 33 - Coeficientes médios de exportação de fósforo total adotados no estudo..... 90
Tabela 34 - Percentual da carga bruta anual de fósforo das fontes poluidoras pontuais e difusas 98
Tabela 35 - Carga anual de poluição pontual, difusa e acumulada de fósforo 99
Tabela 36 - Capacidade de suporte, estimativa de cargas recebidas e variáveis utilizadas..... 99
Tabela 37 - Espécies químicas dos sedimentos amostrados em porcentagem – Açude Gavião 102

LISTA DE SIGLAS

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A

ANA – Agência Nacional das Águas

ARCE – Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará

APP – Área de Preservação Permanente

BR – Brasil

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará

CE – Ceará

CEPIS – Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CV – Coeficiente de variação

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DDA – Doença Diarreica Aguda

DEFoFo – Tubos e Conexões Hidráulicas em PVC Modificado

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EEAT – Estação Elevatória de Água Tratada

EERD – Estação Elevatória de Rede de Distribuição

EEE – Estação Elevatória de Esgotos

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETDI – Estação de Tratamento de Despejos Industriais

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FAP – Fluxo Acumulado Ponderado

FJP – Fundação João Pinheiro

FRX – Fluorescência de Raios X

IAP – Instituto Ambiental do Paraná

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IDM – Índice de Desenvolvimento Municipal

IET – Índice de Estado Trófico

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

IQAR – Índice de Qualidade das Águas para Reservatórios

IVA – Inventário Ambiental de Açudes

LSR – Laboratório de Solidificação Rápida

MDE – Modelo Digital de Elevação

MQUAL – Modelo Matemático de Correlação Uso do Solo/Qualidade da Água

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

OD – Oxigênio Dissolvido

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OLI – *Operational Land Imager*

OMS – Organização Mundial de Saúde

PE – Pernambuco

PforR – Projeto de Apoio ao Crescimento Econômico com Redução das Desigualdades e Sustentabilidade Ambiental do Estado do Ceará – Programa para Resultados

PIB – Produto Interno Bruto

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PSF – Programa Saúde da Família

PSH – Plano de Segurança Hídrica

PVC – Policloreto de Polivinila

RAP – Reservatório Apoiado

RCC – Resíduos da Construção Civil

RDO – Resíduos Domiciliares

RDA – Rede de Distribuição de Água

RPU – Resíduos Públicos

RSS – Resíduos Sólidos de Saúde

SESA – Secretaria de Saúde do Estado do Ceará

SIAB – Sistema de Atenção Básica (Ministério da Saúde)

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

SMAP – *Soil Moisture Accounting Procedure*

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Secretaria das Cidades)

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

SUS – Sistema Único de Saúde

TIRS – *Thermal Infrared Sensor*

TR – Termo de Referência

UFC – Universidade Federal do Ceará

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

USGS – *US Geological Survey*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E MEDIDAS MITIGADORAS 18
2.1 Caracterização fisiográfica 18
2.2 Caracterização ambiental 21
2.3 Principais usos 25
2.4 Principais impactos 25
2.5 Medidas mitigadoras 32
3. INDICADORES SOCIOECONÔMICOS 35
3.1 Demografia 35
3.2 Educação e Saúde 37
3.3 Infraestrutura e saneamento 38
3.4 Resíduos sólidos 41
3.5 Economia 42
3.6 Pecuária 42
3.7 Agricultura 43
3.8 Doenças de veiculação hídrica 44
3.9 Desenvolvimento Humano 45
4. COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO 48
5. QUALIDADE DA ÁGUA 53
5.1 Análises das coletas realizadas 53
5.1.1 Água 54
5.1.1.1 Estado de trofia 58
5.1.1.2 IQAR 61
5.1.1.3 Qualidade de água para irrigação 63
5.1.2 Sedimento 63
5.2 Dados de qualidade da água de 2004 a 2016 65
6. ESTIMATIVA DA CARGA DE NUTRIENTES 77
6.1. Modelagem matemática para definição da área de influência do reservatório 77
6.1.1 Modelo Digital de Elevação - MDE e Direção de Fluxo 77
6.1.2 Modelagem da Relação Chuva-vazão 80
6.1.2.1 Alternativas estudadas 81
6.1.3 Modelo de vazão acumulada 87

6.1.4 Modelo de cargas difusas e pontuais *87*
6.1.5 Modelo regressivo referenciador *88*
6.1.6 Modelagem espacial distribuída *89*
6.1.7 Calibração de parâmetro de depuração *92*
6.1.8 Apresentação dos mapas com os resultados obtidos *93*
6.2. Resumo do cálculo das cargas de nutrientes 98
6.3 Cenário atual e capacidade de suporte do reservatório 99
7. ASPECTOS QUÍMICOS DO SEDIMENTO 101
8. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES 104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 107
ANEXOS 113

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, a gestão integrada de recursos hídricos se constitui em uma das prioridades fundamentais das políticas públicas, face ao incontrolado crescimento populacional, à avassaladora demanda hídrica para os mais variados fins e ao surgimento cada vez mais intenso de conflitos pelas limitadas disponibilidades hídricas (VIEIRA, 2003).

O Nordeste apresenta a escassez hídrica como fator ambiental conhecido desde os primórdios do descobrimento do Brasil, com a expansão populacional da região. Tal fato, sem dúvida, se comporta como limitante para o desenvolvimento da região. No âmbito das políticas governamentais, historicamente há registro de várias iniciativas voltadas a garantir o fornecimento hídrico para a população impactada.

A construção de barragens, visando o abastecimento humano, foi e é considerada uma das soluções mais viáveis e utilizadas em todo mundo. Como se sabe, o princípio básico desse tipo de intervenção de infraestrutura consiste em acumular água nos períodos chuvosos, objetivando a utilização desse recurso em períodos secos ou de enfrentamento de estiagem. Historicamente, a preocupação sempre se concentrou no quantitativo de recurso hídrico nos reservatórios. Entretanto, após grandes surtos de doenças de veiculação hídrica, a relação entre a saúde pública e a qualidade da água passa a ser foco de políticas governamentais que, através de ferramentas legais, tenta limitar o impacto antrópico na qualidade das águas acumuladas nos mananciais.

O Inventário Ambiental de Açudes (IVA) tem como objetivo diagnosticar a atual situação das águas de cada reservatório, bem como o uso a elas relacionado, além de apresentar uma análise da relação desse cenário com a ocupação e uso do solo em sua área de influência.

Na elaboração deste IVA foram utilizados como referência os IVAs de outros açudes fornecidos pela Cogerh. Também foram utilizadas informações do banco de dados de monitoramento da qualidade das águas da Companhia, bem como foram coletadas informações diretamente em campo, com a aplicação de questionário, conforme modelo apresentado no TR. Além disso, foram obtidas informações na prefeitura de Pacatuba, município que detém mais de 90% da área da bacia de interesse. Merece, por fim, ser reiterado que os seguintes produtos do Plano de Segurança Hídrica foram, igualmente, fontes importantes para o desenvolvimento desse estudo: R01 – Relatório de Diagnóstico Ambiental das Bacias Metropolitanas e R04 – Relatório de Coleta e Diagnóstico das Águas das Bacias Metropolitanas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E MEDIDAS MITIGADORAS

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E MEDIDAS MITIGADORAS

2.1 Caracterização fisiográfica

A região em questão abrange a bacia de contribuição hidrográfica do açude Gavião, localizada entre as coordenadas UTM, Zona 24M, 9568879mN e 9554523mN, e 550600mE e 540006mE, está inserida na bacia hidrográfica do Rio Cocó, na região das Bacias Metropolitanas (Figura 1).

Sua área de drenagem é de 97,12 km², englobando os municípios de Guaiúba, Itaitinga e Pacatuba (Tabela 1), com o reservatório inserido no município de Pacatuba, que possui população de 72.299 habitantes, sendo 62.095 residentes em zona urbana e 10.204 em zona rural, conforme os dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

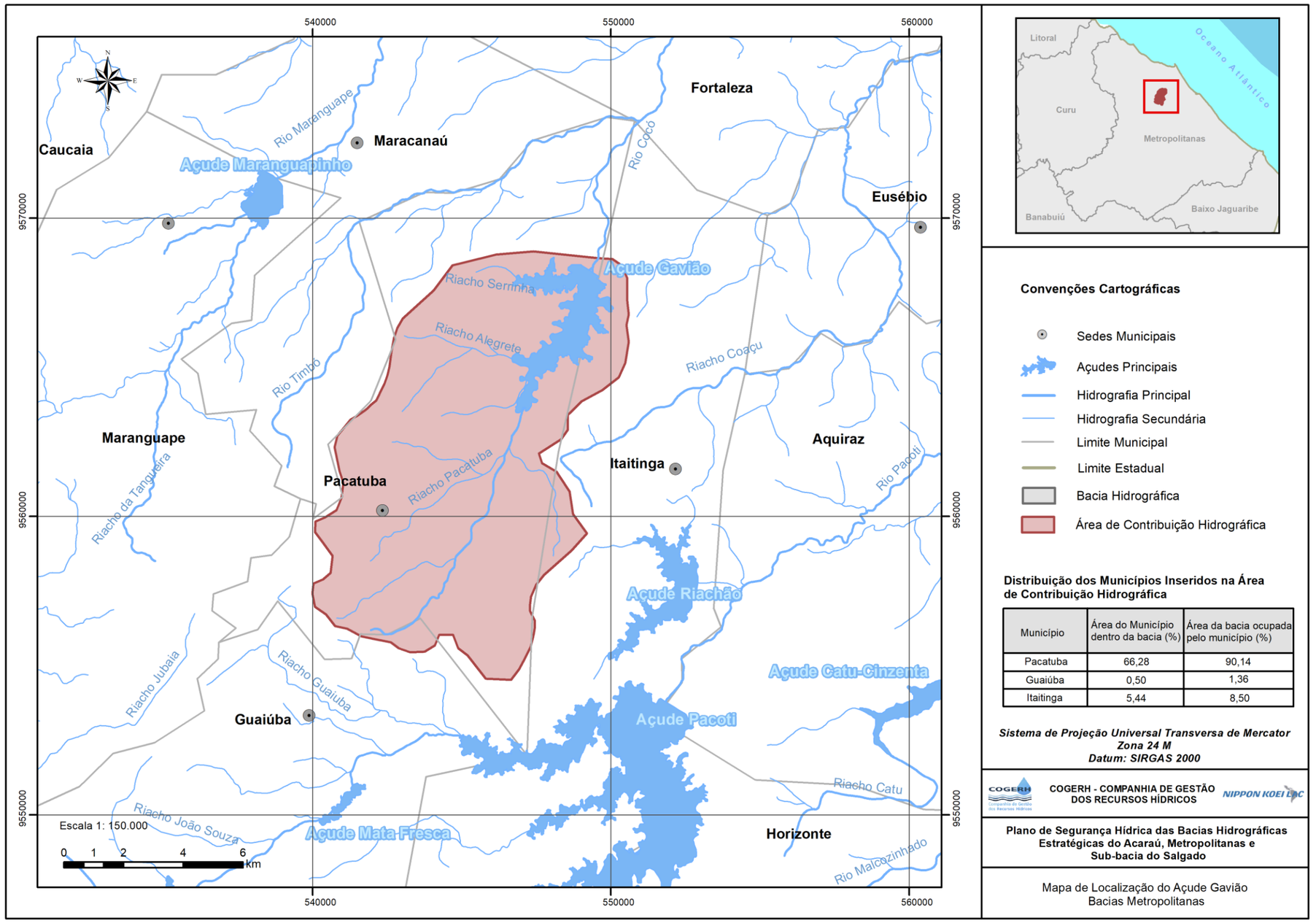
Tabela 1 - Distribuição da área da bacia hidrográfica – Açude Gavião

Município	Área do município dentro da bacia (%)	Área da bacia dentro do município (%)
Pacatuba	66,28	90,14
Guaiúba	0,50	1,36
Itaitinga	5,44	8,50

Fonte: adaptado de IBGE (2015a).

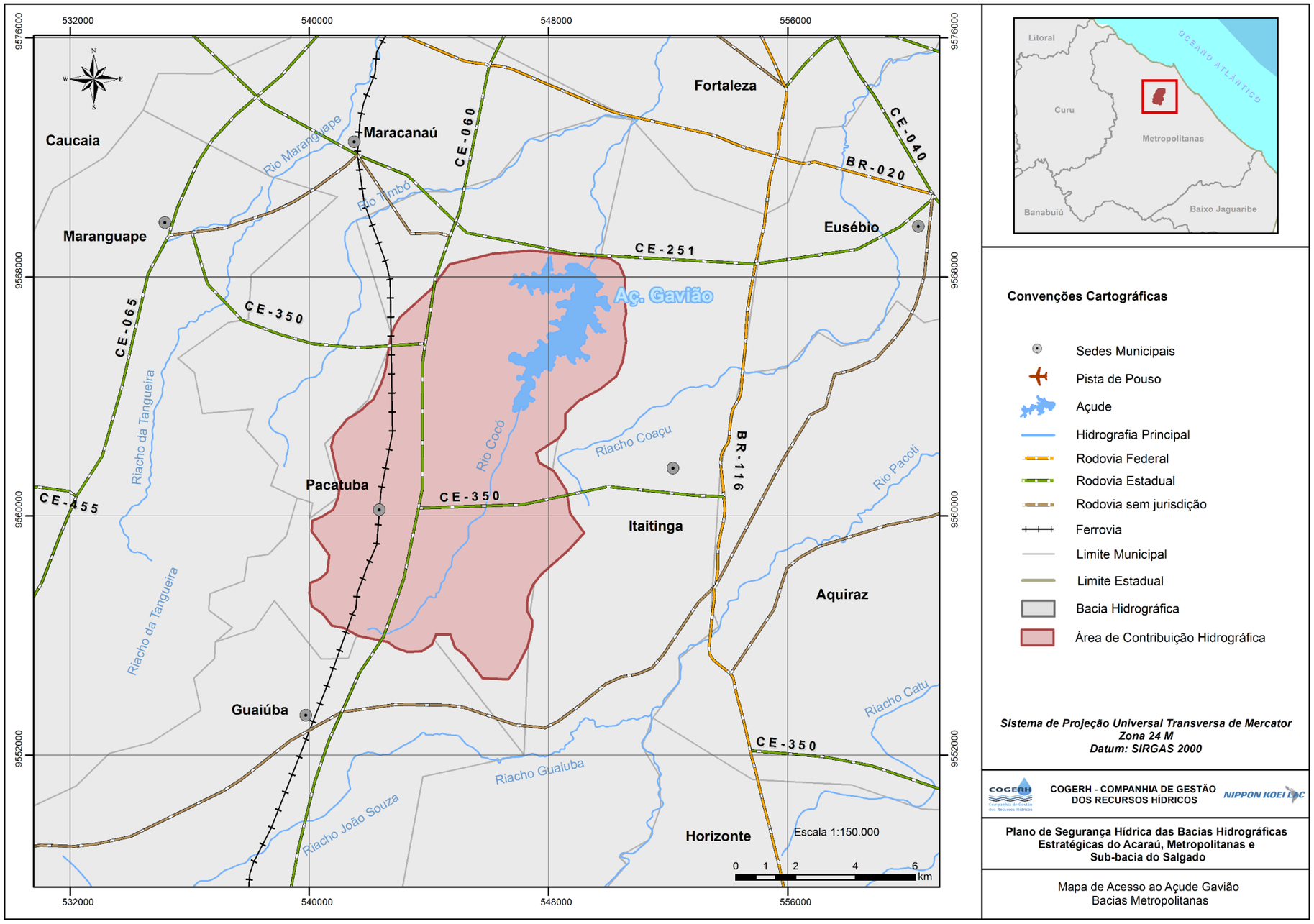
Os principais tributários do Rio Cocó, onde o barramento foi construído, são: Riacho Serrinha, Riacho Alegrete e o Riacho Pacatuba. As principais vias de acesso a região são as rodovias estaduais CE-251, CE-350 e CE-060 e as rodovias federais BR-120 e BR-020, que cortam a bacia de contribuição do açude Gavião. (Figura 2).

Figura 1 - Localização da bacia de contribuição – Açude Gavião



Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

Figura 2 - Principais vias de acesso – Açude Gavião



Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

As informações técnicas referentes à barragem do açude Gavião são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuição da área da bacia hidrográfica – Barragem Gavião

Município:	Pacatuba
Coordenada E:	549.266
Coordenada N:	9.568.234
Bacia:	Metropolitanas
Rio/Riacho Barrado:	Cocó
Barragem	
Tipo:	Terra Homogênea
Capacidade (m³):	32.900.000
Bacia Hidrográfica (km²):	97,12
Bacia Hidráulica (ha):	618
Vazão Regularizada (m³/s):	3,8
Extensão pelo Coroamento (m):	668
Cota do Coroamento (m):	37
Vertedouro	
Tipo:	Perfil Creager
Largura (m):	19,8
Cota da Soleira (m):	36

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos. (2016).

2.2 Caracterização ambiental

O clima predominante na região, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é o Aw', caracterizado como tropical chuvoso, quente e úmido, com estação chuvosa concentrada no outono. Na região são registradas temperaturas consideradas amenas para o semiárido, ou seja, na faixa de 19ºC a 29ºC (médias de mínimas e máximas), o que ocorre devido às serras existentes na região. A precipitação pluviométrica varia entre 1.200 a 1.400 mm (Figura 3) e o regime de chuvas é considerado bastante irregular, com anos marcados por chuvas intensas, concentradas geralmente de janeiro a abril, e outros por secas (CPRM, 1998).

Quanto às altitudes registradas na área de contribuição hidrográfica (Figura 4), percebe-se a predominância de valores entre 24 e 105 metros. A região com os maiores valores altimétricos, que chegam até 700 metros, é representada pela Serra da Aratanha, nas proximidades do município de Pacatuba.

A classe de solo predominante na região é o Argissolo. Segundo a Embrapa (2006), os Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, medianamente profundos,

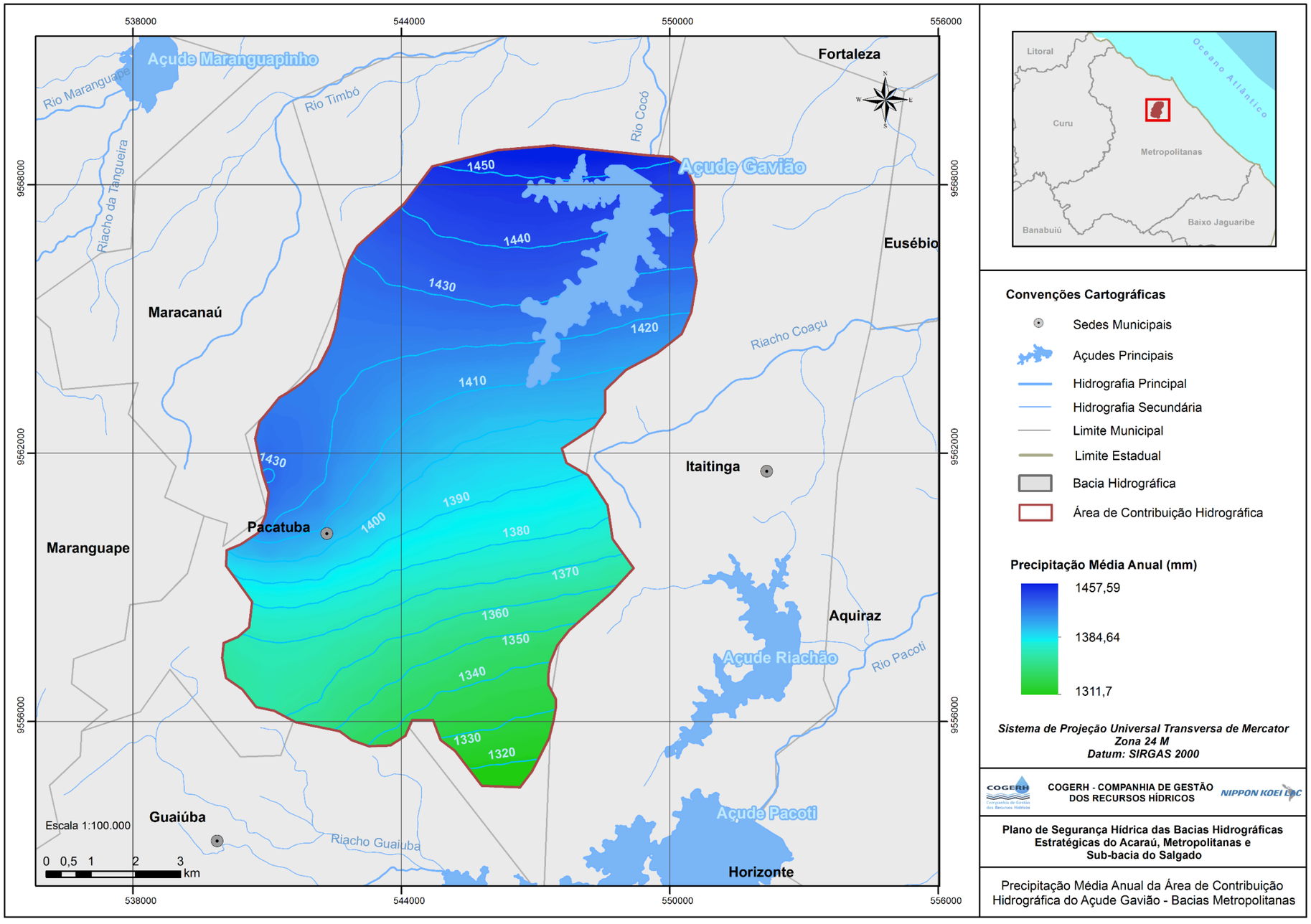
moderadamente drenados e com presença de horizonte B textural. Apresentam cores avermelhadas ou amareladas e, mais raramente, brunadas ou acinzentadas e textura que varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt. São forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa.

Do ponto de vista geológico encontram-se rochas do embasamento cristalino, do Pré-Cambriano e sedimentos areno-argilosos pertencentes a Formação Barreiras, podendo ainda ser detectados juntos aos cursos dos principais rios os depósitos aluviais, compostos principalmente de areia, silte, argila e cascalhos (CPRM, 1998).

Os domínios hidrogeológicos presentes na bacia do açude Gavião são as rochas cristalinas, os sedimentos da Formação Barreiras e os depósitos aluvionares. O cristalino é o domínio predominante e, como a água nesse tipo de rocha é acumulada nas fissuras (fraturas e fendas), a quantidade e a qualidade da água extraída não é das melhores, podendo muitas vezes ser encontrada salinizada. No entanto, esse aquífero ainda possui sua importância, na medida em que pode ser usado para abastecer comunidades mais remotas e servir como alternativa abastecimento em períodos de estiagem. A Formação Barreiras possui como importante característica a sua variação litológica, apresentando níveis mais e menos permeáveis, e resultando em maiores e menores potencialidades para exploração. Para a bacia em estudo, esse aquífero possui pequenas espessuras, além de se encontrar disperso em manchas, logo, a potencialidade de exploração é limitada. Os depósitos aluvionares são formados por sedimentos areno-argilosos recentes que margeiam as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região. Eles têm uma importância relativa como alternativa a mananciais, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas, por produzir vazões significativas (CPRM, 1998).

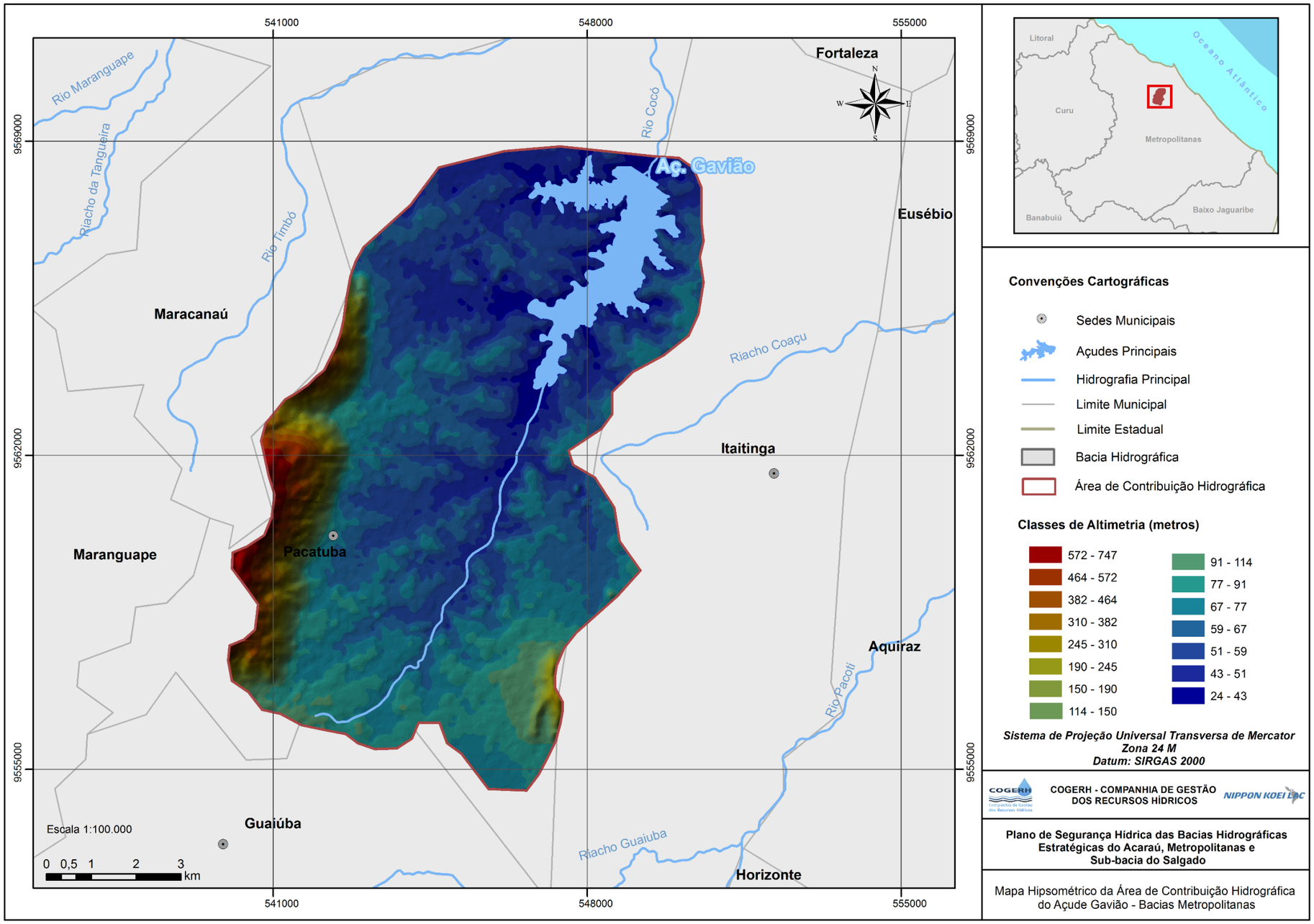
A vegetação na bacia de contribuição do açude Gavião é caracterizada pela presença de caatinga, podendo ser mista ou arbustiva densa. Além disso, devido a presença dos maciços residuais, representados pela Serra da Aratanha, podem ser encontradas manchas de mata úmida e mata serranas dos tabuleiros nas regiões mais elevadas, que favorecem condições para maiores umidades (CPRM, 1998).

Figura 3 - Precipitação média anual da área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião



Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

Figura 4 - Mapa hipsométrico da área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião



Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

2.3 Principais usos

O Gavião é um dos reservatórios responsáveis pelo abastecimento humano de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú, Eusébio e São Gonçalo do Amarante, incluindo o Complexo Industrial e Portuário do Pecém, pois é receptor da transposição de águas oriundas do açude Castanhão, através do Eixão das Águas, que possui 255 km de extensão e realiza a transposição de água proveniente do vale do Jaguaribe para as bacias hidrográficas da região metropolitana de Fortaleza, beneficiando aproximadamente 3 milhões de pessoas (ADECE, 2015). Desse modo, em virtude do período de estiagem que o Ceará vem enfrentando, a água armazenada no açude deveria ser destinada, exclusivamente, ao uso consuntivo de abastecimento humano e dessedentação animal. No entanto, nas visitas *in loco* ao açude Gavião identificou-se também o uso da água para irrigação, indústrias, pesca, recreação e lazer.

2.4 Principais impactos

Na área de influência do açude Gavião foram constatadas atividades irregulares praticadas na sua Área de Preservação Permanente (APP). Constatou-se ainda a existência de conflitos de interesses entre o uso da água do reservatório para abastecimento humano e dessedentação animal, assegurados por lei em tempos de escassez hídrica, e os outros tipos de usos praticados indevidamente e irregularmente por parte da comunidade local.

Grande parte dos problemas encontrados referem-se à disposição inadequada de resíduos sólidos realizada por comunidades de baixa renda presentes no entorno do açude Gavião, como as comunidades Pedras, Pavuna, Caracanga, Gereraú e São Luís, inseridas no município de Pacatuba. O crescimento desordenado de núcleos urbanos e comunidades em direção ao açude é um fator impactante, visto que tal crescimento significa um aumento de efluentes sanitários, industriais e de resíduos sólidos, que podem comprometer a qualidade da água do reservatório para o abastecimento humano, além de se tornarem fontes de doenças. Foram identificados lançamentos de efluentes domésticos a céu aberto e despejo de lixo em terrenos baldios, o que aumenta a quantidade de nutrientes e resíduos que são carreados e lixiviados até o açude. Adicionalmente, moradores reclamaram do odor fétido oriundo da descarga do efluente da estação de tratamento de esgoto da Cagece existente no local, o que pode apontar ineficiência no tratamento e provável contribuição para o aporte de nutrientes no açude. A Foto 7 do Quadro 1 em anexo, com suas

respectivas coordenadas, permite visualizar o local onde é realizada a descarga de efluente mencionada.

As Figuras 5 e 6 registradas, respectivamente, nas coordenadas UTM, Zona 24M, 9566857mN e 545239mE, e 9566827mN e 545239mE (SIRGAS 2000), apontam déficit na infraestrutura de saneamento local.

Figura 5 - Lançamento de efluente doméstico a céu aberto no entorno do açude Gavião

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

Figura 6 - Efluente doméstico a céu aberto no entorno do açude Gavião

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

As Figuras 7 e 8 registradas, respectivamente, nas coordenadas UTM, Zona 24M, 9566660mN e 545169mE, e 9565390mN e 545019mE (SIRGAS 2000), permitem visualizar a disposição irregular de resíduos sólidos no entorno do açude Gavião.

Figura 7 - Disposição indevida de resíduos sólidos no entorno do açude Gavião

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

Figura 8 - Disposição indevida de resíduos sólidos no entorno do açude Gavião

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

As áreas desmatadas e queimadas visualizadas durante as visitas “in loco” ocorrem principalmente em terrenos particulares localizados próximo às margens do açude Gavião. Comumente, são locais destinados ao uso agrícola, pastagem, produção de carvão ou, ainda, para dar lugar a futuras construções habitacionais. Os impactos ambientais causados por essas práticas vão desde o assoreamento do reservatório até a potencialização do carreamento e do lixiviamento de nutrientes, insumos agrícolas e fezes de animais, já que sem a proteção vegetal não há o amortecimento do escoamento superficial, comprometendo a qualidade da água.

O bioma caatinga, predominante regionalmente, é o mais impactado, sendo comum a substituição da vegetação nativa por espécies exóticas ou por frutíferas como cajueiros, goiabeiras e mangueiras. O solo, então desmatado ou queimado, se torna exposto às intempéries, facilitando sua compactação devido às ações antrópicas ou à presença de animais que pastam no local. Ademais, a fauna silvestre característica também se prejudica, havendo a diminuição de habitats locais e o consequente afugentamento das espécies. As Figuras 9 e 10 registradas, respectivamente, nas coordenadas UTM, Zona 24M, 9561400mN e 546060mE, e 9565230mN e 546663mE (SIRGAS 2000), ilustram o desmatamento em APP e a prática de pecuária extensiva próximo a bacia hidráulica do reservatório.

Figura 9 - Desmatamento na APP do açude Gavião

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

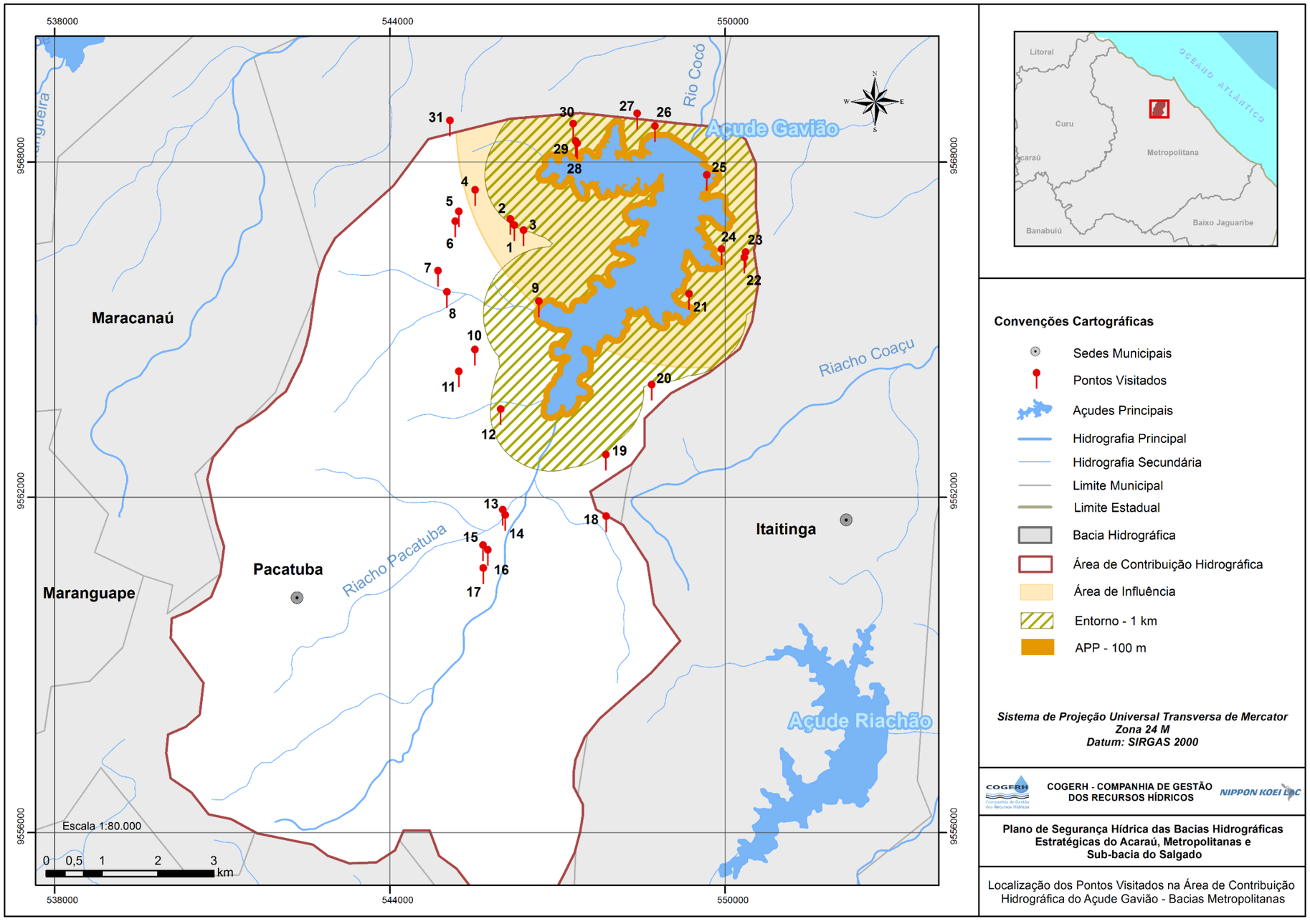
Figura 10 - Prática de pecuária extensiva próxima a bacia hidráulica do açude Gavião

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

No dia 06 de dezembro de 2016, ainda no contexto do mapeamento da área de contribuição do açude Gavião, foi realizada visita à prefeitura de Pacatuba, com o objetivo de obter dados referentes aos tipos estabelecimentos relacionados no Termo de Referência (TR) para as cidades que estão inseridas na área de contribuição do reservatório; são eles: estações de tratamento de água (ETA), estações de tratamento de esgoto (ETE), cemitérios, ourivesarias, postos de combustíveis, lagoas de estabilização, esgotos, lixões/aterros sanitários, balneários, matadouros, indústrias, atividades de mineração, poços abandonados, resíduos domésticos, resíduos hospitalares, resíduos industriais, lavagem de carro, uso de agrotóxicos, uso de fertilizantes, pecuária extensiva, confinamento de animais (currais), indústria alimentícia, indústria de couro e curtume, indústria têxtil, metalúrgicas, lavanderias, usina de álcool (vinhoto) e tanques de armazenamentos. A localização dos estabelecimentos, conforme informações obtidas na Prefeitura Municipal de Pacatuba, são mostrados na Figura 12.

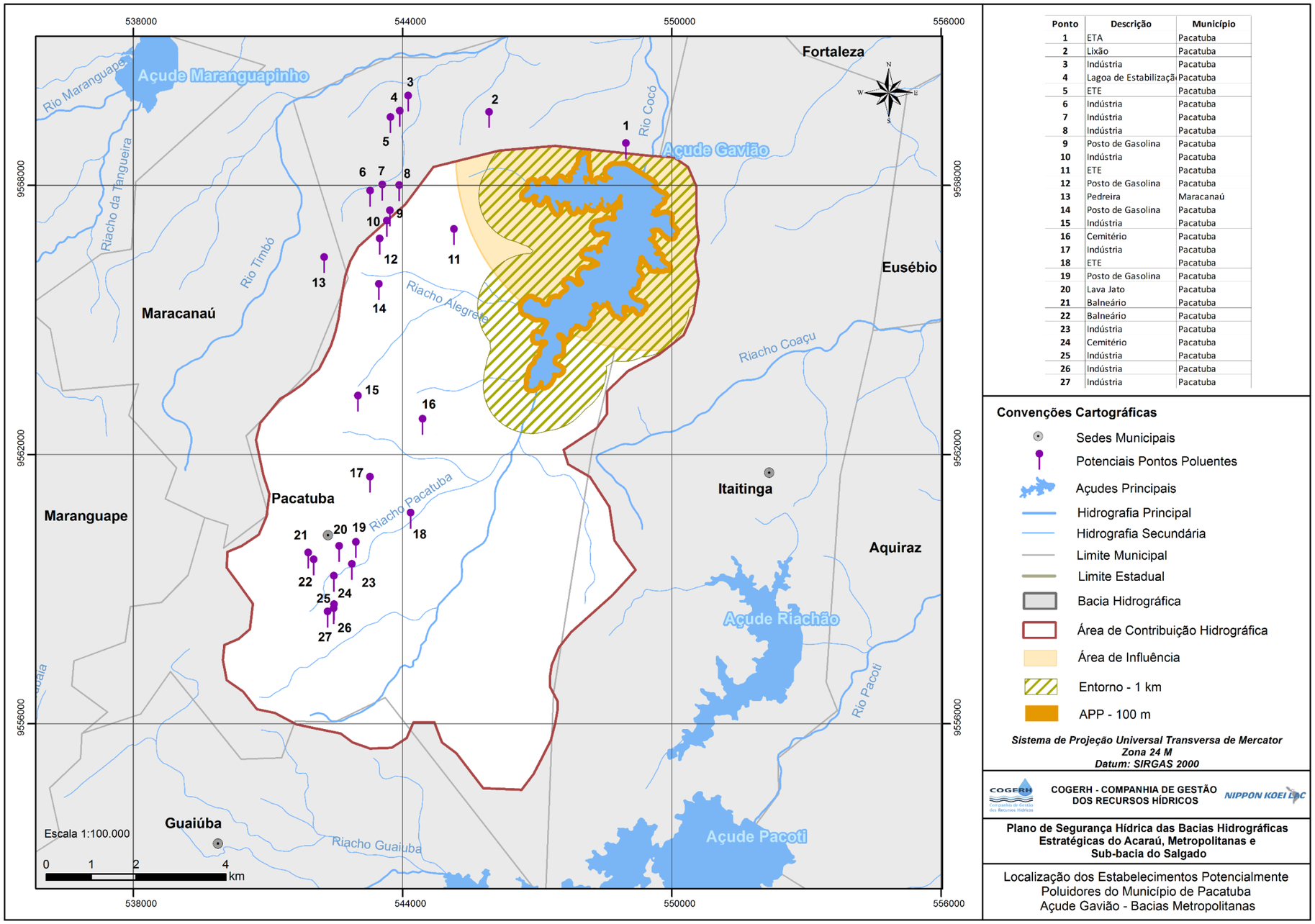
A Figura 11 apresenta a localização dos pontos visitados na área de influência da bacia hidrográfica do açude Gavião. Em anexo, no Quadro 1, é apresentado o registro fotográfico da área de influência da bacia hidrográfica, referente aos pontos identificados na figura referenciada.

Figura 11 - Pontos visitados na área de influência da bacia hidrográfica do açude Gavião



Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

Figura 12 - Estabelecimentos potencialmente poluidores na área de contribuição hidrográfica do açude Gavião



Ponto	Descrição	Município
1	ETA	Pacatuba
2	Lixão	Pacatuba
3	Indústria	Pacatuba
4	Lagoa de Estabilização	Pacatuba
5	ETE	Pacatuba
6	Indústria	Pacatuba
7	Indústria	Pacatuba
8	Indústria	Pacatuba
9	Posto de Gasolina	Pacatuba
10	Indústria	Pacatuba
11	ETE	Pacatuba
12	Posto de Gasolina	Pacatuba
13	Pedreira	Maracanaú
14	Posto de Gasolina	Pacatuba
15	Indústria	Pacatuba
16	Cemitério	Pacatuba
17	Indústria	Pacatuba
18	ETE	Pacatuba
19	Posto de Gasolina	Pacatuba
20	Lava Jato	Pacatuba
21	Balneário	Pacatuba
22	Balneário	Pacatuba
23	Indústria	Pacatuba
24	Cemitério	Pacatuba
25	Indústria	Pacatuba
26	Indústria	Pacatuba
27	Indústria	Pacatuba

Fonte: Prefeitura Municipal de Pacatuba, elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

2.5 Medidas mitigadoras

Na área de contribuição hidrográfica do açude Gavião foram identificadas atividades antrópicas irregulares que prejudicam a oferta hídrica da região. Para que a água provida possa ter uma qualidade satisfatória faz-se necessária a adoção de algumas ações de curto, médio e longo prazo, com a finalidade de reduzir a carga de nutrientes e poluentes que chegam ao reservatório.

- Implantar políticas de incentivo e reestruturação de práticas agrícolas orgânicas e sustentáveis, que sejam compatíveis com os tipos de solo e o relevo da região;
- Intensificar a fiscalização do uso de agrotóxicos e fertilizantes, bem como a destinação adequada das embalagens desses produtos;
- Construir bebedouros para os rebanhos fora da área de preservação permanente do reservatório, evitando a permanência dos animais nas margens do açude;
- Aplicar medidas de manejo e recuperação da vegetação ciliar do reservatório;
- Fazer gestão junto aos órgãos competentes para que haja a implantação ou reestruturação de infraestrutura de saneamento básico nas áreas que apresentam essa deficiência, principalmente nas comunidades localizadas no entorno do reservatório;
- Adotar programa de coleta seletiva dos resíduos sólidos nas comunidades, bem como fazer gestão junto às prefeituras para que haja a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, conforme preconiza a Lei Federal n.º 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Incentivar os produtores de aves a adotar técnicas sustentáveis de manejo das camas de aviário, como a compostagem, que permite a sua reutilização como adubo em cultivos agrícolas;
- Aplicar medidas de manejo e monitoramento da atividade de piscicultura realizada nos açudes, sobretudo nos que se situam a montante do reservatório Gavião, evitando a superpopulação de peixes e o uso de quantidades exacerbadas de ração, principalmente quando os reservatórios estiverem com seus volumes em níveis críticos;
- Promover a fiscalização do manejo adequado das águas dos poços perfurados na região, garantindo o uso adequado dos recursos subterrâneos;

- Fortalecer os programas de educação ambiental nas comunidades situadas na área de influência do açude Gavião, com a finalidade de sensibilizar a população sobre a importância da destinação correta dos resíduos sólidos e dos efluentes sanitários para a manutenção ou melhoria da qualidade da água do reservatório;
- Apresentar o conteúdo deste IVA para os membros do Comitê das Bacias Metropolitanas, que são importantes parceiros na fiscalização e cobrança das instituições na busca por solução para os problemas identificados na bacia de contribuição do reservatório;
- Implantar ou fortalecer as parcerias existentes entre a Cogerh e os órgãos municipais de meio ambiente, visando coibir a prática de ações danosas à manutenção da qualidade ambiental dessas áreas, fazendo uso das informações compiladas neste IVA, sobretudo na identificação das principais fontes de poluição do reservatório.

3. INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

3. INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

Os estudos socioeconômicos tiveram como base as informações obtidas nos censos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), na análise de dados e perfis municipais disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (Ipece), e nas informações obtidas junto à Secretaria de Saúde do Estado do Ceará.

Juntos, os municípios de Pacatuba e Itaitinga integram 98,64% da área da bacia de contribuição do açude Gavião, portanto possuem grande relevância e influência na dinâmica do uso e ocupação do solo e potencial influência poluidora para esse reservatório. O município de Guaiúba integra uma área menor que 1% da área total da bacia, portanto não será considerado nessa análise.

3.1 Demografia

Os dados dos Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 realizados pelo IBGE, relativos à quantificação da população residente, urbana ou rural, estão apresentados sinteticamente na Tabela 3.

Conforme o último censo realizado pelo IBGE, em 2010, o município de Pacatuba possui mais que o dobro de habitantes do município de Itaitinga. Considerando o crescimento populacional na zona rural, apesar do município de Pacatuba apresentar uma tendência de decrescimento entre 1970 e 2000, houve aumento da população residente rural entre os anos 2000 e 2010. Em Itaitinga houve uma considerável diminuição populacional na zona rural, que atualmente representa menos de 1% da população total do município. Com relação a área urbana, ambos apresentaram aumento na população residente.

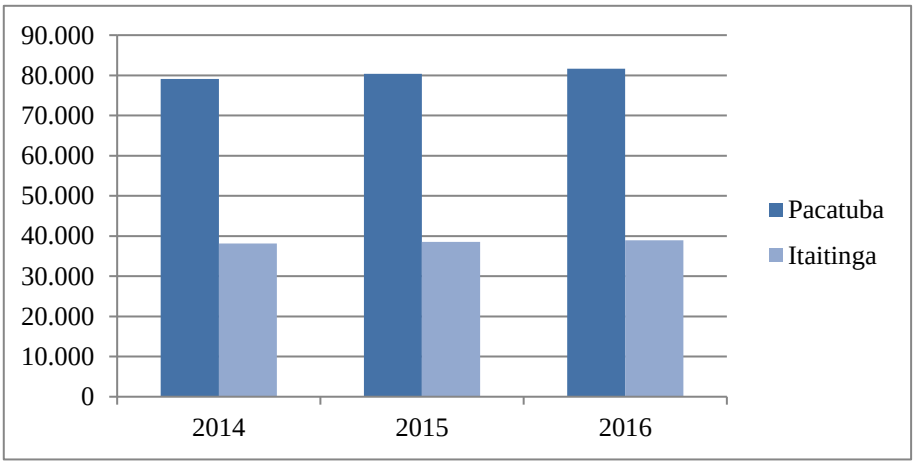
Tabela 3 - População residente rural e urbana nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião

Censos Demográficos - IBGE		Pacatuba	Itaitinga
População em 1970	Urbana	9.092	-
	Rural	22.824	-
	Total	31.916	-
	% Urbana	28,49%	-
População em 1980	Urbana	24.809	-
	Rural	17.301	-
	Total	42.110	-
	% Urbana	58,91%	-
População em 1991	Urbana	53.626	-
	Rural	6.522	-
	Total	60.148	-
	% Urbana	89,16%	-
População em 2000	Urbana	47.028	26.546
	Rural	4.668	2.671
	Total	51.696	29.217
	% Urbana	90,97%	90,86%
População em 2010	Urbana	62.095	35.565
	Rural	10.204	252
	Total	72.299	35.817
	% Urbana	85,89%	99,30%

Fonte: IBGE, Censos 1970,1980, 1991, 2000 e 2010.

A Figura 13 apresenta a estimativa de crescimento populacional dos municípios entre os anos de 2014 e 2016, segundo o IBGE.

Figura 13 - Estimativa populacional nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião



Fonte: IBGE (2010).

3.2 Educação e Saúde

A educação básica nos municípios de Pacatuba e Itaitinga é oferecida principalmente pelos governos estaduais e municipais. O número de escolas particulares é limitado à educação pré-escolar e fundamental, e em ambos os municípios não existem escolas privadas de ensino médio (IBGE, 2015b).

Considerando o número de analfabetos com 15 anos ou mais, os municípios de Pacatuba e Itaitinga apresentam, em relação à população residente total, uma taxa de 7,41% e 12,78% respectivamente (IBGE, 2010). Informações adicionais a respeito do número de docentes e matrículas iniciais no ano de 2015 estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Número de docentes e matrículas iniciais por município no ano de 2015 – Açude Gavião

Dependência Administrativa	Docentes			Matrículas Iniciais		
	Pacatuba	Itaitinga	Estado	Pacatuba	Itaitinga	Estado
Total	618	408	100.909	13.695	11.080	222.9711
Federal	-	-	893	-	-	11.107
Estadual	138	116	16.680	2.596	2.933	432.014
Municipal	392	252	62.119	9.426	7.428	1.333.872
Particular	88	40	21.217	1.673	719	452.718

Fonte: Ipece (2016).

No que se refere à saúde, ambos os municípios utilizam o Sistema Único de Saúde (SUS) e o Programa Saúde da Família (PSF). Quanto ao número de médicos por mil habitantes, Itaitinga apresenta valor superior à média estadual (2,21 médicos para cada mil habitantes), enquanto Pacatuba possui menos de um médico para cada mil habitantes (Tabela 5).

Tabela 5 - Profissionais de saúde/SUS nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião – 2015

Discriminação	Profissionais de Saúde ligados ao SUS		
	Pacatuba	Itaitinga	Estado
Total*	359	409	67.093
Médicos	51	85	12.239
Dentistas	17	26	2.986
Enfermeiros	45	43	7.609
Agentes Comunitários de Saúde	115	73	15.467
Médicos/1000 hab	0,63	2,21	1,37

Fonte: Ipece (2016).
Nota: *O valor total refere-se à soma de todos os profissionais de saúde ligados ao SUS, incluindo aqueles que não estão mostrados na tabela.

3.3 Infraestrutura e saneamento

No tocante à infraestrutura e saneamento dos municípios em análise, os dados foram obtidos da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), do Sistema de Atenção Básica (SIAB) - plataforma do Datasus, desenvolvida pelo Ministério da Saúde, referentes ao mês de dezembro de 2015, e do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (Ipece) -2016.

A cobertura da rede de abastecimento de água nos domicílios urbanos dos municípios, com dados de 2015, apresenta valores próximos da universalização do sistema, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Cobertura de abastecimento de água e esgoto nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião – 2015

Municípios	Taxa de Cobertura Urbana (%)	
	Abastecimento de água	Esgotamento Sanitário
Pacatuba	98,49	63,29
Itaitinga	97,46	2,40

Fonte: Ipece (2016).

Ressalta-se que ambos os municípios apresentam taxas de cobertura urbana de água superiores à taxa de cobertura urbana de água do estado do Ceará, que é de 92,06%.

O sistema de abastecimento de água da sede do município de Pacatuba, operado pela Cagece, tem como manancial o próprio açude Gavião (ARCE, 2014c). O sistema conta com uma adutora de água bruta em PVC DEFoFo, com 251m de extensão e diâmetro nominal de 150mm; dois reservatórios, sendo um apoiado (RAP-01) com capacidade de 10m³ e um semienterrado (RSE-01), com capacidade de 100m³; três estações elevatórias de água tratada, sendo uma com dois conjuntos motobombas (EEAT-01), que recalca do RAP-01 à rede de distribuição de água (RDA) de Pacatuba e outra (EERD-01) que funciona como um *booster* e recalca da RDA de Pacatuba para a RDA São Luís e para a RDA do Conjunto Habitacional Minha Casa Minha Vida e, por fim, uma (EERD-02) que também funciona como *booster* e recalca da RDA Pacatuba para a RDA Quandu. A RDA possuía um total de 5.010 ligações ativas e 59.720m de extensão em janeiro de 2014. Já a ETA possui um decantador, seis filtros descendentes, desinfecção por cloro e aplicação de flúor (ARCE, 2014c).

A taxa de cobertura urbana dos sistemas de abastecimento de água de Pacatuba chegou a 98,49% em 2015 (IPECE, 2016), com um volume produzido nas ETAs de 2.325.950m³ (SNSA,

2017). Já em dezembro de 2016, a taxa de cobertura do sistema era de 98,85%, atendendo 13.596 pessoas e podendo atender até 15.922 habitantes (CAGECE, 2017a).

A Tabela 7 apresenta o número de ligações reais e de ligações ativas da rede de distribuição de água e da rede de esgotamento sanitário, além do volume de água produzido anualmente nos dois municípios.

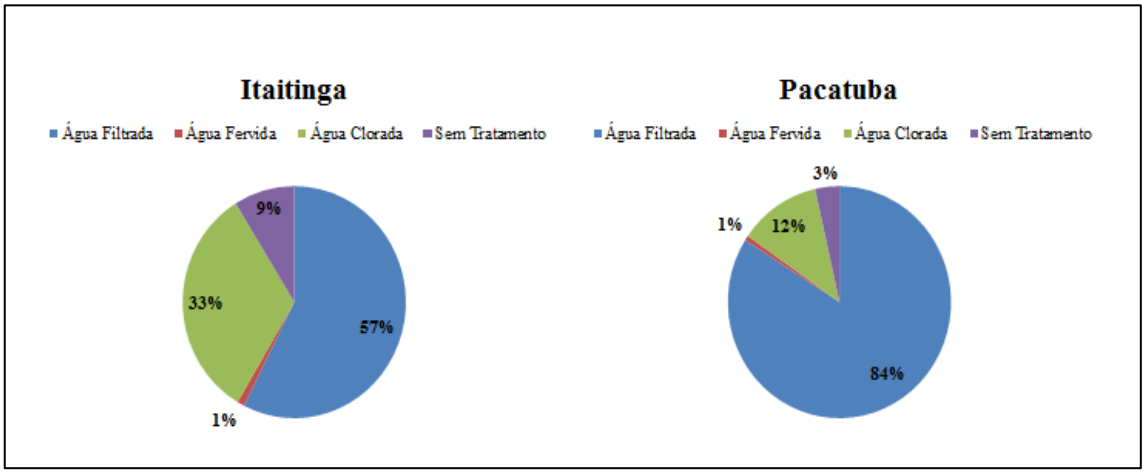
Tabela 7 - Ligações da rede de distribuição de água e rede coletora de esgoto nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião – ano 2015

Município	Abastecimento de Água			Esgotamento Sanitário	
	Ligações Reais	Ligações Ativas	Vol. Produzido (m³)	Ligações Reais	Ligações Ativas
Pacatuba	10.332	9.248	2.325.946	1.163	1.109
Itaitinga	17.706	15.587	2.435.734	327	317

Fonte: Ipece (2016).

Com relação ao tratamento de água realizado diretamente nos domicílios, informações obtidas através de visitas domiciliares de Agentes Comunitários de Saúde, mostram que mais de 50% das famílias utilizam água filtrada (BRASIL, 2015). Em seguida vem o uso da água clorada (Figura 14).

Figura 14 - Tratamento de água nos domicílios dos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião



Fonte: Brasil (2015).

Quanto à destinação das águas servidas, os dados disponíveis mostram que no município de Itaitinga o cenário é preocupante, pois a taxa de cobertura é significativamente baixa, haja vista que apenas 2,40% da população possui acesso ao sistema de esgotamento sanitário.

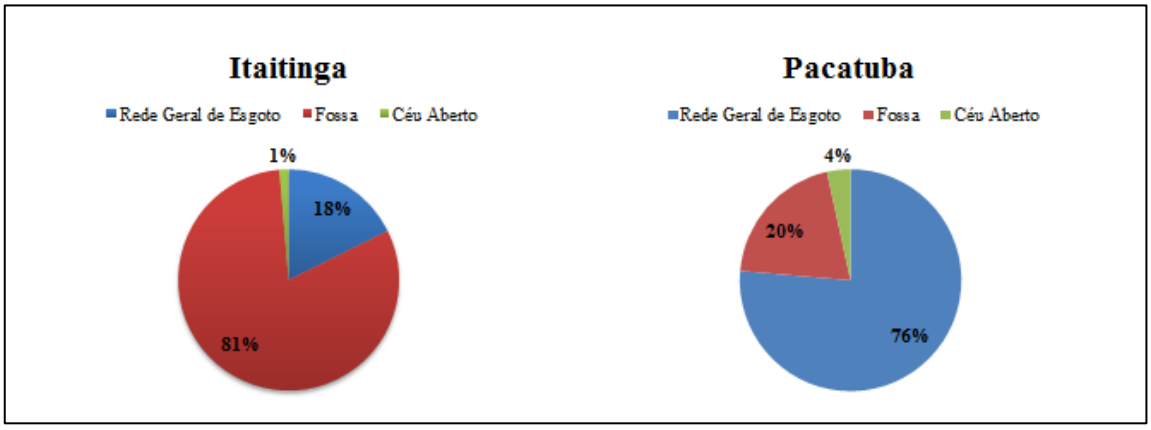
O sistema de esgotamento sanitário da sede de Pacatuba, operado pela Cagece, possuía uma taxa de cobertura de 63,29% em 2015 (IPECE, 2016). Segundo ARCE (2014c), esse sistema contém duas estações elevatórias: EEE-01 (Alto São João), que recalca o esgoto de parte da rede coletora até o primeiro poço de visita do interceptor que alimenta a ETE e a EEE-02 (Beira Sol), que recalca o esgoto diretamente para a ETE. Essas duas estações elevatórias possuem gradeamento e dois conjuntos motobombas, sendo um reserva. Em março de 2014, o sistema possuía um total de 1.089 ligações ativas e 13.127m de rede coletora (ARCE, 2014c).

A ETE está localizada na rodovia CE-350, sendo constituída por tratamento preliminar (gradeamento), calha *Parshall*, duas lagoas facultativas e três lagoas de maturação (tecnologia LES) (CAGECE, 2017a). O lançamento do efluente tratado se dá no Riacho Cassaco (ARCE, 2014c).

De acordo com dados de Brasil (2015), em Pacatuba 76% das famílias utilizam a rede geral de esgoto, enquanto 20% utilizam fossa. Em Itaitinga a relação é inversa, pois 81% das famílias utilizam fossa, enquanto 18% possuem acesso ao sistema de coleta de esgoto (Figura 15).

A ineficiência ou ausência de um sistema de coleta de esgoto traz como consequência a poluição ambiental e está diretamente relacionada às doenças de veiculação hídrica que acometem a população.

Figura 15 - Destinação de águas servidas nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião



Fonte: Brasil (2015).

Com relação ao tipo de moradia, mais de 95% das famílias desses dois municípios residem em casa de tijolos ou adobe. No município de Pacatuba 4% das famílias ainda residem em casas de taipa revestida. Mais 97% das moradias possuem acesso à energia elétrica (Tabela 8).

Tabela 8 - Tipo de moradia e acesso à energia elétrica nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião

Tipo de Casa	Itaitinga		Pacatuba	
	Número de Famílias	%	Número de Famílias	%
Tijolos/Adobe	10.668	95,83%	17.080	95,59%
Taipa Revestida	233	2,09%	749	4,19%
Taipa Não Revestida	221	1,99%	24	0,13%
Madeira	4	0,04%	-	0,00%
Material Aproveitado	3	0,03%	7	0,04%
Outros	3	0,03%	8	0,04%
Energia Elétrica	11.040	99,17%	17.420	97,49%
Total de Famílias	11.132		17.868	

Fonte: adaptado de Brasil (2015).

3.4 Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a fonte produtora. Adotando-se a nomenclatura do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) tem-se:

- RDO: Resíduos Domiciliares;
- RPU: Resíduos Públicos;
- RCC: Resíduos de Construção Civil;
- RSS: Resíduos Sólidos de Saúde.

A Tabela 9 apresenta os principais indicadores municipais sobre a coleta e produção de resíduos, cujos dados foram extraídos do SNIS.

Tabela 9 - Indicadores municipais de coleta e produção de resíduos *per capita* (2015) nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião

Município	Taxa de Cobertura de Coleta de RDO (%)	Massa de RDO e RPU Coletados *per capita* (Kg/hab.dia)	Taxa de RCC Coletados Pela Prefeitura em Relação ao Total Coletado (%)	Taxa de RSS Coletados em Relação ao Total Coletado (%)
Pacatuba (1)	84,73	1,35	30,30	0,05
Itaitinga (2)	92,20	0,48	-	0,11

Fonte: SNSA (2015).
Nota: (1): Dados de 2014; (2): Dados de 2011.

Pode-se observar que a taxa de cobertura de coleta de RDO é maior que 80% nos dois municípios. Nota-se que a massa de RDO e RPU *per capita* coletada em Pacatuba é relativamente maior que em Itaitinga; cada habitante em Pacatuba produz por dia um valor superior ao dobro do

que é produzido em Itaitinga. O município de Pacatuba, conforme SNSA (2017) possui uma taxa de cobertura de coleta domiciliar de 100% em relação à população urbana. O destino desses resíduos é o Aterro Sanitário de Pacatuba, localizado a apenas 2km do açude Gavião, no entanto, fora da sua bacia hidrográfica.

A universalidade da coleta domiciliar aliada a uma razoável taxa de cobertura de coleta e tratamento do esgoto sanitário fazem com que o açude Gavião apresente menor vulnerabilidade quanto à qualidade de suas águas dentre os cinco reservatórios das bacias metropolitanas elaborados no âmbito do PSH (Aracoiaba, Catucinzenta, Gavião, Malcozinhado e Maranguapinho).

3.5 Economia

A Tabela 10 apresenta o PIB a Preços de Mercado, o PIB *per capita* e a contribuição de cada setor na formação do PIB dos municípios em análise.

Tabela 10 - Produto interno bruto a preços de mercado nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião

Municípios	Produto Interno Bruto (2013)				
	PIB a Preços de Mercado (R$ mil)	PIB *per capita* (R$/hab.)	PIB Agropecuária (%)	PIB Indústria (%)	PIB Serviços (%)
Pacatuba	801.448	10.312	1,71	40,41	57,89
Itaitinga	337.222	8.944	1,26	26,28	72,47

Fonte: Ipece (2016).

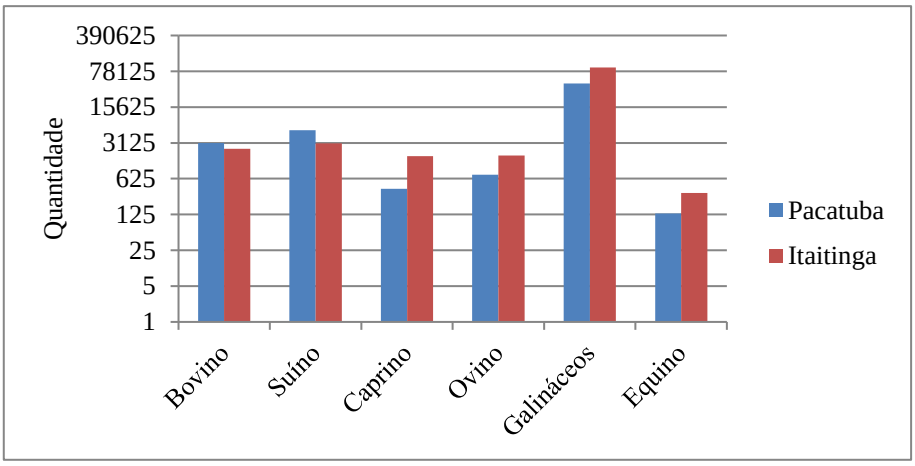
Observa-se que em ambos os municípios o setor de serviços é responsável por mais de 50% do PIB total, seguido do setor industrial, que em Pacatuba é responsável por 40,41% do PIB municipal. Além disso, o setor agropecuário apresenta uma pequena participação no PIB total dos dois municípios.

3.6 Pecuária

De acordo com dados do IBGE (2015c), o efetivo de rebanhos varia de acordo com cada município. Nos municípios de Pacatuba e Itaitinga os galináceos, seguidos dos suínos, estão em

maior número. Na Figura 16 visualiza-se a quantidade de cabeças por rebanho nos municípios analisados.

Figura 16 - Pecuária nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião

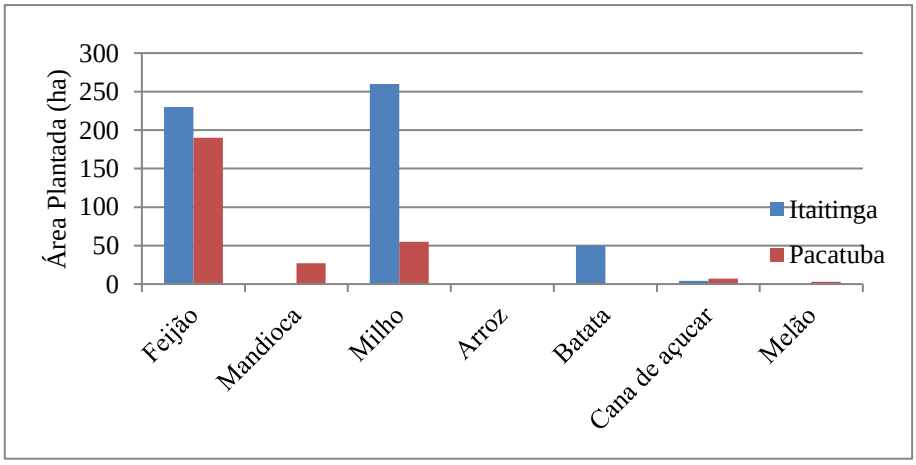


Fonte: IBGE (2015c).

3.7 Agricultura

De acordo com dados do IBGE (2015d), quanto aos tipos de cultivo em lavouras temporárias destacam-se: feijão, milho, cana-de-açúcar, mandioca e batata, sendo o feijão e o milho os alimentos mais produzidos em Pacatuba e Itaitinga. A Figura 17 ilustra a área plantada das lavouras temporárias nesses dois municípios no ano de 2015.

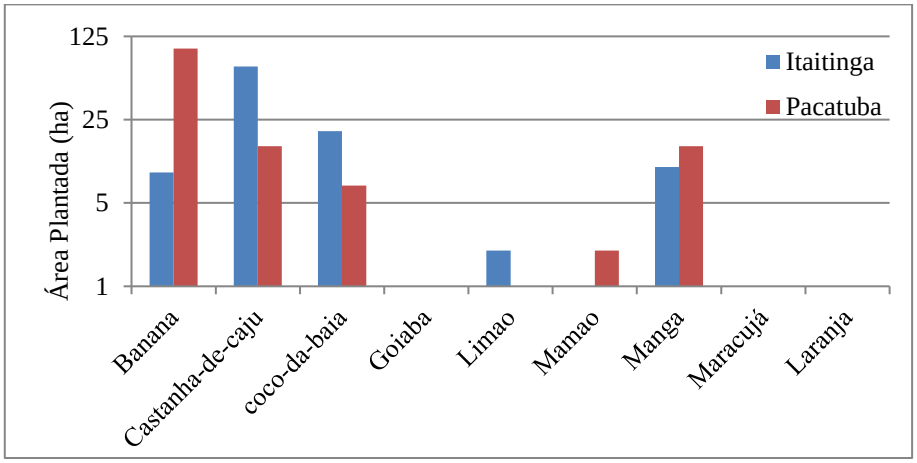
Figura 17 - Área plantada com lavoura temporária nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião



Fonte: IBGE (2015d).

No que se refere às lavouras permanentes destacam-se os cultivos de banana, castanha-de-caju, coco-da-baía e manga. A Figura 18 indica a área plantada com lavouras permanentes nos municípios de Pacatuba e Itaitinga, em 2015.

Figura 18 - Área plantada com lavouras permanentes nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião



Fonte: IBGE (2015d).

3.8 Doenças de veiculação hídrica

O levantamento de informações sobre doenças de veiculação hídrica foi realizado com base em dados referentes aos números de casos confirmados para as doenças do tipo diarreicas agudas (DDA), hepatite A, esquistossomose e leptospirose, nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião. As informações foram levantadas a partir de dados do relatório de notificação de doenças compulsórias, referente ao acumulado no ano de 2016, e dos boletins de saúde disponibilizados pela Secretaria de Saúde do Estado do Ceará em sua página eletrônica.

As doenças do tipo diarreicas agudas (DDA) são transmitidas principalmente através da água ou alimentos contaminados (BRASIL, 2014). A incidência dessa doença associa-se, de forma direta ou indireta, a um complexo de fatores de ordem socioeconômica, cultural, nutricional e ambiental, no qual a qualidade e quantidade da água pode ser um fator determinante (QUEIROZ, HELLER e SILVA, 2009). Casos de DDAs são confirmados recorrentemente nos municípios pertencentes à bacia de contribuição do açude Gavião. O município de Pacatuba, que possui 66,28 da sua área inclusa nessa bacia de contribuição, e onde está localizado o reservatório, notificou 1.015 casos de DDA até a última semana do ano de 2016. O município de Itaitinga, que possui

5,44 da sua área inclusa na bacia de contribuição, notificou 876 casos confirmados no mesmo ano (SESA, 2016a).

A leptospirose, doença infecciosa causada por espiroquetas do gênero *Leptospira*, é uma doença endêmica no Brasil, em que os surtos estão associados à questões ambientais, como enchentes e inundações, e cuja transmissão ocorre por contato com água contaminada (GONÇALVES *et al*., 2016). No ano de 2016 foi confirmado um caso da doença no município de Itaitinga, sem registro de óbito (SESA, 2016a).

Com relação à esquistossomose, doença parasitária causada pelo *Schistosoma mansoni* , a forma de infecção ocorre quando formas larvares do parasita liberadas por caramujos de água doce penetram na pele através do contato com água durante atividades domésticas, recreativas e/ou agropecuárias em cursos de água contaminados (ALENCAR *et al*., 2016). Entre o ano de 2010 e setembro de 2016, não houve registros de esquistossomose no município de Pacatuba e não existem informações para o município de Itaitinga (SESA, 2016b).

De acordo com os Boletins Epidemiológicos da Secretaria de Saúde do Estado do Ceará, não foram detectados casos de Hepatite A nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião nos anos de 2016 e 2017.

3.9 Desenvolvimento Humano

Analisando a renda populacional, de acordo com o IBGE (2010), a população com renda mensal de até R$ 70,00, considerada como população extremamente pobre, representa 8,05% e 12,63% nos municípios de Pacatuba e Itaitinga, respectivamente (Tabela 11). Vale ressaltar que a população rural preserva as maiores fatias da população extremamente pobre, chegando a representar 32,94% da população total rural do município de Itaitinga.

Tabela 11 - População com renda mensal de até R$ 70,00 nos municípios da bacia de contribuição do açude Gavião

Municípios	Total (%)	Urbana (%)	Rural (%)
Pacatuba	8,05	7,27	12,75
Itaitinga	12,63	12,49	32,94
Estado do Ceará	17,78	11,44	36,88

Fonte: Ipece (2016).

A Tabela 12 apresenta o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), determinado conforme a metodologia apresentada no Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea e Fundação João Pinheiro - FJP, 2013) e o Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (Ipece) para os municípios da bacia de contribuição do reservatório Gavião.

Tabela 12 - IDHM e IDM dos municípios pertencentes à bacia de contribuição do açude Gavião

Municípios	Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) - 2010		Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) - 2012	
	Valor	Posição no Ranking Estadual	Valor	Posição no Ranking Estadual
Pacatuba	0,675	11	44,67	15
Itaitinga	0,626	58	40,33	26

Fonte: PNUD, Ipea e FJP (2013); Ipece (2016).

Conforme PNUD. (2013) o IDHM pode ser classificado em 5 faixas:

- Muito Baixo: 0 a 0,499;
- Baixo: 0,500 a 0,599;
- Médio: 0,600 a 0,699;
- Alto: 0,700 a 0,799;
- Muito alto: 0,800 a 1,000.

Assim, para os municípios da bacia de contribuição do açude Gavião, observa-se que, conforme dados de 2010, ambos os municípios são classificados com o IDHM médio.

De acordo com Ipece (2012), o IDM pode ser dividido em 4 classes, em que os municípios pertencentes à Classe 1 apresentam os maiores índices de desenvolvimento. À medida que o número da classe aumenta, o índice de desenvolvimento diminui. Dessa forma, os municípios pertencentes à Classe 4 apresentam os piores índices de desenvolvimento. A seguir estão apresentadas as 4 classes:

- Classe 1: 67,13 a 75,07;
- Classe 2: 46,29 a 57,06;
- Classe 3: 26,93 a 42,99;
- Classe 4: 7,44 a 26,60.

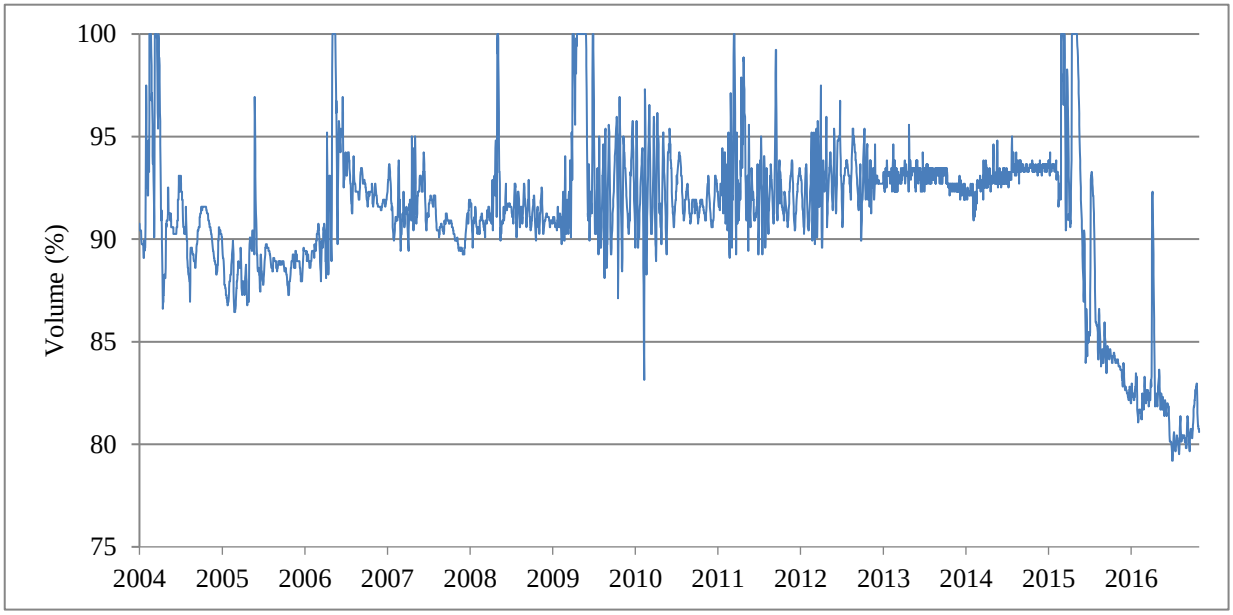
4. COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

4. COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

O açude Gavião teve sua construção concluída no ano de 1973 (COGERH, 2016b). A variação de seu volume de armazenamento foi avaliada no período entre 2004 e 2016, a partir dos dados de nível e volume disponibilizados no site Portal Hidrológico do Ceará (COGERH, 2016c).

De acordo com dados históricos apresentados na Figura 19, que ilustra o volume de armazenamento do reservatório em função do tempo, observa-se que a cota do vertedouro foi ultrapassada ou igualada seis vezes nos anos de 2004, 2006, 2008, 2009, 2011 e 2015. No período analisado, as sangrias iniciaram-se na maioria das vezes entre os meses de março e maio, tendo no ano de 2009 permanecido nesse estado de vertimento por até 41 dias.

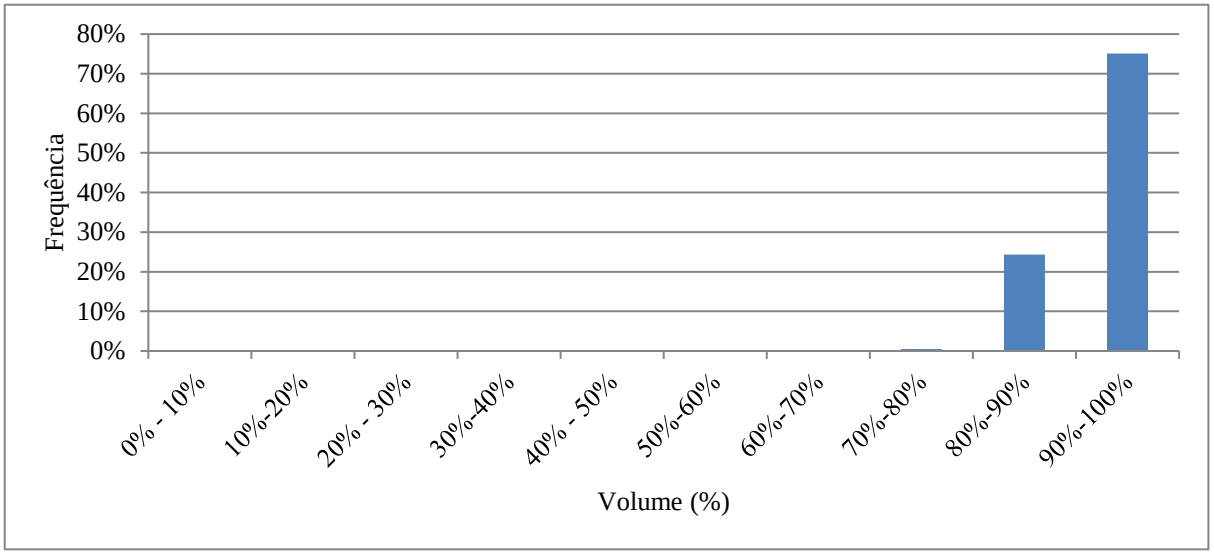
Figura 19 - Evolução do volume armazenado no período de 2004 a 2016 – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh (2016c).

O Açude Gavião esteve na maior parte do tempo analisado com volume superior a 85% da sua capacidade máxima, como mostrado no histograma da Figura 20, não chegando a atingir em nenhum período desse tempo histórico, volume inferior a 75% da sua capacidade máxima. No entanto, a partir do ano de 2015 ocorreu uma diminuição no volume armazenado, atingindo no mês de junho de 2016 o menor volume já registrado, que foi 79,2% da sua capacidade máxima.

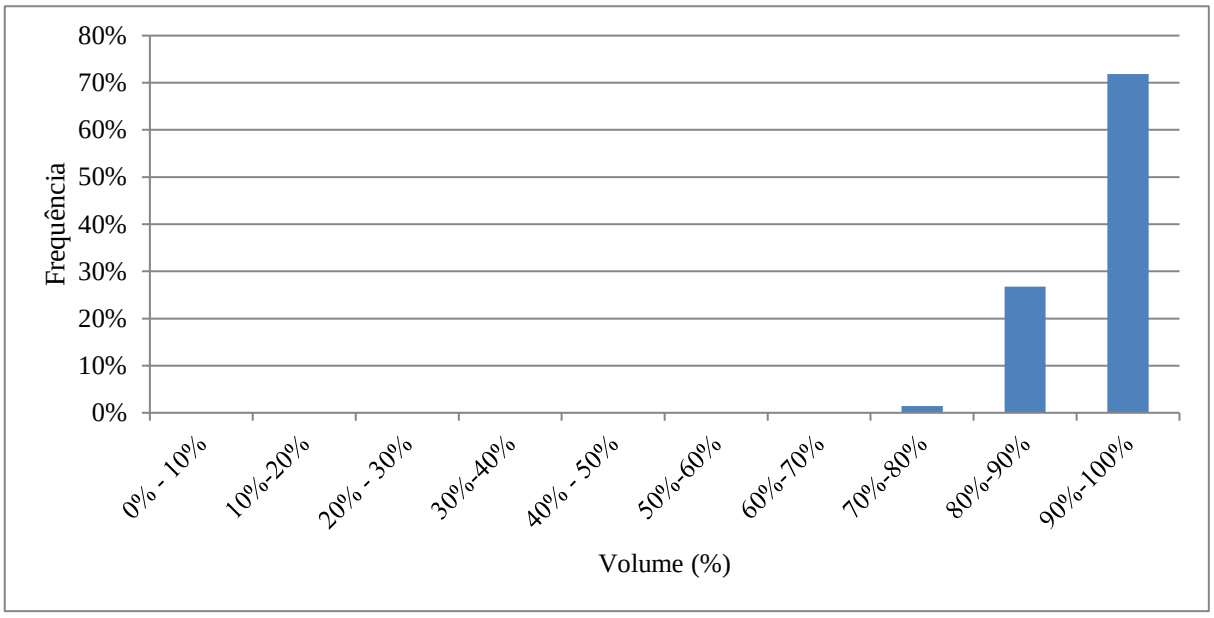
Figura 20 - Histograma do volume armazenado no período de tempo de 2004 a 2016 – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh (2016c).

Apesar da seca que o estado do Ceará vem enfrentando desde 2012, o açude Gavião manteve seu volume armazenado superior a 80% da sua capacidade máxima na maior parte do tempo (Figura 21), atingindo sua capacidade máxima pela última vez no ano de 2015.

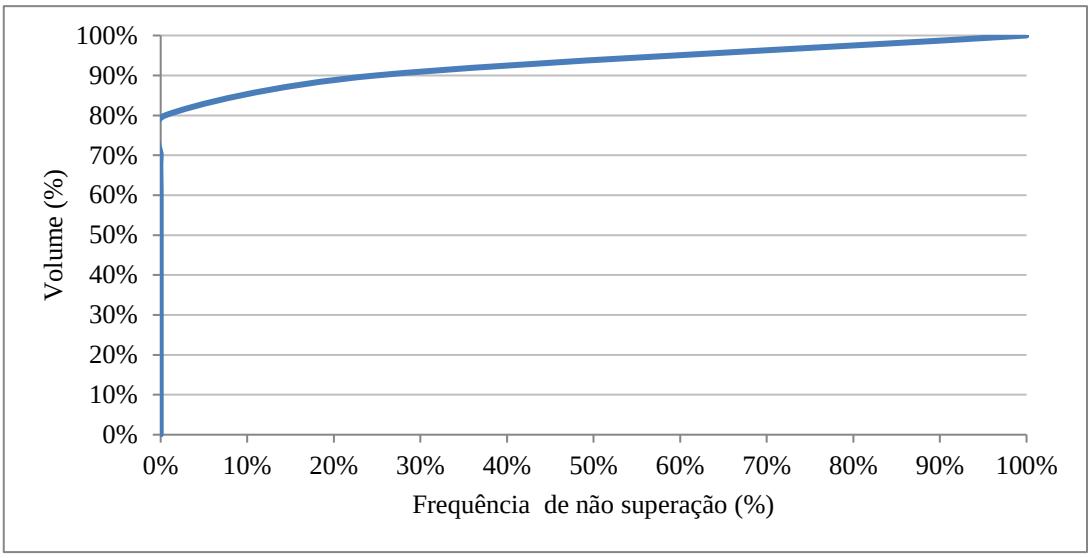
Figura 21 - Histograma do volume armazenado entre os anos de 2012 a 2016 – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh (2016c).

Outrossim, entre os anos de 2004 a 2016 o açude Gavião apresentou em 75% desse período o volume armazenado igual ou superior a 90% de sua capacidade máxima (Figura 22).

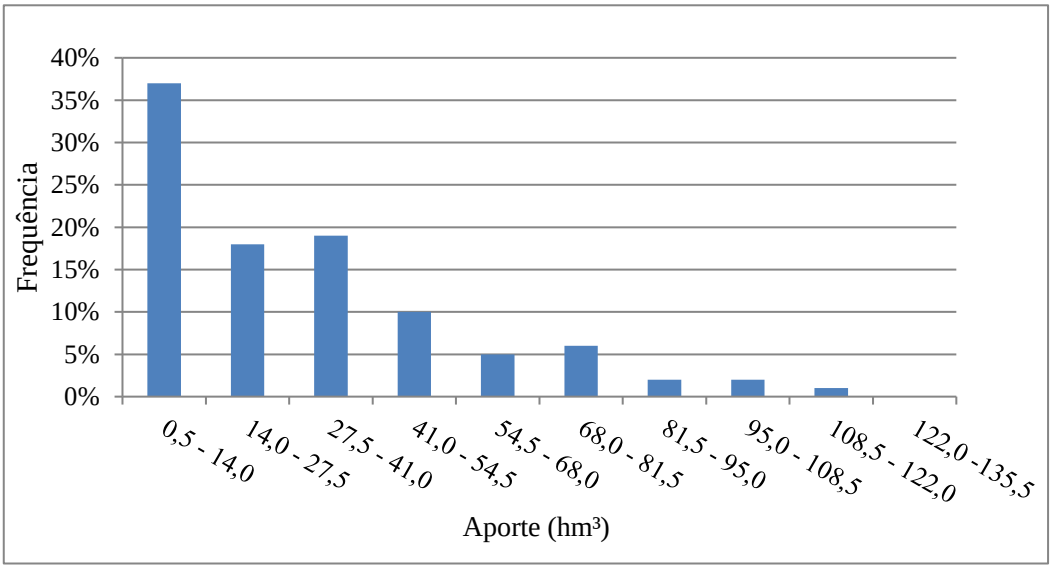
Figura 22 - Frequência de não superação do volume armazenado no período de 2004 a 2016 – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh (2016c).

Para a análise do aporte de água no açude Gavião foram utilizadas séries temporais de vazões médias anuais, obtidas pelo modelo de simulação hidrológica SMAP, disponibilizadas pela Cogerh. A Figura 23 apresenta o histograma de frequência do aporte, em hm³, para o reservatório Gavião.

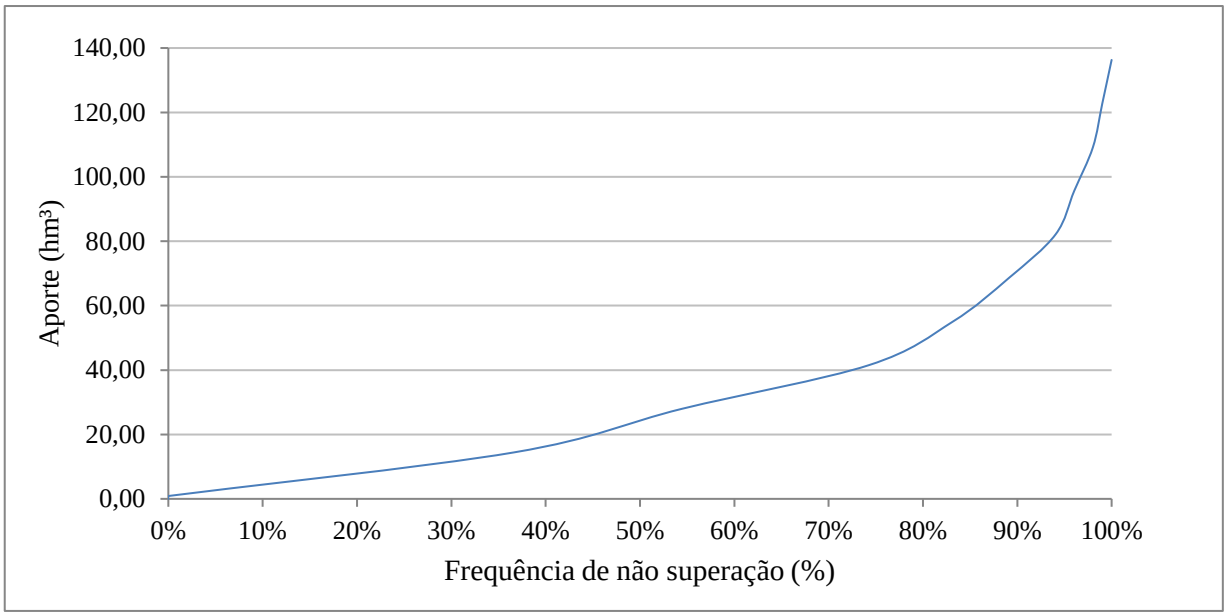
Figura 23 - Histograma do aporte (hm³) – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh (2016c).

A análise do histograma de aporte do açude Gavião mostra que, como era de se esperar, a frequência de aporte anual do reservatório apresenta uma forte assimetria para a direita, característica de histogramas de vazões médias anuais que tendem a valores positivos para essa variável estatística. Em termos de média anual, o aporte de água ao reservatório é da ordem de 30,76hm³, valor inferior à sua capacidade de armazenamento (33,0 hm³). A frequência de não superação da sua capacidade de armazenamento máxima é de 63,37% (Figura 24).

Figura 24 - Frequência de não superação do aporte de água no período de 2004 a 2016 – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh (2016c).

5. QUALIDADE DA ÁGUA

5. QUALIDADE DA ÁGUA

A avaliação da qualidade da água foi realizada a partir da análise dos dados gerados nas coletas de água e de sedimento, realizadas por técnicos da Nippon em agosto/2016, e do banco de dados de qualidade de água da Cogerh, de 2004 a 2016.

5.1 Análises das coletas realizadas

No dia 02/08/2016 técnicos da Cogerh e da Nippon realizaram coletas de água e de sedimento no açude Gavião, no ponto GAV-05 (UTM 549.144 E/ 9.568.080 N), conforme localização espacial apresentada na Figura 25. As análises hidrobiológica (contagem e identificação de fitoplâncton), físico-química e bacteriológica da água foram realizadas nos laboratórios da Cagece de Fortaleza/CE. As análises do sedimento e de elementos inorgânicos específicos, como metais, foram realizadas no laboratório *Mérieux NutriSciences*, em Paulista/PE. Todos os frascos utilizados nas coletas foram cedidos pelos laboratórios contratados. A conservação das amostras e o tempo decorrido entre as coletas e as análises seguiram as orientações dos laboratórios.

Figura 25 - Localização espacial do ponto de coleta no açude Gavião

Fonte: Google Earth, 2017.

As variáveis de qualidade da água obtidas em campo foram medidas com sonda multiparamétrica da YSI, modelo 6600 V2, calibrada com antecedência de até 7 dias para todas as variáveis, com exceção do oxigênio dissolvido, cuja calibração foi realizada pouco antes da coleta.

5.1.1 Água

A Resolução Conama n.º 357/ 2005 cita que classe de qualidade é o conjunto de condições e padrões de qualidade da água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuro, e que os parâmetros de qualidade de água selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento deverão ser monitorados periodicamente pelo poder público. Cita ainda, em seu artigo 42, que enquanto não forem aprovados os respectivos enquadramentos as águas doces serão consideradas classe 2 e as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.

Richter e Azevedo Neto (2002) afirmam que a avaliação da qualidade da água não pode ser realizada com base em uma única análise, pois as características das águas variam com o tempo e as análises estão sujeitas a flutuações e a erros.

Os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas podem ser visualizados na Tabela 13, onde também estão apresentados os valores indicados na resolução do Conama para classe 2. Os valores acima da referência estão destacados em negrito. Percebe-se que os valores de fósforo total, clorofila e cianobactérias estão acima da referência.

A clorofila-a está relacionada à biomassa fitoplanctônica e a concentração encontrada é 94% a mais que o limite estabelecido para classe 2. Por sua vez, esse crescimento é diretamente proporcional à quantidade de nutrientes disponíveis, o que se comprova quando observamos os resultados do fósforo total e nitrogênio total. A concentração de fósforo total foi 73,3% a mais que o valor de referência. O ortofosfato, forma assimilada pelo fitoplâncton, representou 46,2% do fósforo total, indicando que há fosfato a ser assimilado e incorporado à biomassa dos organismos.

A densidade de cianobactérias na amostra do Gavião (299.538,6 células/mL) foi praticamente 6 vezes a mais que o valor de referência para classe 2, que é de 50.000 células/mL.

Não se pode esquecer que o fósforo é uma medida do potencial (de causa) da eutrofização e a clorofila-a é considerada uma medida de resposta (efeito) do corpo hídrico ao agente causador.

O artigo 10, § 3º, da Resolução Conama n.º 357/ 2005 cita que para águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total, após oxidação, não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos. No entanto, no Ceará não há valor estabelecido pelo órgão ambiental, mas utilizando o valor citado como referência, as concentrações de nitrogênio nas águas em estudo foram elevadas (média de 1,525 mg N/L), embora esse nutriente não tenha sido considerado limitante, como já mencionado.

No nitrogênio total (1,537 mg N/L) quantificado na amostra da superfície, aproximadamente 75% é de nitrogênio orgânico, pois do nitrogênio inorgânico pesquisado foi constatado 0,270 mg $N\text{-}NH_3$/L de nitrogênio amoniacal e as outras duas formas de nitrogênio (nitrito e nitrato) não foram identificadas.

A água do Gavião apresentou salinidade de 0,25, classificada como doce, segundo a Resolução Conama n.º 357, de 2005.

A bactéria *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal de humanos e de outros animais homeotérmicos (mamíferos e pássaros), não foi identificada na amostra de água coletada em agosto/2016. No entanto, nas amostras avaliadas de 2004 a 2016, conforme banco de dados da Cogerh, a bactéria mencionada foi identificada em 38% das 50 amostras avaliadas. Destaca-se que no item 2.4 - Principais Impactos, deste IVA, foi constatado que há lançamento de efluentes domésticos no entorno do açude que podem atingir sua bacia hidráulica.

Salienta-se que no dia da coleta o açude estava com 80,44% (26,78 hm^3) de sua capacidade total, que é de 33,30 hm^3. No período avaliado (2004 a 2016), o açude só não sangrou em 2016. (CEARÁ, 2017).

Tabela 13 - Resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas do açude Gavião

Variáveis	Unidade	Classe 2	0,30 m	6,50 m
Cloreto	mg Cl^-/L	250	93,68	
Cor verdadeira	Mg Pt/L	75	10,00	
Ferro	mg Fe/L		0,24	
pH	-	6 - 9	8,79	
Temperatura	ºC		27,56	
Oxigênio dissolvido	mg O_2/L	≥ 5	7,47	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	306,50	
Sólidos totais	mg/L		324,00	
Sulfato	mg SO_4^{2-}/L	250	< 7,68	
Turbidez	UNT	100	14,88	
Alcalinidade Bicarbonato	mg $CaCO_3$/L		96,76	
Alcalinidade Carbonato	mg $CaCO_3$/L		14,50	
Alcalinidade Hidróxido	mg $CaCO_3$/L		< 8,95	
Cálcio	mg Ca/L		5,431	
Condutividade elétrica	µS/cm		515	
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	< 0,20	
Magnésio	mg Mg/L		19,136	
Sódio	mg Na/L		61,00	
Potássio	mg K/L		12,00	
Nitrogênio total	mg N/L		1,537	1,512
Fósforo total	mg P/L	0,03	**0,052**	**0,056**
Ortofosfato	mg P-PO_4^{3-}/L		0,024	
Clorofila-a	µg/L	30	**58,06**	
Feofitina	µg/L		2,63	
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH_3/L	**	0,270	0,260
Nitrito	mg N-NO_2^-/L	1	< 0,010	< 0,010
Nitrato	mg N-NO_3^-/L	10	< 0,100	< 0,100
DBO	mg O_2/L	5	4,78	
DQO	mg/L		25,45	28,45
Escherichia coli	NMP/100 mL		< 1	
Cianobactérias	Células/mL	50.000	**299.538,6**	
Demais grupos de fitoplâncton	Células/mL		536,4	
Salinidade	-		0,25	

Fonte: laudos Cagece 0564/2016, 0565/2016 e 20564/2016.
Nota:**Nitrogênio amoniacal = 3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5.

Quanto às análises hidrobiológicas, os resultados apresentados nas Tabelas 14 e 15 indicam que 92,6% do fitoplâncton (indivíduos/mL) encontrados na amostra são cianobactérias. Das 299.538,6 células/mL de cianobactérias, 89,5% são da espécie *Planktothrix agardhii*, que é potencialmente produtora de diversos tipos de toxinas, como microcistina, saxitoxina e anatoxina (DAUPHARD *et al*., 2014; SARMA *et al*., 2013 por CORDEIRO, 2015), e também neosaxitoxina, segundo Sousa (2016). O número de células/mL de cianobactérias supera em mais de 490% o limite estabelecido para corpos hídricos de classe 2.

Ferreira e Pádua (2004), a partir do monitoramento realizado de julho/2002 a julho/2003, observaram que durante todo o estudo a densidade do fitoplâncton variou de $1{,}4x10^5$ a $5{,}3x10^5$ células/mL, sendo que a espécie dominante foi a cianobactéria *Planktothrix agardhii*.

Ressalta-se que a Portaria n.º 2914/2011 do Ministério da Saúde recomenda que os mananciais utilizados para abastecimento humano com valores acima de 10.000 células/mL de cianobactérias, devem ser analisados semanalmente, no ponto de captação. Acima de 20.000 células/mL deve-se realizar análise de cianotoxinas com frequência semanal

Tabela 14 - Quantitativo e qualitativo de cianobactérias no açude Gavião

Organismos Identificados	Indivíduos/mL	Células/mL
Aphanizomenon sp.	581,8	18.152,1
Aphanocapsa	89,4	3.352,5
Chroococcales	178,8	4.470,0
Cylindrospermopsis raciborskii	178,8	1.788,0
Dolichospermum sp.	44,7	1.609,2
Geitlerinema sp.	44,7	1.788,0
Planktothrix agardhii	4.470,0	268.200,0
Pseudanabaena sp.	44,7	178,8
Total	**5.632,9**	**299.538,6**

Fonte: laudo Cagece 20564/2016.

Tabela 15 - Quantitativo e qualitativo dos demais grupos de fitoplâncton no açude Gavião

Organismos Identificados	Indivíduos/mL	Células/mL
Aulacoseira	89,4	178,8
Bacillariophyta	223,5	223,5
Closterium	44,7	44,7
Cryptomonas	89,4	89,4
Total	447,0	536,4

Fonte: laudo Cagece 20564/2016.

Dos 23 elementos químicos analisados na água, não foram identificados: arsênio, berílio, cádmio, chumbo, cianeto, cobalto, cromo, lítio, mercúrio, prata, selênio, urânio, antimônio, cobre e zinco, assim como sulfetos. Os elementos identificados foram: bário, boro, fluoreto, manganês, níquel, vanádio, alumínio e ferro, todos em concentração baixo do limite da classe 2 (Tabela 16).

Tabela 16 - Resultados de análises (em mg/L) da água do açude Gavião

Variáveis	Classe 2	Gavião
Arsênio	0,01	< 0,001
Bário	0,7	0,0855
Berílio	0,04	< 0,001
Boro	0,5	0,0733
Cádmio	0,001	< 0,001
Chumbo	0,01	< 0,001
Cianeto	-	< 0,005
Cobalto	0,05	< 0,001
Cromo	0,05	< 0,001
Fluoreto	1,4	1,010
Lítio	2,5	< 0,001
Manganês	0,1	0,0738
Mercúrio	0,0002	< 0,0001
Níquel	0,025	0,00226
Prata	0,01	< 0,001
Selênio	0,01	< 0,001
Urânio	0,02	< 0,001
Vanádio	0,1	0,00228
Alumínio	-	0,0290
Antimônio	0,005	< 0,001
Cobre	-	< 0,001
Ferro	-	0,882
Zinco	0,18	< 0,001
Sulfetos (com o H_2S não dissociado)	0,002	< 0,002

Fonte: laudo da *Mérieux NutriSciences* 212062/2016-0.

5.1.1.1 Estado de trofia

A eutrofização é ocasionada pelo aumento de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, nos corpos d'água, resultando no aumento de suas produtividades. Assim, os ambientes aquáticos terão crescimento ou proliferação de algas e macrófitas aquáticas e, consequentemente, ocorrerá redução de oxigênio dissolvido na água.

O estado de trofia foi gerado a partir da metodologia citada em Paulino *et al* (2013), que adaptou uma metodologia, tomando como base a adotada pela Cetesb, que utiliza nitrogênio

total, fósforo total, clorofila, cianobactérias e transparência. A partir das concentrações de fósforo e clorofila é calculado o estado trófico individual e a média, conforme equações 1, 2 e 3.

$$IET\ (PT) = (10 \times (6-(LN(80{,}32/(PT \times 1000)))/LN(2))) \quad \text{(equação 1)}$$

$$IET\ (CL) = (10 \times (6-((2{,}04-0{,}695 \times LN(CL))/LN(2)))) \quad \text{(equação 2)}$$

$$IET\ (médio) = (IET\ (PT) + IET\ (CL))/2 \quad \text{(equação 3)}$$

Onde:

IET = índice de estado trófico;

PT = concentração de fósforo total, em µg/L;

CL = concentração de clorofila, em µg/;

Ln = logaritmo natural.

A partir dos valores individuais do IET do fósforo, da clorofila e da média de ambos, a classe trófica é obtida, de acordo com as indicações apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Classe trófica a partir do IET do fósforo e clorofila

Critério	Classe trófica
IET ≤ 44	Oligotrófico
44 < IET ≤ 54	Mesotrófico
54 < IET ≤ 74	Eutrófico
IET > 74	Hipereutrófico

Fonte: adaptado de Paulino *et al*, 2013.

Quanto ao nutriente limitante, a Cogerh adota a relação N:P (em equivalente grama) em que valores menores que 10:1 indicam que o limitante é o nitrogênio; maiores que 22:1 é o fósforo e o intervalo entre eles pode apontar que os dois nutrientes são limitantes ou que outros fatores limitam a produção primária. Essa informação do nutriente limitante é utilizada para embasar a melhor classificação do estado de trofia.

Com base no banco de dados da Cogerh foi possível classificar a contagem de cianobactérias em quatro intervalos, conforme indicado na Tabela 18.

Tabela 18 - Classe trófica a partir da contagem de cianobactérias

Cianobactérias (células/ml)	Classe trófica
Até 20.000	Oligotrófico
20.001 a 80.000	Mesotrófico
80.001 a 400.000	Eutrófico
>400.000	Hipereutrófico

Fonte: adaptado de Paulino *et al*, 2013.

A transparência da água é empregada para ajudar na classificação, embora na maioria das vezes a média do IET e a classe de trofia das cianobactérias sejam suficientes para a classificação final. A Tabela 19 apresenta as faixas para cada classe de trofia em função da transparência.

Tabela 19 - Classe trófica a partir da transparência

Transparência (m)	Classe trófica
>1,7	Oligotrófico
1,1 a 1,7	Mesotrófico
0,8 a 1,0	Eutrófico
<0,8	Hipereutrófico

Fonte: adaptado de Paulino *et al*, 2013.

A Tabela 20 apresenta os valores das variáveis utilizadas nos cálculos dos índices, as classificações tróficas e a relação N:P. A classificação final foi eutrófico que, segundo Lamparelli (2004) e Cetesb (2007) *apud* ANA (2017), indica que as águas apresentam alta produtividade, sendo, em geral, afetadas por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos usos múltiplos.

Estudos no açude Gavião, realizados por Ferreira *et al* (2003) mostraram que, de acordo com o sistema de classificação do estado trófico da OECD (1982), suas águas podem ser definidas como mesotróficas a eutróficas. Segundo a classificação que consta em Chorus & Bartram (1999) *apud* Ferreira *et al* (2003), o açude Gavião encontra-se no nível de alerta 2, que é caracterizado pela confirmação de uma floração de cianobactérias, que causa problemas na qualidade da água.

Tabela 20 - Classificação do estado de trofia do açude Gavião

Variável	Valor
Fósforo total (mg/L)	0,052
Nitrogênio total (mg N/L)	1,537
Clorofila-a (µg/L)	58,10
Cianobactérias (células/mL)	299.538,6
Transparência (m)	0,70
N:P	65,36
Nutriente limitante	Fósforo
IET - Classe	62,51 - Eutrófico
Cianobactérias - Classe	Eutrófico
Transparência - Classe	Hipereutrófico
Classificação final	**Eutrófico**

Fonte: laudos Cagece 0564/2016 e 20564/2016.

5.1.1.2 IQAR

A avaliação da qualidade da água do açude Gavião foi realizada pelo Índice de Qualidade de Água para Reservatório (IQAR), que é um sistema para avaliação da água dos reservatórios, de acordo com seus graus de comprometimento, desenvolvido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

As variáveis utilizadas no cálculo do IQAR foram: déficit de oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio inorgânico, clorofila, transparência, demanda química de oxigênio (DQO), tempo de residência, profundidade média e contagem de cianobactérias. As amostras de água foram coletadas em duas ou três profundidades, conforme a concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água. A profundidade I, segundo metodologia do IAP, resulta da multiplicação do valor da transparência por 0,54, que é o fator correspondente a 40% da luz incidente. No entanto, a profundidade I adotada pela Cogerh é 0,3 m. A Tabela 21 mostra o procedimento para seleção da profundidade II e III. Para a zona anóxica (profundidade III), considerou-se, conforme orientações da Cogerh, valores de oxigênio dissolvido (OD) menores que 1 mg/L.

Tabela 21 - Procedimento para seleção das profundidades de coleta

Profundidade	Especificação	Detalhes
I	Zona eufótica	0,3 m
II	Zona afótica	[PM + (T x 3)]/2
III	Zona anóxica	Porção intermediária da camada anóxica (quando OD < 1 mg/L) e não coincidir com a profundidade II.

Fonte: adaptado de IAP, 2004.
Nota: PM = profundidade máxima (m), T = transparência da água, 3 = fator correspondente a aproximadamente 1% da luz incidente na superfície da água.

O IQAR do açude Gavião foi 3,96, resultando na Classe IV (Tabela 22), que indica reservatórios criticamente degradados a poluídos, com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna d'água, com aporte de consideráveis cargas de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas ou cianobactérias, ocorrência de reciclagem de nutrientes e baixa transparência das águas, associada principalmente a alta turbidez biogênica. A partir dessa classe é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado déficit de oxigênio dissolvido (IAP, 2004).

Tabela 22 - IQAR do açude Gavião

Profundidade	Prof. I	Prof. II
Profundidade de Coleta (m)	0,30	6,50
Fósforo Total (mg/L)	0,052	0,0560
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH_3/L)	0,270	0,26
Nitrito (mg N-NO_2^-/L)	<0,010	<0,010
Nitrato (mg N-NO_3^-/L)	<0,100	<0,100
DQO (mg/L)	25,45	28,45
Clorofila-a (µg/L)	58,06	
Cianobactérias (células/mL)	299.538,6	
Média Déficit OD (%)	5,76	
Transparência (m)	0,70	
Profundidade Média (m)	5,30	
Tempo de Residência (dias)	20,0	
IQAR - CLASSE	**3,96**	**- CLASSE IV**

Fonte: laudos Cagece 0564/2016, 0565/2016 e 20564/2016.
Nota: os LQs do nitrito e nitrato foram adotados para efeito de cálculo do IQAR.

Salienta-se que os dados de qualidade de água se referem à água bruta, portanto, essa água poderá ser utilizada para abastecimento humano desde que tratada adequadamente, seguindo os processos unitários de tratamento.

5.1.1.3 Qualidade de água para irrigação

A qualidade da água é um dos fatores mais importantes para a irrigação, principalmente em longo prazo, para prevenir problemas no solo ou nas culturas.

A classificação proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América é baseada na condutividade elétrica, como indicadora do perigo de salinização do solo, e na Relação de Adsorção de Sódio – RAS, como indicadora do perigo de alcalinização ou sodificação do solo (BERNARDO *et al.*, 2013). Dessa forma, a Tabela 23 apresenta a classificação quanto à salinidade e sodificação das águas do açude Gavião. Percebe-se que a amostra de água apresentou salinidade média (C2 – águas que podem ser utilizadas sempre que houver grau moderado de lixiviação). Quanto ao perigo de sodificação, a água foi classificada com baixa concentração de sódio (S1), podendo ser usada para irrigação em quase todos os tipos de solo, com pequena possibilidade de alcançar níveis indesejáveis de sódio trocável.

Tabela 23 - Classificação das águas do açude Gavião quanto a salinidade e sodificação

Variável	Valor
Condutividade elétrica (µS/cm)	515
Sódio (mg/L)	61,00
Cálcio (mg/L)	5,43
Magnésio (mg/L)	19,14
RAS ((meq/L)$^{-1/2}$)	2,75
Classificação	C2S1
Salinidade	Nenhum

Fonte: laudos Cagece 0564/2016.

5.1.2 Sedimento

Os resultados das análises do sedimento podem ser visualizados na Tabela 24, junto aos valores recomendados pela Resolução Conama n.º 454/2012 quanto aos níveis para água doce (Nível 1 - limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota; Nível 2 - limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota). Percebe-se que a

percentagem de sólidos foi de 12,20% p/p. Dos elementos químicos analisados, não foram identificados: arsênio, berílio, cádmio, fluoreto, prata, selênio, urânio e antimônio, assim como sulfetos. Os elementos identificados foram: bário, boro, chumbo, cianeto, cobalto, cromo, lítio, manganês, mercúrio, níquel, vanádio, alumínio, cobre, ferro e zinco.

Tabela 24 - Resultados da análise do sedimento do açude Gavião

Variáveis	Unidade	Nível 1 (N1)	Nível 2 (N2)	Gavião
Arsênio	mg/kg	5,9	17,0	< 1
Bário	mg/kg	---	---	211
Berílio	mg/kg	---	---	< 1
Boro	mg/kg	---	---	199
Cádmio	mg/kg	0,6	3,5	< 0,1
Chumbo	mg/kg	35,0	91,3	13,3
Cianeto	mg/kg	---	---	0,2
Cobalto	mg/kg	---	---	16,7
Cromo	mg/kg	37,3	90,0	**40,6**
Fluoreto	mg/kg	---	---	< 4
Lítio	mg/kg	---	---	9,28
Manganês	mg/kg	---	---	2.200
Mercúrio	mg/kg	0,17	0,486	0,129
Níquel	mg/kg	18,0	35,9	**32,7**
Prata	mg/kg	---	---	< 1
Selênio	mg/kg	---	---	< 1
Urânio	mg/kg	---	---	< 1
Vanádio	mg/kg	---	---	71,2
Alumínio	mg/kg	-	-	11.800
Antimônio	mg/kg	---	---	< 1
Cobre	mg/kg	35,7	197,0	**39,4**
Ferro	mg/kg	---	---	39.000
Zinco	mg/kg	123,0	315,0	49,0
Sulfeto	mg/kg	---	---	< 1
pH (suspensão a 5%)	---	---	---	10,71
Porcentagem de Sólidos	% p/p	---	---	12,2
Fósforo	mg/kg	---	---	743

Fonte: laudo da *Mérieux NutriSciences* 208840/2016-0.

Dentre os elementos identificados, o cromo, níquel e cobre apresentaram concentrações acima do nível 1, mas abaixo do Nível 2, conforme Resolução Conama n.º 454/2012.

Para Silva *et al*. (2006), a função biológica mais importante do cromo é sua relação com o metabolismo dos açúcares e as principais fontes de contaminação são os rejeitos urbanos e

industriais. Trindade *et al*. (2012) destacam que a contaminação com excesso de cromo pode levar a diarreia, problemas no aparelho digestivo, náuseas, efeitos cutâneos, danos aos pulmões, fígado e rins, hemorragias internas e desenvolvimento de carcinomas. Maia (2003) evidencia que a produção de tinta, corantes, explosivos, cerâmica e papel são importantes fontes de cromo para o meio ambiente.

A concentração do níquel teve como resultado 32,7 mg/kg, com o limite do Nível 1 sendo 18 mg/kg. Provavelmente essa alteração se deu por alguma ação antrópica. O níquel muitas vezes é utilizado para proteção de peças metálicas, oferecendo resistência à oxidação. Segundo Junior (2008), há poucas referências bibliográficas sobre a toxidade desse elemento químico, no entanto, estudos demonstram que ele pode ser carcinogênico.

Chumbo, cianeto, cobalto, cromo, lítio, mercúrio, cobre e zinco não foram identificados na amostra de água, apenas no sedimento.

O teor de fósforo apresentou uma concentração acima do valor de alerta (2.000 mg/kg) indicado na Resolução Conama n.º 454/2012.

5.2 Dados de qualidade da água de 2004 a 2016

As análises estatísticas realizadas para as variáveis físico-químicas, bacteriológicas e hidrobiológicas do banco de dados do açude Gavião, referente ao período de 2004 a 2016, são apresentadas na Tabela 26. Os dados de qualidade aqui apresentados são oriundos das amostras coletadas a 0,3 m da superfície da água.

Os pontos onde foram realizadas as coletas, com suas respectivas coordenadas, são apresentados na Tabela 25,

Como visto para a maioria das variáveis, foram obtidos coeficientes de variação (CV) elevados, maiores que 30%, indicando uma grande dispersão ou variabilidade dos dados.

Tabela 25 - Pontos e coordenadas do açude Gavião

Ponto	Coordenadas (UTM)	
GAV-01	9.567.994	547.138
GAV-02	9.568.570	548.024
GAV-03	9.568.008	547.928
GAV-04	9.567.989	548.607
GAV-05	9.568.080	549.144
GAV-06	9.567.507	549.162
GAV-07	9.567.226	549.752
GAV-08	9.566.976	549.050
GAV-09	9.567.126	548.485
GAV-10	9.566.539	548.250
GAV-11	9.566.272	548.646
GAV-12	9.566.547	549.486
GAV-13	9.565.523	548.897
GAV-14	9.565.542	548.090
GAV-15	9.564.864	547.325
GAV-16	9.567.995	547.427
GAV-17	9.565.116	548.025
GAV-98	9.495.045	506.346

Fonte: Cogerh, 2016.

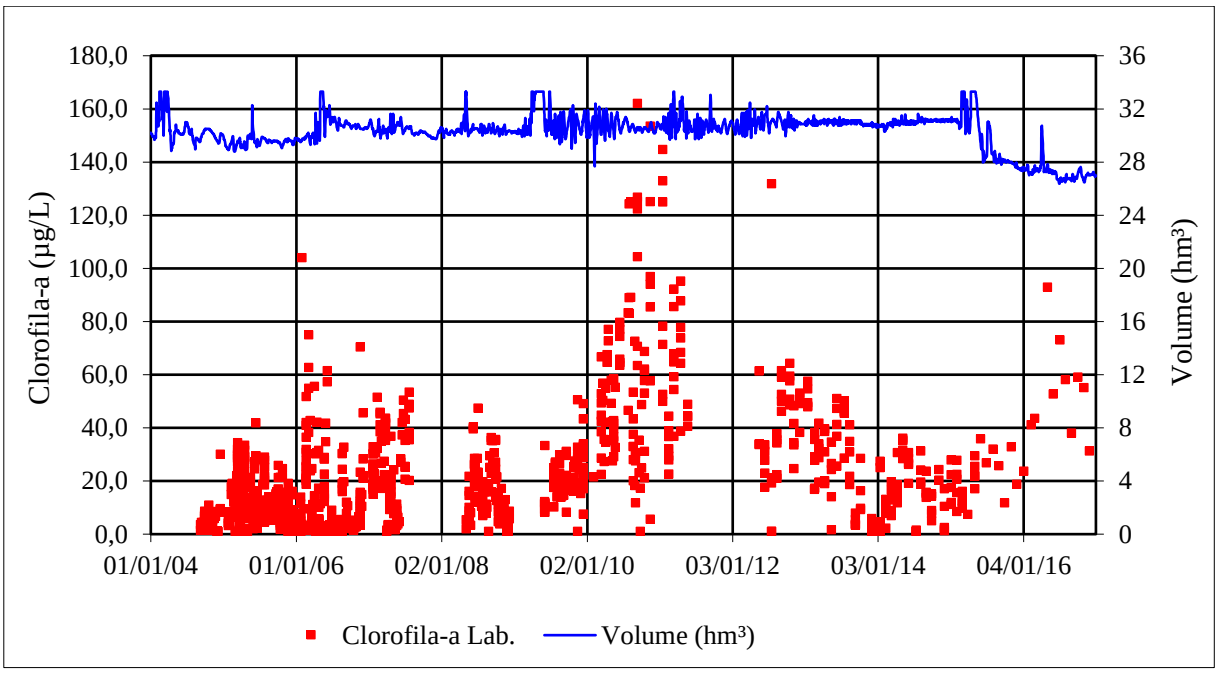
Tabela 26 - Estatística da qualidade de água da série histórica do açude Gavião – 2004 a 2016

Variável	Conama 357 Classe 2	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	CV (%)	NR
Alcalinidade total	-	mg $CaCO_3$/L	189,30	53,41	88,50	82,00	28,29	129
Condutividade elétrica		µS/cm	860	270	493	512	28,02	135
Cálcio	-	mg/L	64,20	3,70	16,82	15,00	59,57	122
Magnésio	-	mg/L	50,68	<0,24	19,24	18,47	35,40	122
Sódio	-	mg/L	113,10	3,00	64,30	65,21	28,60	122
Sulfato	250	mg/L	39,01	<7,68	12,60	10,70	52,06	123
Cloreto	250	mg/L	219,70	<7,35	113,82	110,93	34,18	136
Sólidos Totais	-	mg/L	555,33	166,00	307,81	307,50	28,10	81
Sólidos Dissolvidos Totais	500	mg/L	483,00	99,00	309,45	309,00	26,91	136
Cor verdadeira	75	mg Pt/L	35,00	5,00	17,02	15,00	44,48	134
Turbidez	100	NTU	49,17	1,29	9,89	5,58	108,80	110
Ferro	-	mg/L	0,70	<0,20	0,23	0,20	39,13	124
pH	6 - 9	-	9,20	6,86	8,03	8,07	6,10	151
Clorofila-a	30	µg/L	161,98	<1,00	20,75	15,00	102,12	1.205
Nitrogênio Total	-	mg N/L	6,290	<0,158	1,290	1,100	71,32	513
Fósforo Total	0,03	mg P/L	0,480	<0,010	0,090	0,080	77,78	517
Ortofosfato	-	mg $P\text{-}PO_4^{3-}$/L	0,095	<0,010	0,010	0,010	100,00	505
Oxigênio dissolvido	≥5	mg O_2/L	9,27	5,40	7,58	7,72	10,42	47
DBO	5	mg O_2/L	19,79	<1,28	5,35	4,00	70,28	77
Coliformes Termotolerantes	1.000	NMP/100mL	1.600,00	<1,00	52,09	3,00	461,14	57
Escherichia coli	-	NMP/100mL	6,30	<1,00	1,54	1,00	81,17	50
Demais grupos do fitoplâncton	-	Células/mL	28.511,00	0,00	2.147,19	1.200,00	138,08	707
Cianobactérias	50.000	Células/mL	4.154.612,00	280,00	280.886,99	224.096,00	101,40	707

Fonte: Cogerh, 2016.
Nota: CV = coeficiente de variação; NR = número de resultados.

Percebe-se na Figura 26 que a maioria das concentrações de clorofila-a foi menor que 60 µg/L, exceto de agosto/2010 a janeiro/2011. Nesse período, muitas concentrações foram maiores e o pico de 161 µg/L foi observado. Os menores volumes de água armazenada no açude foram em 2016, mas não se observou acréscimo nas concentrações de clorofila-a. O coeficiente de variação dos 1.205 resultados de clorofila-a no período avaliado (2004 a 2016) foi de 102,12%. Evidencia-se a existência de valores acima do limite estabelecido na Resolução Conama n.º 357/2005 - classe 2, que é de 30 µg/L.

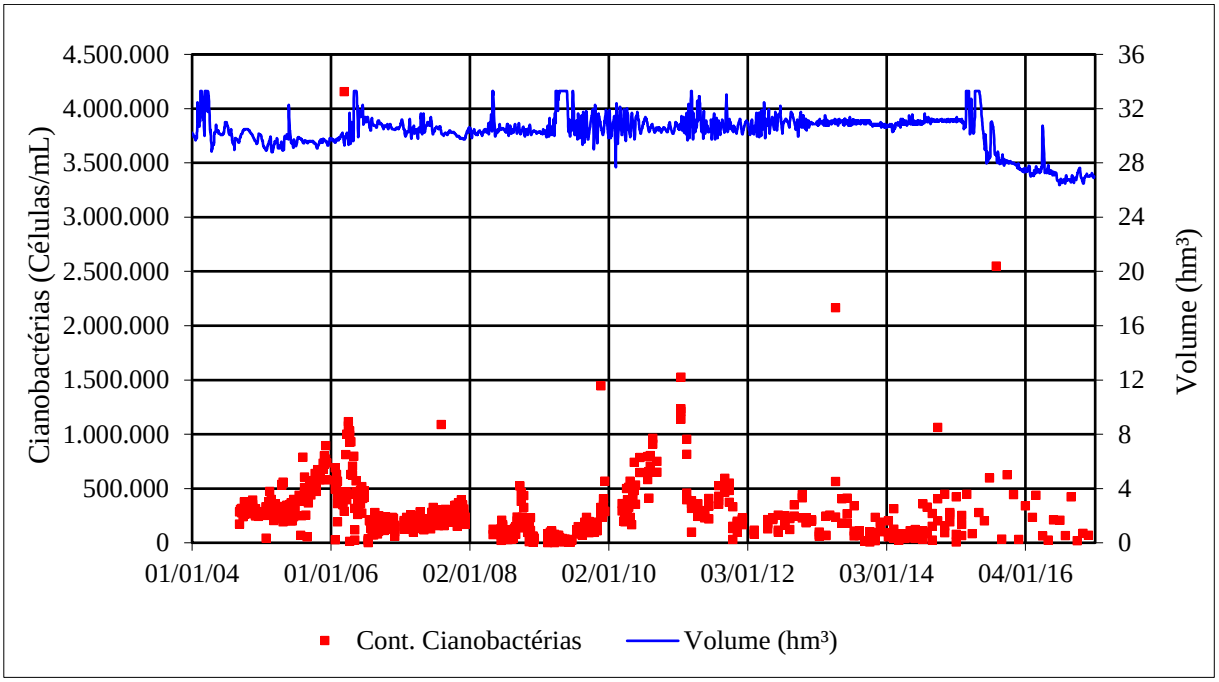
Figura 26 - Volume e clorofila-a ao longo do tempo – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

A contagem de cianobactérias no período analisado variou de 280,00 a 4.154.612,00 células/mL, com média de 280.886,99 células/mL e coeficiente de variação de 101,40% (Figura 27). A densidade de cianobactérias na maioria das análises foi menor que 500 células/mL, mas em todo o período observado, de 2004 a 2016, valores superiores a 1.000 células/mL foram observados, sendo o maior valor obtido em março/2006. Dos 707 resultados de cianobactérias, 10,6% foram menores que a referência para classe 2 da Resolução Conama n.º 357/2005, que é de 50.000 células/mL. Em todas as análises de contagem de cianobactérias foram avaliados os demais grupos de fitoplânctons e a variação foi de 0,0 a 28.511,0 células/mL.

Figura 27 - Volume e cianobactérias ao longo do tempo – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

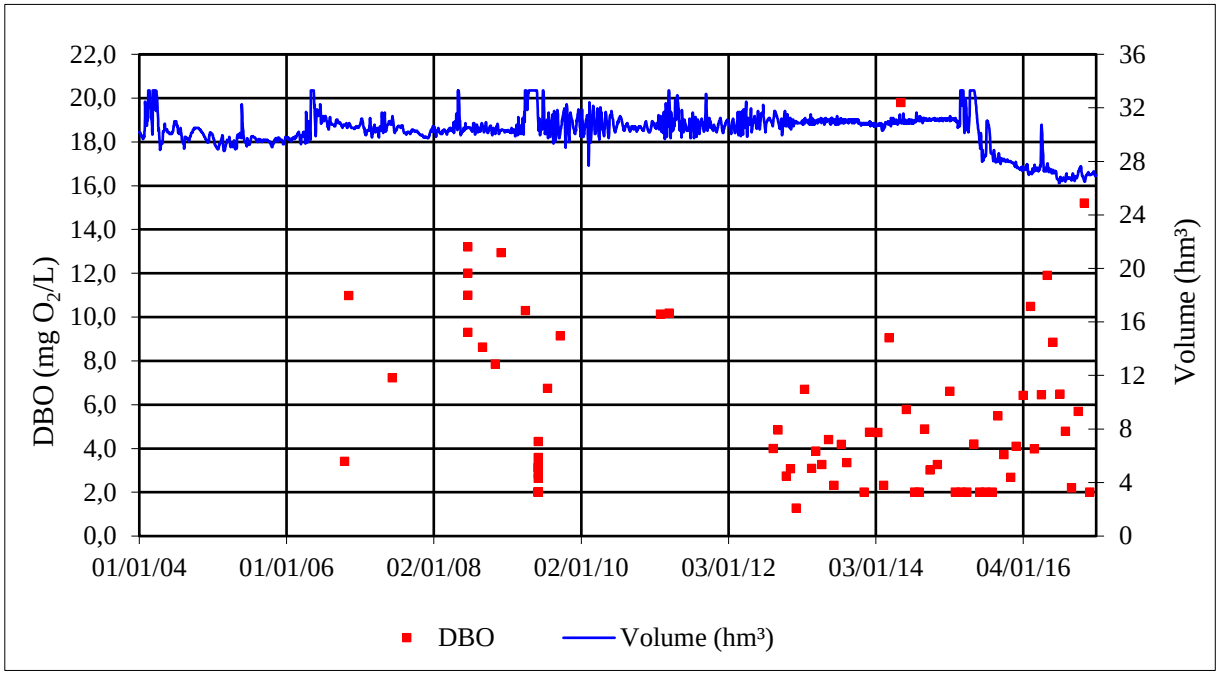
O valor médio da DBO no período avaliado (2006 a 2016) foi 5,35 mg/L e o coeficiente de variação foi de 70,28%. A Figura 28 mostra que o valor máximo quantificado foi 19,79 mg/L, em maio/2014. Dos 77 resultados de DBO, 36,4% apresentaram concentrações maiores que 5 mg/L, que é a referência para classe 2 da Resolução Conama n.º 357/2005.

O coeficiente de variação do fósforo total foi de 77,78% e a maior concentração foi de 0,480 mg P/L. A Figura 29 mostra os resultados de fósforo total, de 2008 a 2016, em que a maioria das concentrações foi menor que 0,250 mg P/L, porém maiores valores foram observados em 2008, 2010 e 2013. Dos 517 resultados de fósforo, 80,3% foram acima do valor de referência para classe 2.

Salienta-se que os açudes funcionam como decantadores naturais e que o fósforo pode ser depositado no sedimento. As concentrações elevadas podem indicar processos antrópicos recorrentes.

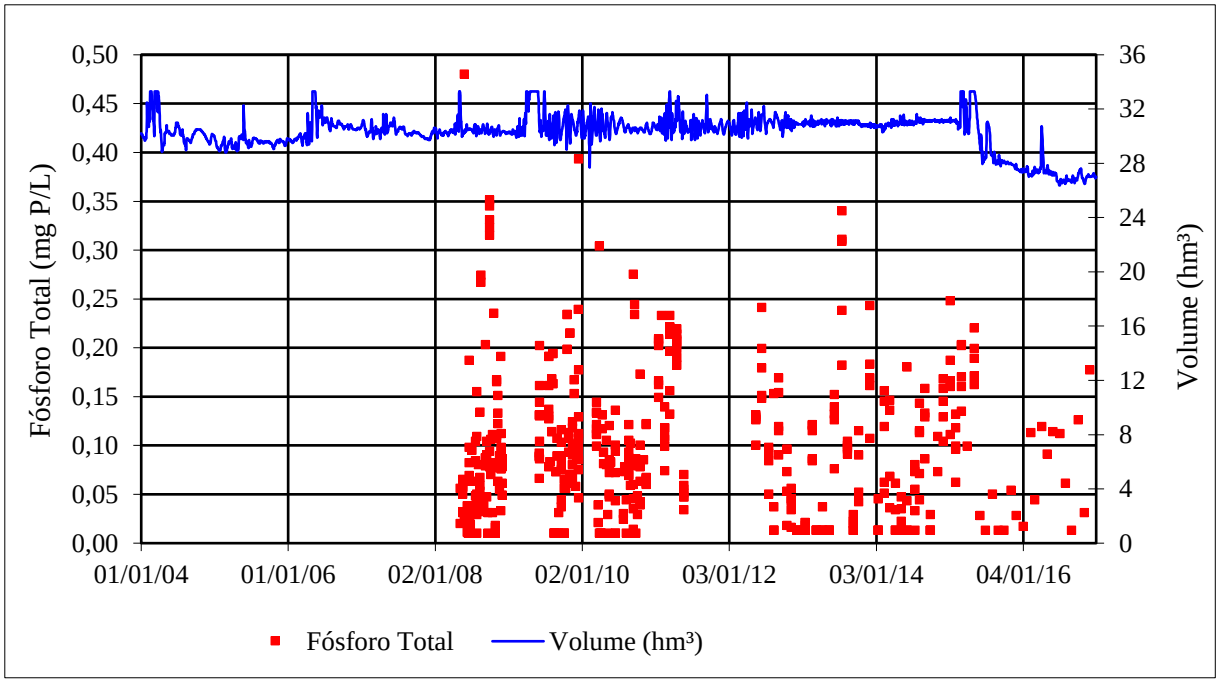
Em 505 resultados, o ortofosfato, que é a forma assimilada pelo fitoplâncton, foi quantificado em aproximadamente 4% das amostras.

Figura 28 - Volume e DBO ao longo do tempo – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

Figura 29 - Volume e fósforo total ao longo do tempo – Açude Gavião

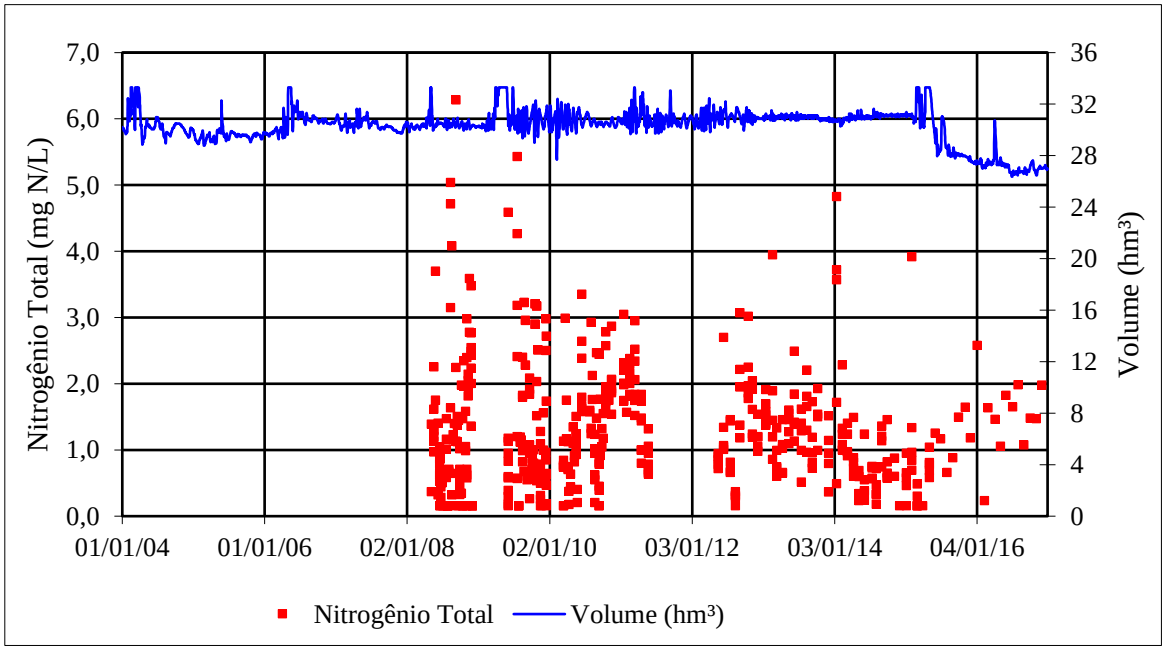


Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

A Figura 30 mostra as concentrações de nitrogênio total de 2008 a 2016. Em 2008 e 2009 a variação das concentrações de nitrogênio total foi de < 0,158 (limite de quantificação) a 6,286 mg N/L. De 2010 a fevereiro/2014 a maioria das concentrações foi menor que 3,0 mg N/L, em seguida os valores foram praticamente menores que 2,0 mg N/L. O coeficiente de variação dos 513 dados de nitrogênio total foi de 71,32% e a média foi de 1,290 mg N/L.

Sabe-se que o nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes para os processos biológicos e, em conjunto com elevadas temperaturas e a não renovação das águas, tornam os ambientes favoráveis ao aumento da densidade do fitoplâncton. Entretanto, o tempo de residência das águas do Gavião é baixo (20 dias, aproximadamente), significando que suas águas são renovadas com frequência, já que esse açude é alimentado por reservatórios interligados (Pacoti e Riachão) e, além disso, na quase totalidade do tempo a quantidade de água armazenada é insuficiente para garantir o abastecimento de Fortaleza e de outros municípios da RMF, exigindo a transferência das águas de outros reservatórios, como o Pacajus, o Castanhão e o Aracoiaba. Assim, a qualidade das águas do açude Gavião é fortemente determinada pela qualidade das águas recebidas de outros reservatórios e pelas ações antrópicas mencionadas no item 2.4 - Principais Impactos, deste IVA. Ferreira e Pádua (2004) concluíram que o canal do açude Riachão é a principal fonte de nutrientes para o fitoplâncton do açude Gavião.

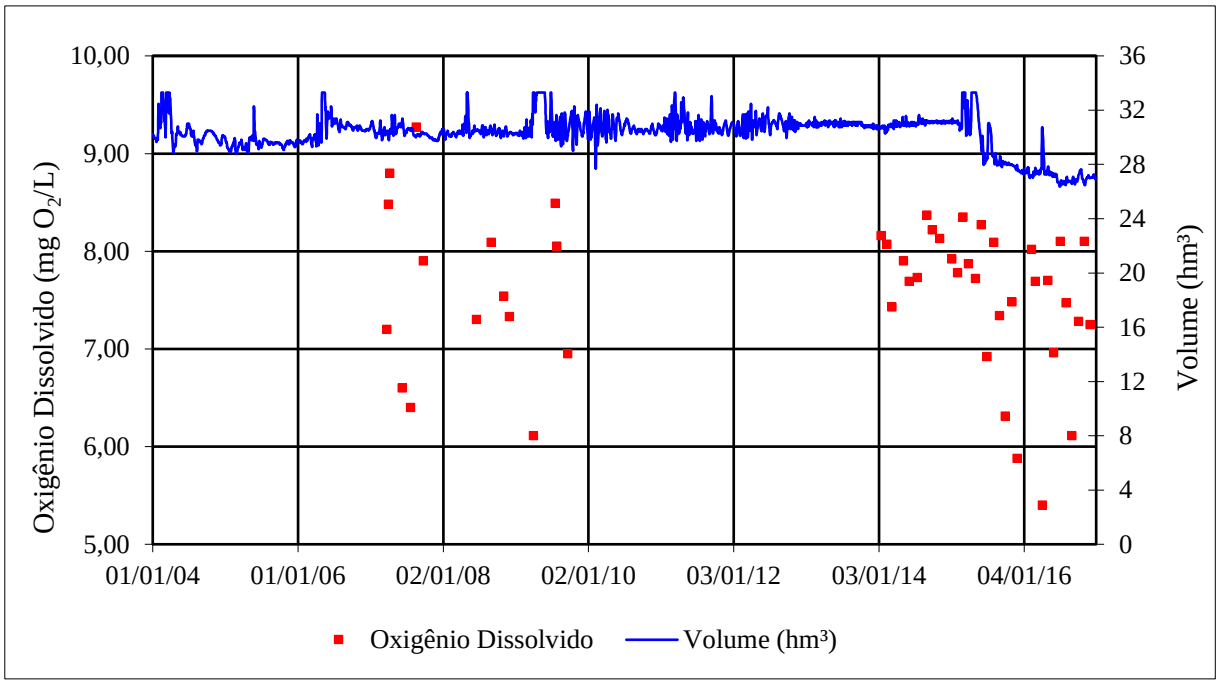
Figura 30 - Volume e nitrogênio total ao longo do tempo – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

O oxigênio dissolvido na superfície das águas do açude Gavião variou de 5,40 a 9,27 mg O_2/L (Figura 31). Todos os resultados estiveram acima de 5 mg O_2/L, que é a referência do Conama para águas de classe 2. Dessa forma, a média geral dos 47 resultados de oxigênio (2007 a 2009 e 2014 a 2016) foi de 7,58 mg O_2/L e o coeficiente de variação foi de 10,42%.

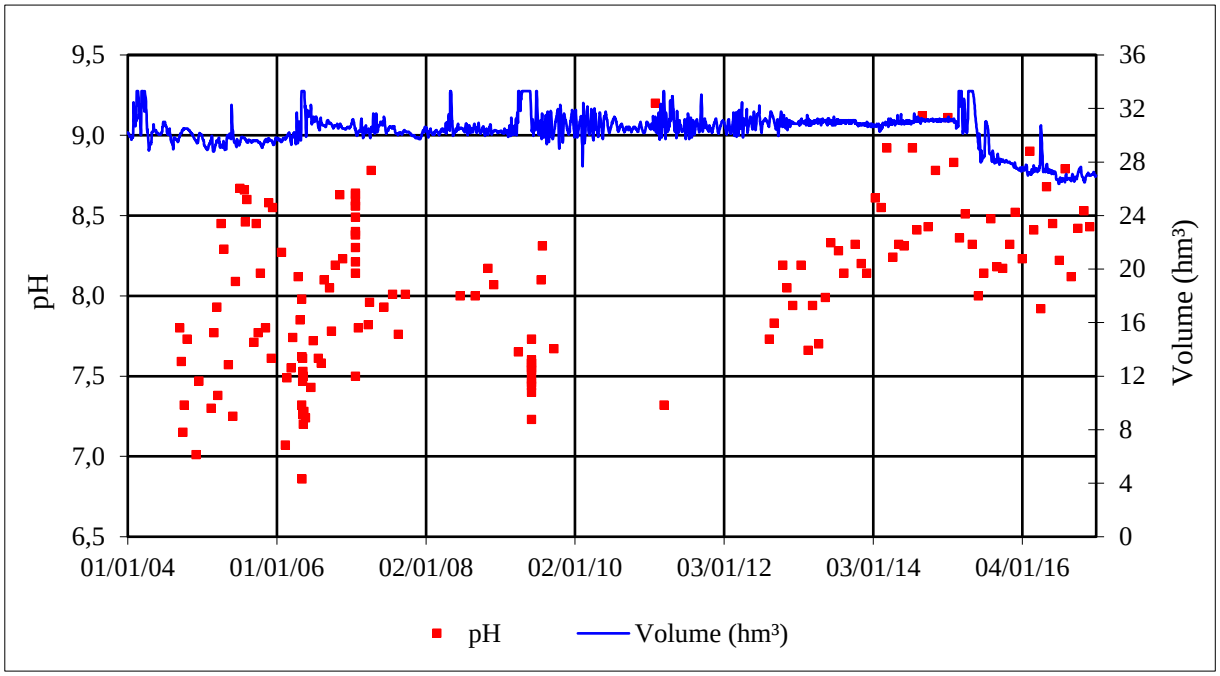
Figura 31 - Volume e oxigênio dissolvido ao longo do tempo – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

O pH das águas do açude Gavião variou de 6,86 a 9,20 (Figura 32). De 2004 a 2009 a maioria dos resultados variou de 7,0 a 8,5 e de 2011 a 2016 de 8,0 a 9,0. Foram observados 151 resultados de 2004 a 2016 e o coeficiente de variação foi de 6,10%.

Figura 32 - Volume e pH ao longo do tempo – Açude Gavião

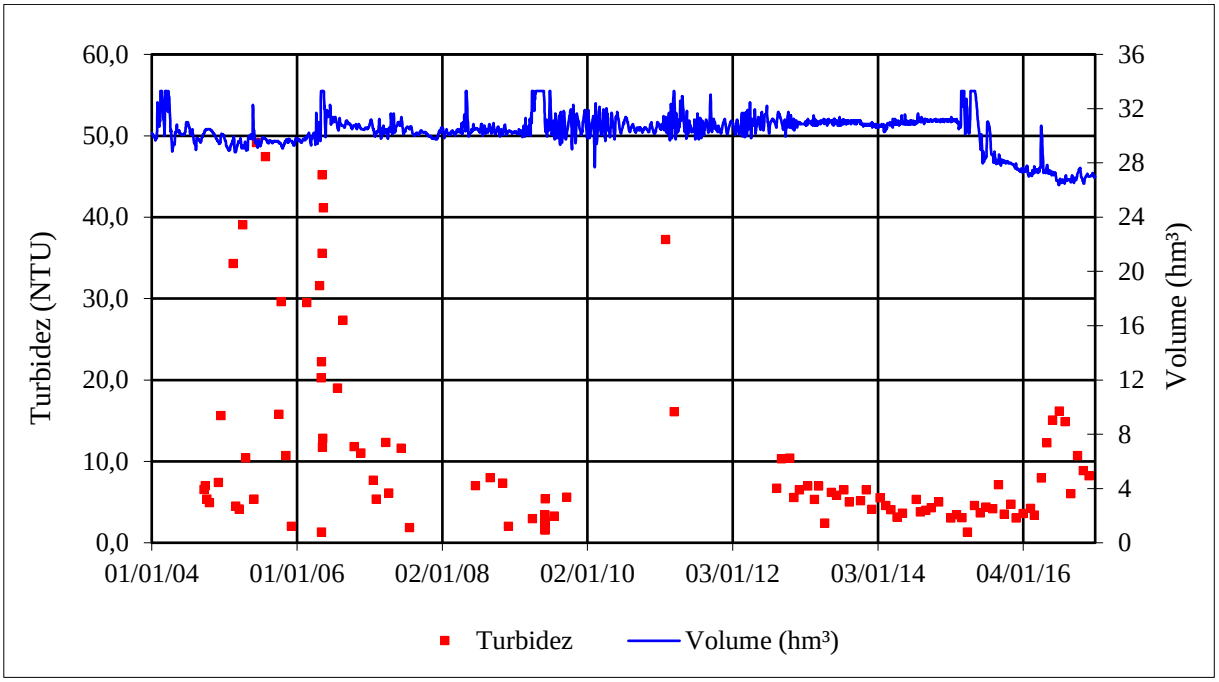


Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

A Figura 33 apresenta os 108 resultados de turbidez das amostras de água do açude Gavião. Os valores de turbidez variaram de 1,29 a 49,17 NTU durante 2004 a 2016. Em 2005 e 2006 foram observados os maiores valores turbidez (entre 20 e 50 NTU) e nos outros anos a maioria dos valores foi menor que 10 NTU. O coeficiente de variação de todos os valores de turbidez foi de 108,80% e a média foi de 9,98 NTU. Nenhum valor foi maior que 100 NTU, que é a referência do Conama para classe 2.

Destaca-se que os açudes funcionam como decantadores naturais e que, por isso, a turbidez tende a ser menor neles, sem esquecer que a água do Gavião é influenciada pela qualidade das águas recebidas de outros reservatórios. Ressalta-se que as algas e os sólidos provenientes da área de drenagem dos tributários e da bacia hidrográfica também influenciam a turbidez.

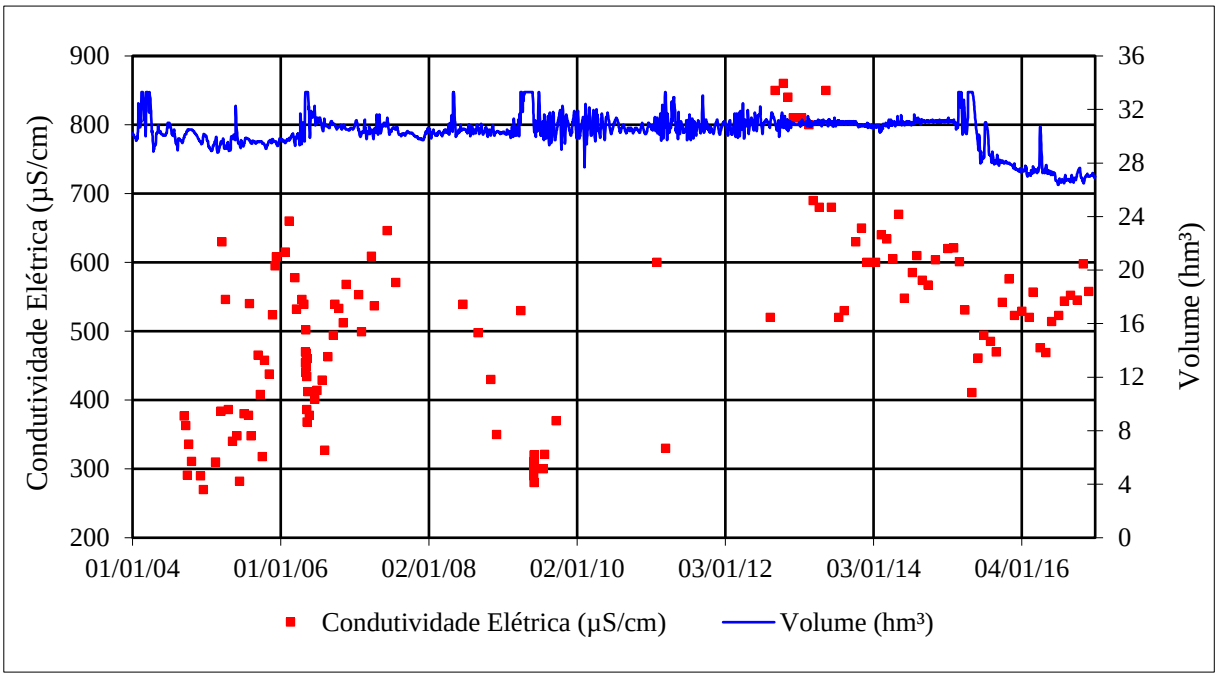
Figura 33 - Volume e turbidez ao longo do tempo – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

Os valores de condutividade elétrica nas águas do açude Gavião variaram de 270 a 860 µS/cm (Figura 34). Foram observados 135 valores e o coeficiente de variação foi de 28,02%. De 2004 a 2011 a maioria dos valores de condutividade elétrica ficou entre 300 e 600 µS/cm e de 2012 a 2016 ficou entre 400 e 700 µS/cm, embora no final de 2012 e início de 2013 os valores tenham sido pouco maiores que 800 µS/cm. Verifica-se que o volume de água no açude não teve reduções significativas que justifique alterações nos valores de condutividade elétrica. As variações foram devidas, possivelmente, ao aporte de água de outros reservatórios.

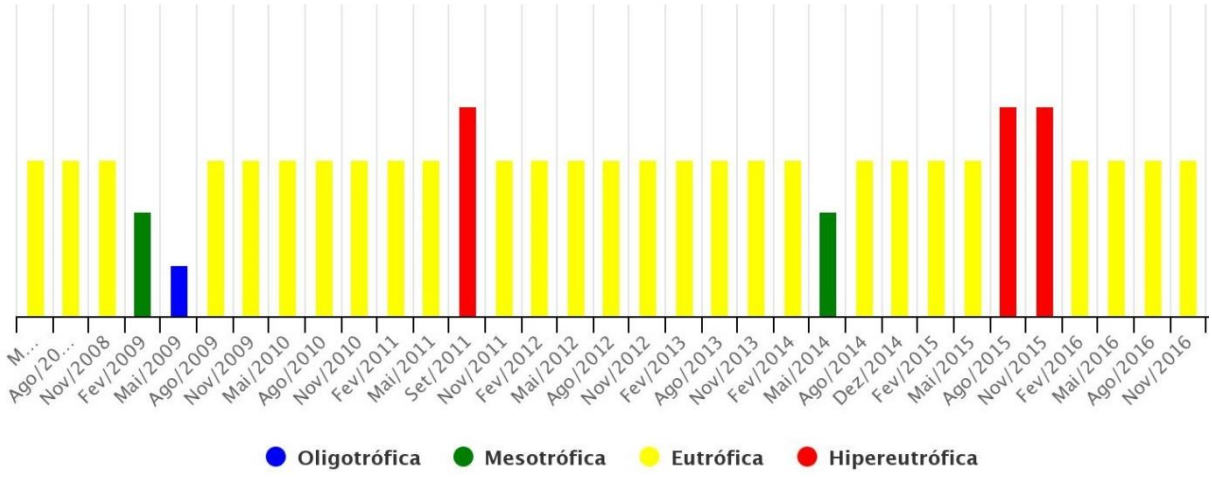
Figura 34 - Volume e condutividade elétrica ao longo do tempo – Açude Gavião



Fonte: adaptado de Cogerh, 2016.

A Figura 35 mostra o estado trófico por coleta de água referente ao período de 2008 a 2016 do ponto GAV-05. Nota-se que a classificação eutrófica é predominante ao longo do tempo, pois foi constatada em 81,8% das coletas. Em poucas coletas também foram observadas as classificações hipereutrófico, mesotrófico e oligotrófico.

Figura 35 - Estado trófico do açude Gavião



Fonte: Ceará (2017).

6. ESTIMATIVA DA CARGA DE NUTRIENTES

6. ESTIMATIVA DA CARGA DE NUTRIENTES

Uma forma de identificar e analisar a poluição em bacias hidrográficas, considerando aspectos qualitativos e quantitativos oriundos de fontes pontuais e não pontuais de poluição, é utilizando modelos hidrológicos distribuídos no espaço, através de sistemas de informações geográficas (SIG).

Segundo Larentis (2004), esses modelos permitem avaliar de forma sistemática os processos que envolvem a dinâmica hidrológica e o transporte de poluentes na bacia, simulando ambientes que melhor se aproximem da realidade, servindo, desta forma, como um instrumento de suma importância à tomada de decisão e apoio ao planejamento dos recursos hídricos.

No presente IVA foi estimada a área que influencia a qualidade da água em reservatórios através da caracterização e avaliação do transporte e da concentração de fósforo na zona de contribuição hidrográfica do Açude Gavião, desenvolvendo metodologia baseada em técnicas e ferramentas de geoprocessamento descritas no R10 – Relatório Parcial de Metodologia de Enquadramento de Reservatórios e reprisada, no que cabível, nos próximos tópicos.

6.1. Modelagem matemática para definição da área de influência do reservatório

A modelagem aprovada encontra articulação conforme ilustra a Figura 36, onde se identificam todos os elementos sistematicamente compostos para que, a partir da informação efetivamente disponível e confiável, possa ser avaliado realisticamente o efeito do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água do reservatório. As fases anteriores, tais como a caracterização estatística do Banco de Dados e os resultados das campanhas de coleta e análise de água, entram em consideração com vistas a maximizar o grau de realismo da modelagem, mas, sobretudo, como meio para validar a pertinência e adequabilidade da metodologia de enquadramento aprovada pela Cogerh.

6.1.1 Modelo Digital de Elevação - MDE e Direção de Fluxo

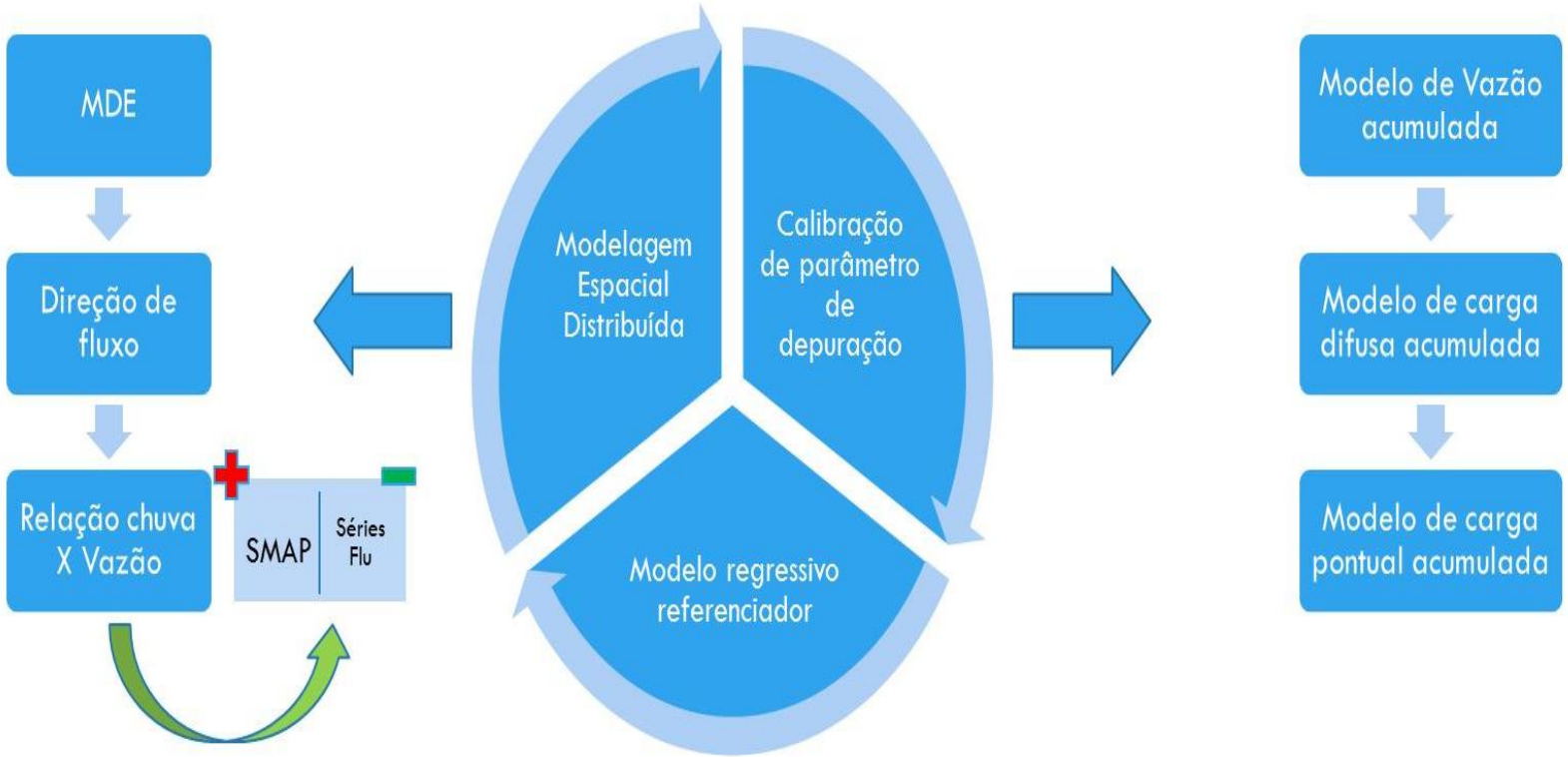
O modelo digital de elevação (MDE) utilizado foi obtido do projeto Topodata, desenvolvido e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O modelo é proveniente do refinamento de imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da

National Aeronautics and Space Administration (NASA) e conta com dados topográficos de todo o território nacional com resolução espacial de 1 arco-segundo (~30m).

Em ambiente SIG, a partir do MDE e utilizando o ArcHydro (conjunto de ferramentas para análises hidrológicas que opera como módulo do software ESRI® ArcGIS), foram executadas diversas etapas que resultaram em *rasters* contendo a direção do escoamento superficial da água para cada célula, a acumulação do fluxo, a rede de drenagem e, por fim, os limites das sub-bacias e bacias hidrográficas.

Ressalta-se que, no âmbito da elaboração do Inventário Ambiental do Açude Gavião, esta etapa foi desenvolvida devido à necessidade da aplicação do modelo de direção de fluxo no processo de modelagem da carga e concentração de fósforo. Foram consideradas, para fins de delimitação de área de contribuição hidrográfica, as informações obtidas no banco de dados da Cogerh.

Figura 36 - Diagrama de articulação dos principais componentes da modelagem matemática



Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

6.1.2 Modelagem da Relação Chuva-vazão

Para melhor entender a dinâmica do transporte de nutrientes na bacia pelo escoamento superficial é necessário antes conhecer as características hidrológicas do ambiente. Para a caracterização do comportamento hidrológico e da disponibilidade hídrica na bacia estudada foi necessário calcular as vazões médias de longo termo e construir uma relação matemática entre chuva e vazão.

A vazão média de longa duração permite caracterizar a disponibilidade potencial de uma bacia hidrográfica. O cálculo da vazão média de longa duração da área estudada foi realizado a partir da média das vazões médias anuais para toda a série de dados, como definido por Pruski *et al*. (2006).

Para a análise da potencialidade hídrica superficial foi utilizado o cálculo do deflúvio superficial direto, que é dado pelo volume de água que escoa na superfície de uma determinada área devido à ocorrência de precipitação.

O cálculo do deflúvio foi obtido pela relação entre as vazões médias anuais e a área de drenagem, resultando em valores em mm.ano $^{-1}$, conforme equação apresentada a seguir, a fim de comparar com os valores de precipitação média da área de drenagem estudada.

$$D = \frac{Q_{anual}}{A} x\ 10^3 x\ 31536000$$

Onde:

D = Deflúvio (mm.ano^{-1});

Q anual = vazão média anual (m.s^{-1});

A = área de drenagem da estação (m²).

Para a elaboração de um modelo de vazão distribuída na bacia estudada foi necessária uma análise, com o objetivo de definir analiticamente uma relação entre chuva e vazão. Para isso, foram realizadas análises de regressão linear e não linear simples, com o objetivo de verificar a relação entre os dados de vazão e chuva e, consequente, obtenção da equação de regressão com o melhor ajuste possível.

Para a avaliação da representatividade dos dados pelas equações consideradas foi estimado o coeficiente de determinação (R^2), calculado pela seguinte equação:

$$R^2 = \frac{SQDR}{SQRM}$$

Onde:

- SQDR é a soma dos quadrados devido à regressão (variação devido à regressão);
- SQRM é a soma dos quadrados com relação à média (variação total).

Por fim, a função de regressão com o melhor ajuste para a relação chuva-vazão foi aplicada sobre o mapa de precipitação, com o objetivo de se obter o plano de informação da vazão média de longo curso distribuída em função da precipitação em mm/m²/ano.

6.1.2.1 Alternativas estudadas

Inicialmente, para a construção de uma relação matemática entre chuva e vazão, utilizaram-se séries temporais de vazões médias anuais e os respectivos deflúvios, convertidos a partir da correspondente precipitação, por uso do modelo SMAP, séries essas disponibilizadas pela própria Cogerh. Conforme se sabe, o modelo SMAP é um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo chuva-vazão.

Para o presente estudo foram selecionados os dados do açude Gavião apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Parâmetros utilizados para a construção do primeiro modelo chuva-vazão

Código	Açude	Precipitação Média-P (mm)	Área da Bacia – A (Km²)	Vazão Média Anual (m³/s)	Deflúvio (mm/ano)	Coeficiente de Rendimento (%)
95	Gavião	1277,600	48,100	0,100	316,800	24,800

Fonte: UFC (2013).

A função de regressão linear, estabelecida entre a chuva e a vazão nas áreas de drenagem dos açudes, que apresentou o melhor ajuste dentre as demais funções é exposta na Figura 37. Baseado no resultado da análise de regressão estatística, o modelo que melhor aproxima a relação entre chuva e vazão, utilizando os dados extraídos do modelo SMAP, é apresentado na equação a seguir.

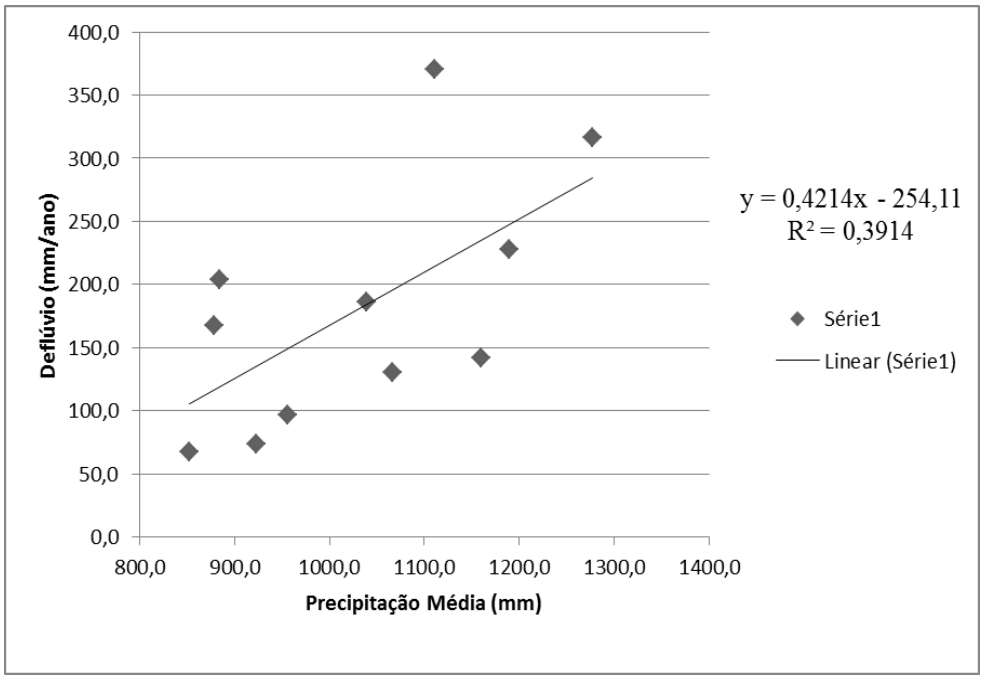
$$Q = 0{,}4214 \times P - 254{,}11 \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão média (mm.ano^{-1});

P = precipitação média (mm.ano^{-1}).

Figura 37 - Relação Chuva-Vazão pelo modelo SMAP



Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

No entanto, observou-se que o coeficiente de determinação (R^2) apresentou um valor baixo, quantificando uma dispersão relativamente elevada, visível nos pares ordenados considerados e apresentados na Figura 37. Tal resultado reflete a complexidade do fenômeno de conversão de chuva em vazão, cuja variabilidade espacial não se deixa apreender por metodologias de regionalização de parâmetros de modelos chuva-vazão, fato que não chega a surpreender quando se considera, por exemplo, as grandes dificuldades inerentes à convencional execução das etapas de escolha, calibração e validação de modelos conceituais em regiões de elevada variabilidade hidroclimatológica, pouca disponibilidade de dados e qualidade nem sempre aceitável.

Assim, para a caracterização do comportamento hidrológico, os dados do modelo SMAP foram então substituídos por dados de estações fluviométricas pertencentes à rede de monitoramento da Agência Nacional das Águas (ANA).

Foi procedida uma seleção de estações dentro e próximas às Bacias Metropolitanas, tendo como critério a qualidade dos dados, demonstrada pelo reiterado uso dessas séries em estudos procedidos pela própria Cogerh e outras instituições públicas atuantes no setor de Recursos Hídricos. As seguintes etapas foram realizadas:

1) Inicialmente, apenas estações fluviométricas localizadas dentro da bacia hidrográfica em estudo foram selecionadas. Tais estações estão identificadas na Tabela 28 com suas principais características, dentre elas a precipitação média na bacia hidrográfica, segundo informação fornecida pela Cogerh, oriunda de estudo realizado em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC, 2013).

Tabela 28 - Estações fluviométricas selecionadas para a construção do segundo modelo chuva-vazão

Estações Fluviométricas – Bacias Metropolitanas					
Estações ANA	**Área de Contribuição da Estação Fluviométrica – A (Km²)**	**Precipitação Média – P (mm)**	**Vazão Média Anual (m/s)**	**Deflúvio (mm/ano)**	**Coeficiente de Rendimento (%)**
35950000	2027,715	800,670	6,440	100,157	12,509
35880000	4085,574	894,934	12,713	98,134	10,965

Fonte: UFC (2013).

Os dados disponíveis da série histórica de vazões das estações fluviométricas foram utilizados na obtenção das vazões médias anuais. Com essa informação e o correspondente valor da chuva média anual, para as Bacias Metropolitanas foi gerada uma equação de regressão conforme se apresenta na Tabela 29. Foram testados diversos tipos de equações na busca da melhor descrição analítica dos dados. A equação ajustada teve natureza linear com respectivo coeficiente de determinação (R^2) mostrado na tabela citada.

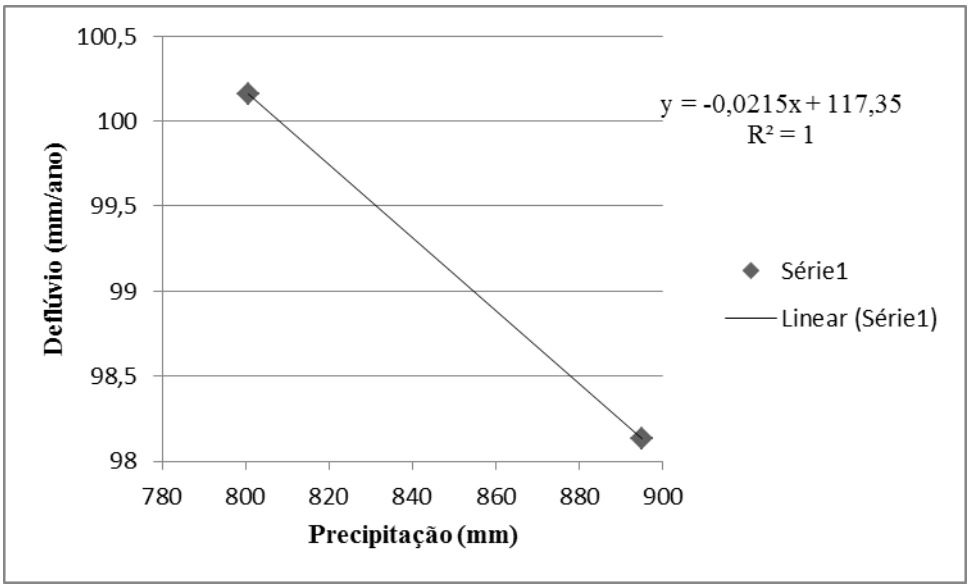
Tabela 29 - Equações de regressão chuva-vazão

Bacia Hidrográfica	Equação	R^2
Bacias Metropolitanas	Q= -0,0215P +117,35	1

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

A seguir é apresentado um gráfico que ilustra a relação entre os valores de precipitação e de vazão das Bacias Metropolitanas (Figura 38).

Figura 38 - Relação chuva-vazão das Bacias Metropolitanas com dados de estações fluviométricas localizadas dentro da bacia



Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

Uma vez obtido o resultado apresentado, objetivando uma melhor representatividade da relação chuva-vazão modelada para os fins demandados, tendo em vista a relativa homogeneidade hidrológica das áreas de inserção dos mananciais de interesse, foram então agregados à análise os dados das estações fluviométricas localizadas próximas às Bacias Metropolitanas. A Tabela 30 identifica a estação fluviométrica agregada.

Tabela 30 - Estação fluviométrica adicionada ao cálculo matemático de chuva e vazão das Bacias Metropolitanas

Código da Estação	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Localização da Bacia
36520000	Quixeramobim	-5,202474582	-39,29276235	Metropolitanas – 28 Km

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

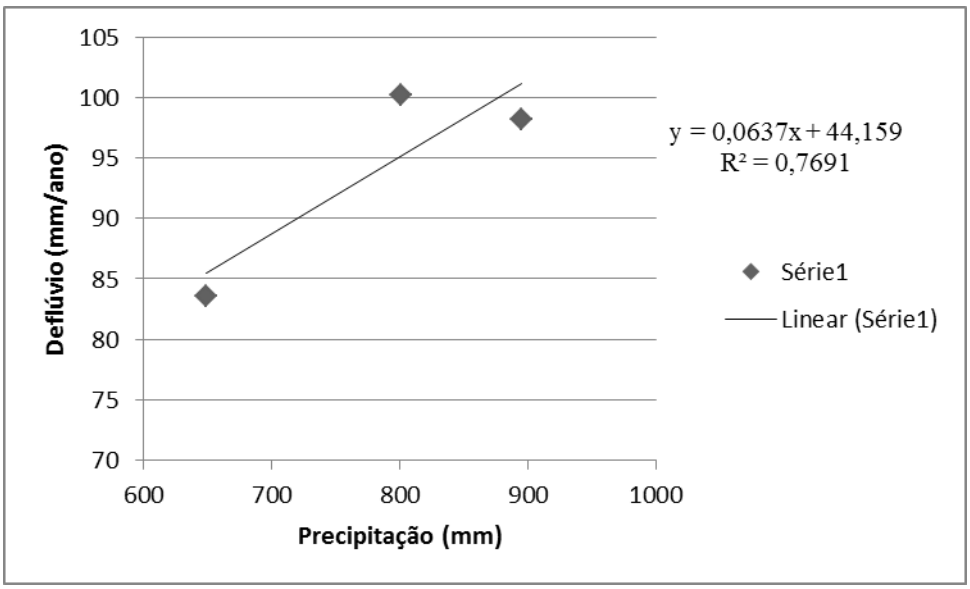
A partir desse novo conjunto de dados, por regressão linear, uma nova equação foi obtida, mais uma vez, a mais adequada à descrição analítica dos dados. A Tabela 31 mostra essa equação com o respectivo coeficiente de determinação (R^2). Na sequência, é mostrado o gráfico ilustrativo do grau de representatividade da equação em relação aos dados utilizados (Figura 39).

Tabela 31 - Equações de regressão chuva-vazão

Bacia Hidrográfica	Equação	R^2
Bacias Metropolitanas	Q= 0,0637P +44,159	0,769

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

Figura 39 - Relação chuva-vazão - Bacias Metropolitanas com dados de estações fluviométricas localizadas dentro e próximas à bacia



Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

2) Considerando que este IVA foi elaborado em conjunto com outros 4 IVAs localizados nas Bacias Metropolitanas, é importante ressaltar que o coeficiente de determinação encontrado foi ainda considerado insatisfatório, indicando a existência de uma homogeneidade hidrológica regional inferior àquela pressuposta ou mesmo a presença de inconsistências nas séries temporais utilizadas, ou ainda uma combinação desses dois efeitos nocivos aos objetivos pretendidos. Assim sendo, buscou-se identificar e eliminar as informações dissonantes da esperada homogeneidade focada.

No entanto, as estações fluviométricas das Bacias Metropolitanas foram mantidas, não havendo, portanto, nenhuma alteração nos dados. Manteve-se, portanto, a equação estabelecida anteriormente com base nas estações fluviométricas mostradas na Tabela 32.

Tabela 32 - Estações fluviométricas selecionadas para o cálculo final da chuva-vazão - Bacias Metropolitanas

Estações ANA	Área de Contribuição da Estação Fluviométrica – A (Km²)	Precipitação Média – P (mm)	Vazão Média Anual (m/s)	Deflúvio (mm/ano)	Coeficiente de Rendimento (%)
35950000	2027,715	800,670	6,440	100,157	12,509
35880000	4085,574	894,934	12,713	98,134	10,965
36520000	7035,736	648,650	18,651	83,601	12,888

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

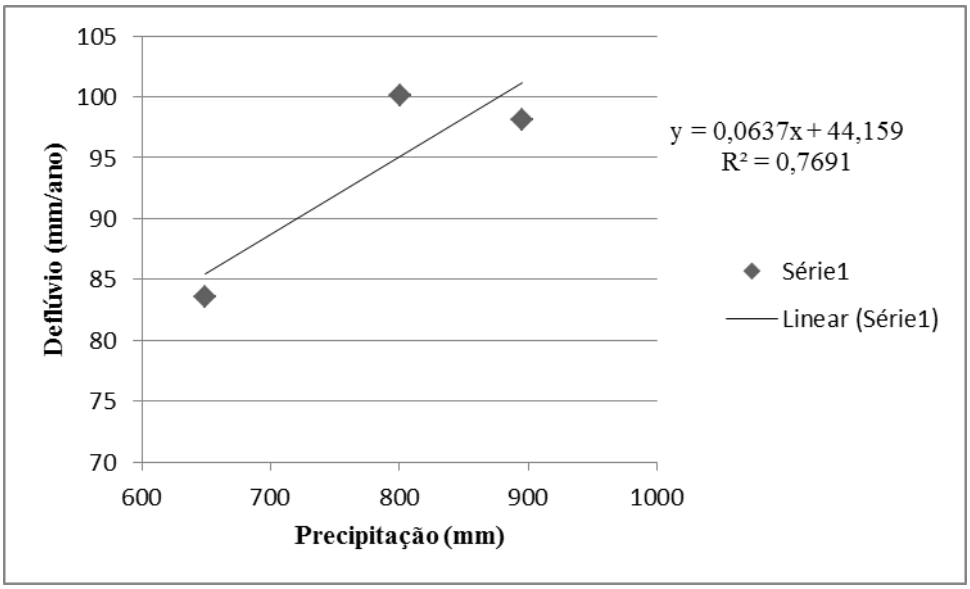
Baseado no resultado da análise de regressão, o modelo que melhor aproxima a relação entre chuva e vazão para as Bacias Metropolitanas, utilizando os dados extraídos das estações fluviométricas selecionadas, é a equação apresentada a seguir.

$$Q = 0{,}0637 \times P + 44{,}159$$

$$R^2 = 0{,}7691$$

O gráfico da Figura 40 apresenta a relação entre os valores de precipitação média e o deflúvio (mm/ano) das estações fluviométricas selecionadas para as Bacias Metropolitanas. Ressalta-se a carência de dados apresentada nessa área de interesse, já bastante enfatizada em outros estudos demandadores de informações de natureza fluviométrica.

Figura 40 - Relação chuva-vazão - Bacias Metropolitanas



Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

6.1.3 Modelo de vazão acumulada

Obtida a distribuição das vazões médias de longo termo em função da precipitação foi possível determinar, em ambiente SIG, o volume de água acumulado na bacia, através da aplicação do algoritmo de fluxo acumulado ponderado (FAP) implementado na ferramenta *Hydrology*, do módulo *Spatial Analyst* do software ArcGIS. Seguindo requerimento da ferramenta, o procedimento teve como dados de entrada o *raster* de direção de fluxo e o modelo de vazão média distribuída por pixel, tendo como produto o modelo de vazões médias de longo termo acumuladas, em $m^3.ano^{-1}$.

6.1.4 Modelo de cargas difusas e pontuais

Considerando as interações físicas que ocorrem no processo de carreamento dos nutrientes, um fator a ser ponderado no cálculo das cargas de fósforo é a distância que a fonte poluente está do corpo hídrico.

Os valores de carga potencial de fósforo foram distribuídos para todos os pixels dos planos de informação de carga difusa e pontual e, sobre eles, aplicado o indicador de distância a fim de considerar o decaimento (depuração) ao longo da trajetória percorrida pela substância até chegar ao reservatório.

A estimativa da carga total acumulada de fósforo é feita somando-se as cargas potenciais provenientes de fontes pontuais e difusas e, posteriormente, aplicando-se o algoritmo FAP, conforme descrito anteriormente, combinando os planos de direção de fluxo e da carga total de fósforo.

A partir do modelo de vazões médias de longo termo acumuladas e do modelo de carga total de fósforo acumulada torna-se possível obter a concentração média anual na área de contribuição hidrográfica, utilizando a seguinte equação:

$$C_p = \frac{L_p}{Q_p}$$

Onde:

C_p é a concentração média anual da substância;

L_p é carga total acumulada de P (kg.ano^{-1});

Q_p é vazão média anual acumulada (m³.ano^{-1}).

Tendo, assim, como resultado a concentração média anual na bacia em kg/m³, posteriormente convertida, obtendo-se o plano de informação da concentração média anual de fósforo em mg/L.

6.1.5 Modelo regressivo referenciador

O modelo adotado destinou-se a fornecer uma referência da carga total de fósforo na bacia a partir de variáveis estudadas e identificadas como determinantes, em se tratando de lagos tropicais de águas quentes. A metodologia escolhida para esse fim é consagrada e foi proposta por Salas e Martino (1991). Esses autores conduziram importante investigação científica no contexto de um Programa Regional para o desenvolvimento de metodologias simplificadas para a avaliação da eutrofização em lagos/reservatórios tropicais de água quente da América Latina e do Caribe. Trata-se de um programa que foi iniciado em 1981 pelo Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais (CEPIS), do Centro Especializado da Organização Pan-Americana da Saúde, ligado à Organização Mundial de Saúde (OMS).

As informações coletadas em diversos países indicam uma maioria de lagos e reservatórios regionais aparentemente limitados pelo fósforo. A classificação do estado trófico desses corpos d'água e um modelo de fósforo total simplificado foram desenvolvidos com dados regionais e, segundo os autores, verificados com sucesso considerando os dados de outros lagos e reservatórios do continente africano. Nesse artigo, hoje tomado por muitos profissionais da área como um clássico, o uso do modelo de fósforo é indicado por seus autores como ferramenta preditiva na gestão e no planejamento dos recursos hídricos.

No presente contexto, conforme mencionado, o modelo regressivo se prestou ao fornecimento de um valor de referência para a carga de fósforo afluente à bacia hidráulica do reservatório. Conforme o artigo supracitado, a equação do balanço de massa para o fósforo total é dada por:

$$P_\lambda = \frac{L(P)}{\bar{Z}\left(\frac{1}{T_w} + K_s\right)}$$

Onde:

P_λ é o fósforo total em mg/L;

$L(P)$ é a taxa de contribuição de fósforo total por unidade de superfície em $g/m^2 \cdot ano$;

$\bar{Z}$ é a profundidade média do lago em m;

T_w é o tempo de detenção em $anos$;

K_s é a taxa global de perda de fósforo total em $1/ano$.

O valor do parâmetro K_s é obtido em função do tempo de detenção como sendo (Salas e Martino, 1991):

$$K_s = \frac{2}{\sqrt{T_w}}$$

6.1.6 Modelagem espacial distribuída

De posse de todos os dados das áreas potenciais de poluição, é dado início à etapa de identificação e quantificação das cargas de fósforo provenientes de fontes pontuais e difusas, baseando-se na carga *per capita* e no tipo de uso e cobertura do solo associados aos coeficientes médios de exportação (Tabela 33) definidos pelo Modelo Matemático de Correlação Uso do Solo/Qualidade da Água (MQUAL), desenvolvido pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA, 2010).

Tabela 33 - Coeficientes médios de exportação de fósforo total adotados no estudo

Tipo	Fonte	Unidade	Fósforo total
Difusa	Afloramento Rochoso	kg/km².ano	10,22
	Área Urbana		12,41
	Água		0,00
	Cultura Agrícola		126,29
	Vegetação		14,24
	Pastagem		10,22
	Solo Exposto		12,41
Pontual	Carga *per capita*	kg/hab.ano	0,28

Fonte: adaptado de SMA (2010).

A estimativa da carga potencial (C_p) de fósforo por origem pontual é feita a partir da quantificação, segundo dados do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010), da população por setor, parcial ou integralmente incluso no limite da bacia hidrográfica do reservatório. O cálculo é feito considerando a população e a área proporcionais do setor e a carga *per capita* média de fósforo total anual, aplicando-se:

$$C_p = \frac{P_{st} C_{pc}}{A_{st}}$$

Onde:

C_p é a carga pontual de fósforo em kg/km².ano;

P_{st} é a população proporcional do setor em hab;

C_{pc} é a carga *per capita* anual de fósforo em kg/hab;

A_{st} é a área proporcional do setor em km².

As fontes poluentes difusas se encontram fortemente associadas ao tipo de uso e ocupação do solo existente na bacia. Para identificação e quantificação das potenciais causas da eutrofização dos corpos hídricos foram aplicados coeficientes de exportação às diferentes classes de cobertura do solo e atividades desenvolvidas na área de contribuição do reservatório.

Para tanto, foram utilizadas imagens multiespectrais, dos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal InfraRed Sensor*) do satélite LANDSAT 8, distribuídas pela *U.S Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 30m, para as quais foi atribuída composição colorida RGB nas bandas 6, 5 e 4, respectivamente.

O processo de classificação das imagens se deu através do *software* ESRI® ArcGIS, utilizando-se o método não supervisionado *IsoCluster* da ferramenta *Image Classification*, obtendo, de modo geral, seis classes: afloramento rochoso, área urbana, cultura agrícola, pastagem, solo exposto e vegetação.

Uma vez gerada a classificação, para melhor adequá-la à realidade apresentada na imagem de satélite, faz-se necessário realizar uma pós-classificação, a fim de identificar e corrigir eventuais erros no mapeamento. Algumas células que possam ter tido suas classes determinadas com imprecisão durante o processo são identificadas pelo operador que realizou a edição e permuta das categorias para, com isso, obter uma representação satisfatória do objeto em estudo.

A cada grupo de objetos é atribuído seu respectivo coeficiente médio de exportação de fósforo, resultando no modelo de cargas potenciais de origem difusa, distribuídas por categoria de uso e cobertura do solo.

Conforme já visto, a vazão média de longa duração permite caracterizar a disponibilidade potencial de uma bacia hidrográfica. O cálculo da vazão média de longa duração das áreas estudadas é obtido pela média das vazões médias anuais para toda a série de dados.

O plano de informação relativo ao regime de chuva, na área de interesse, foi gerado através da espacialização de dados de precipitação obtidos do banco de dados dos Estudos Pluviométricos desenvolvidos no âmbito do Estudo para refinamento do balanço hídrico e definir diretrizes, metodologias e ferramenta para subsidiar o estabelecimento de regras operativas para 204 reservatórios localizados na região semiárida, contemplando estimativas de oferta hídrica e demandas associadas, criação de base de dados e aplicação de ferramenta de suporte e decisão" (ANA, 2016).

Através de técnicas de geoprocessamento têm-se delimitadas as áreas de drenagem de estações fluviométricas dos reservatórios selecionados, cujos valores de precipitação de suas células foram sumarizados, resultando em valores de precipitação média anual por área de drenagem, a fim de subsidiar as etapas seguintes para a elaboração do plano de informação da vazão média de longo curso, distribuída em função da precipitação.

6.1.7 Calibração de parâmetro de depuração

O decaimento da carga de nutrientes ao longo do espaço no percurso do escoamento superficial é modelado por um coeficiente de atenuação dependente da distância entre o ponto e o exutório da bacia. Um índice normalizado denominado Indicador de Distância (DI), proposto por Cecchi *et al*. (2007), pode ser utilizado para ponderar os coeficientes de exportação, conforme as equações a seguir.

$$DI_i = e^{-D_i K}$$

$$CE_{PD} = DI_i \times CE_{UCS}$$

Onde:

DI_i é o indicador de distância entre a célula i e o corpo de água;

D_i é a distância euclidiana da célula i ao exutório medida em número de células;

K é a variável de calibração;

CE_{PD} é o coefiiente de exportação ponderado pela distância, dado em $kg \cdot km^{-2} \cdot ano^{-1}$;

CE_{UCS} é o coefiiente de exportação de cada tipo de uso e cobertura do solo, dado em $kg \cdot km^{-2} \cdot ano^{-1}$.

Portanto, se $D_i = 0 => DI_{i=1} = 1$; e se $D_i = \infty => DI_{i=1} = 0$. Essa condição, expressa em termos práticos aproximados, significa que, se a retícula (pixel) de discretização da área de drenagem estiver no próprio lago ou na APP, sua contribuição para o total da carga poluente depositada será integral ($DI_{i=1} = 1$). Na situação oposta, ou seja, se localizada a uma distância muito grande do lago, sua contribuição se anula, via processo de decaimento, admitindo, como em tantos modelos clássicos, como governado pela função exponencial.

Considerando a área de influência do reservatório como a porção da bacia hidrográfica que responde pela potencial contribuição para a poluição do lago, representado pela porção amostrada onde se fez a coleta da água, procede utilizar o indicador de distância como índice ou parâmetro a calibrar, de maneira que a carga de fósforo obtida no exutório da bacia hidrográfica, calculada em termos de média anual pelo modelo referenciador, seja aproximada pelo resultado do processamento do algoritmo acumulativo da carga poluente na bacia. A calibração de K é iterativa: expande a área de influência inicialmente, tomada como coincidente com a bacia hidráulica, até

que os resultados mencionados se aproximem suficientemente. Em outras palavras, ao se expandir a área potencial de contribuição de poluentes desde o entorno do reservatório (bacia hidráulica), crescem, de maneira não linear, os valores da carga afluente ao lago. Em um dado momento da expansão, a carga afluente se aproxima do valor estimado pelo modelo referenciador e, nesse momento, o raio da expansão correspondente implica em uma região de entorno do lago. O exercício prático desse procedimento mostra excepcional coerência entre a realidade qualitativa da água no reservatório e a realidade física materializada nas fontes poluentes (pontuais e difusas) que a calibração faz incluir como pertencentes à área de influência.

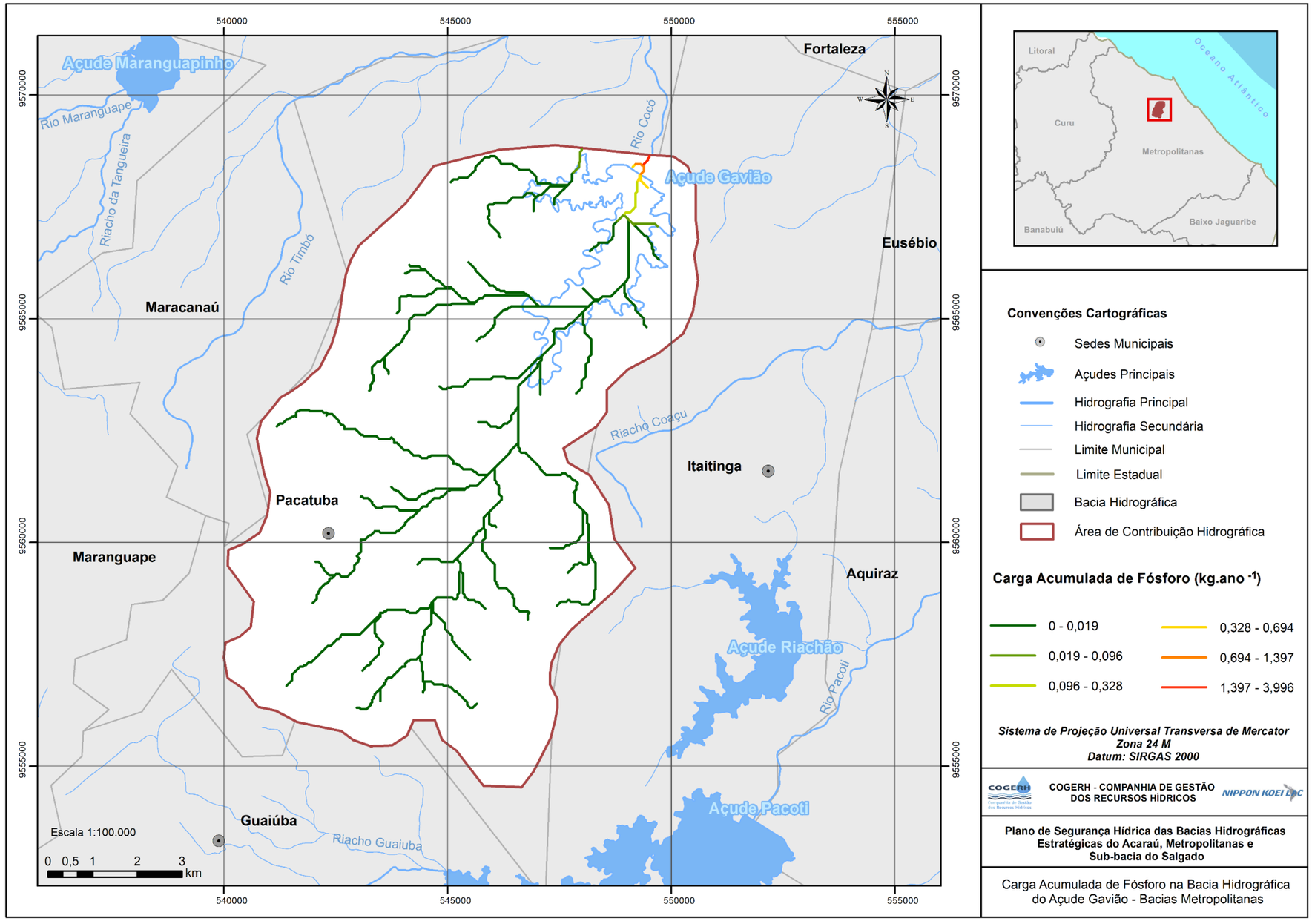
Uma observação comum a todas as bacias dos reservatórios analisados nos Inventários Ambientais de Açudes foi o registro de superestimação, até mesmo em termos médios, da concentração de fósforo identificada no lago, ou melhor, na zona do lago onde se deu a coleta. Nessas circunstâncias, o uso do modelo referenciador se mostra extremamente útil, pois fornece uma estimativa da concentração dessa substância (em termos médios anuais) compatível com a magnitude da área de drenagem e com o uso e ocupação do solo. A utilização apenas dos valores médios anuais de concentração obtidos das amostras disponíveis no banco de dados leva inexoravelmente à conclusão, em todos os casos analisados, que existem atividades sendo realizadas no próprio lago, na sua APP ou no entorno mais imediato que resultam no despejo praticamente direto de nutrientes no reservatório.

A superestimação mencionada foi constatada mediante a comparação direta entre os valores calculados pela equação empírica e os valores advindos das análises da água coletada nas campanhas realizadas pela Nippon. Da mesma forma, os valores obtidos a partir da equação empírica são bastante inferiores àqueles disponíveis no Banco de Dados fornecido pela Cogerh, mesmo em relação ao valor médio obtido dessa série temporal.

6.1.8 Apresentação dos mapas com os resultados obtidos

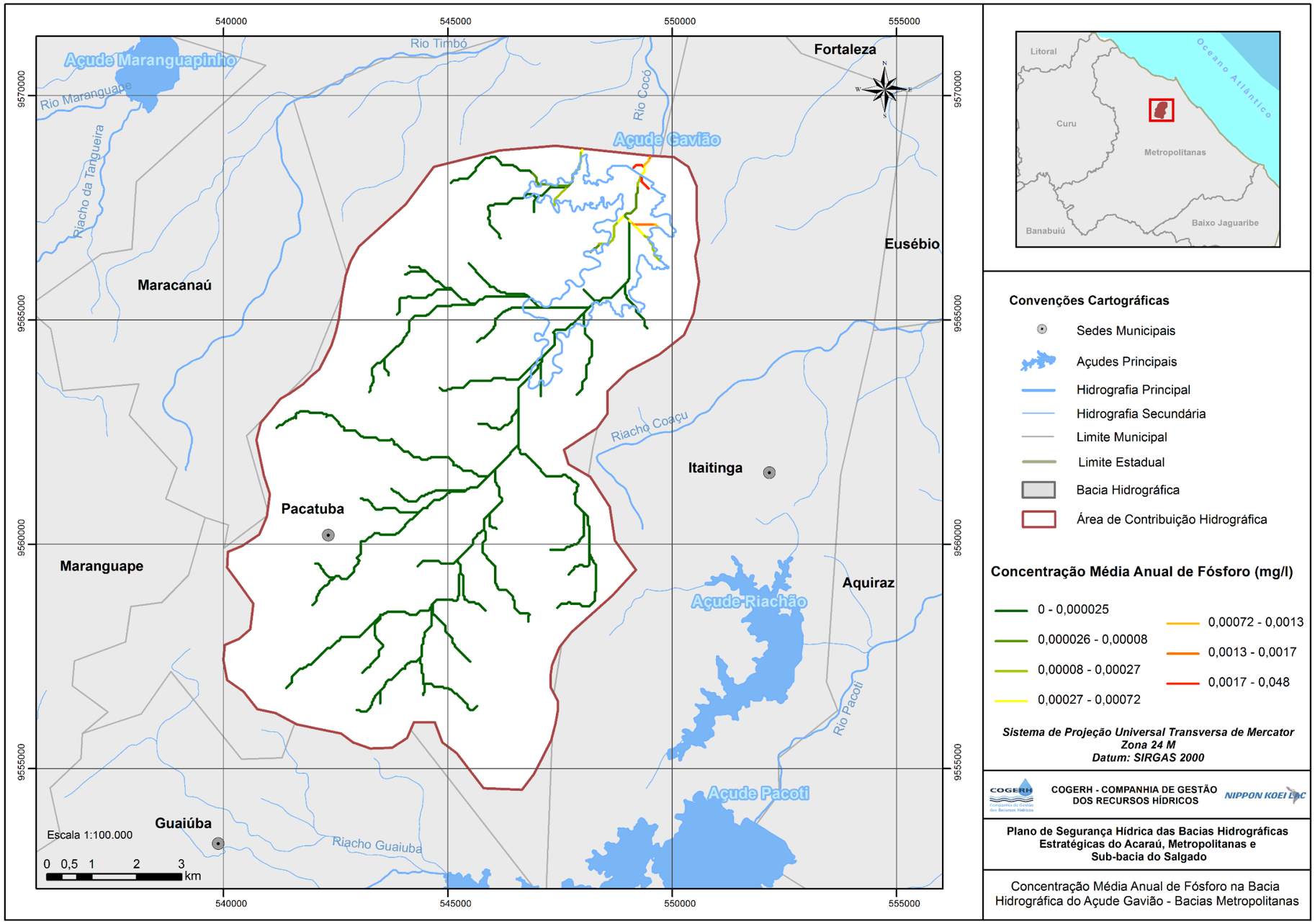
As Figuras 41 a 44 apresentam os mapas do Açude Gavião referentes a carga total de fósforo, a concentração média anual de fósforo e ao uso e ocupação do solo na sua área de contribuição hidrográfica, além da área de influência da sua bacia hidrográfica.

Figura 41 - Carga total de fósforo na área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião



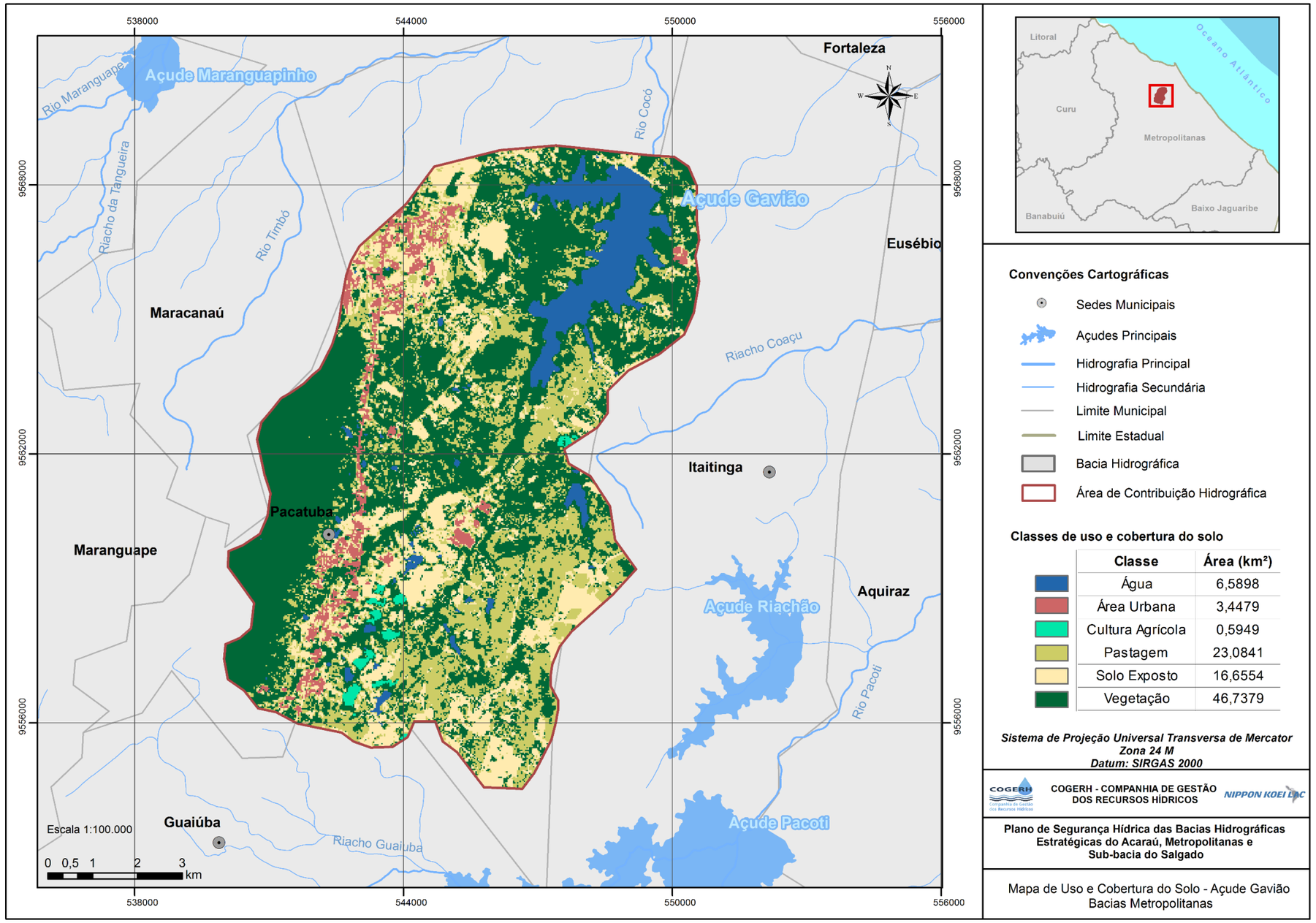
Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

Figura 42 - Concentração média anual de fósforo na área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião



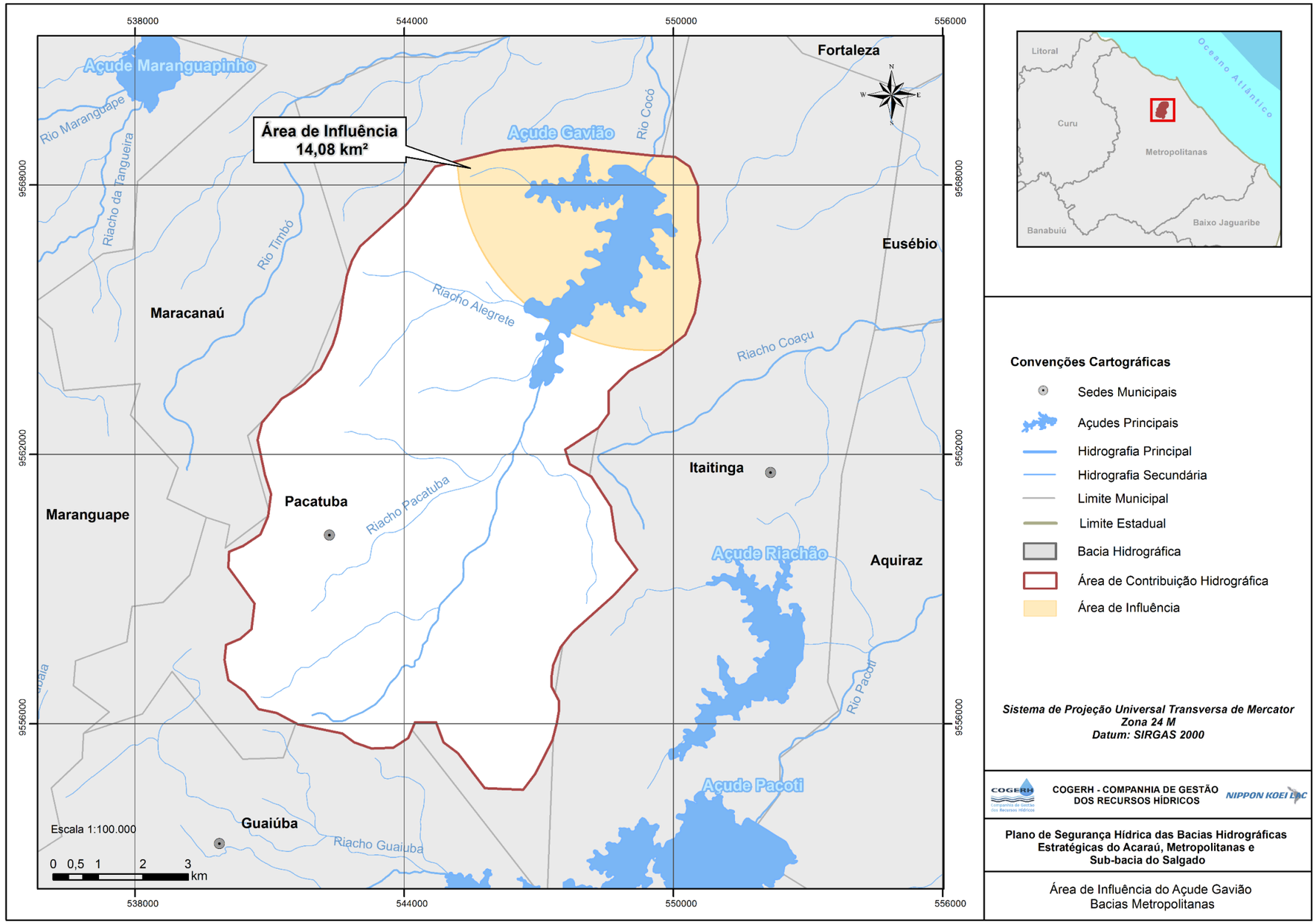
Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

Figura 43 - Mapa de uso e cobertura do solo da área de contribuição hidrográfica – Açude Gavião



Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

Figura 44 - Área de influência da bacia hidrográfica – Açude Gavião



Fonte: elaborado por Nippon Koei LAC (2017), com base cartográfica do IPECE/IBGE e COGERH

6.2. Resumo do cálculo das cargas de nutrientes

Foram estimadas as cargas de nutrientes que supostamente influenciam no processo de trofia dos corpos hídricos, partindo da identificação e do levantamento das fontes poluidoras. Vale ressaltar que esses valores de carga são resultantes de aproximações e que a pluviosidade com intensidade capaz de gerar escoamento superficial é um dos principais responsáveis pelo aporte de nutriente nos reservatórios.

A Tabela 34 mostra os percentuais das cargas brutas de fósforo subdivididas de acordo com as diversas fontes que as produzem. Em termos da modelagem matemática empregada, baseada em Sistema de Informações Geográficas, esses são os valores que se distribuem nos pixels associados a cada fonte difusa considerada, compondo o quadro inicial sobre o qual a metodologia é aplicada.

Tabela 34 - Percentual da carga bruta anual de fósforo das fontes poluidoras pontuais e difusas

Tipo	Fonte	Gavião
Poluição Difusa de Fósforo (%)	Afloramento Rochoso	0,00
	Área Urbana	0,46
	Água	0,00
	Cultura Agrícola	0,80
	Vegetação	7,13
	Pastagem	2,53
	Solo Exposto	2,21
Poluição Pontual de Fósforo (%)	Carga *per capita*	86,87
	Balneário	0,00

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

Já a Tabela 35 apresenta os valores estimados das cargas de fósforo anuais que influenciam no estado de trofia dos corpos hídricos. Ressalta-se que, nos valores apresentados das cargas de fósforo, já foram atribuídas as perdas resultantes do decaimento desse elemento, como explicado no tópico 6.1.7 Calibração do parâmetro de depuração, deste IVA e no R10 - Relatório Parcial de Enquadramento dos Reservatórios do PSH, do qual este inventário também é parte integrante. As fontes de nutrientes consideradas na referida tabela são aquelas que levam à determinação da área de influência do reservatório, com o objetivo inicial de delimitar o espaço geográfico de interesse

para fins de análise de imagens de satélite, objetivando a identificação de estabelecimentos e usos específicos do solo, procedimento gerador das informações que subsidiaram as visitas ao campo.

Tabela 35 - Carga anual de poluição pontual, difusa e acumulada de fósforo

Reservatório	Poluição pontual de fósforo (kg.ano)	Poluição difusa de fósforo (kg.ano)	Carga anual acumulada de fósforo (kg.ano)
Gavião	2,55	1,50	4,04

Fonte: Nippon Koei LAC (2016).

6.3 Cenário atual e capacidade de suporte do reservatório

A capacidade de suporte de cada reservatório foi estimada utilizando-se como base o limite do fósforo da classificação de Carlson (1977), adaptado por Toledo *et al* (1983), onde a concentração de fósforo total igual a 0,05 mg/L é o limite máximo da classe mesotrófica, aplicado na fórmula de Vollenweider (1976), modificada para climas tropicais por Salas e Martino (1991). Também foram calculadas as cargas com base nas concentrações da campanha de agosto de 2016 e na média da série histórica.

A Tabela 36 apresenta as variáveis utilizadas e as cargas de fósforo para as condições propostas. A média das concentrações de fósforo obtidas nas coletas realizadas em agosto de 2016 e da séria histórica mostram que o açude Gavião ultrapassou o limite mesotrófico da variável fósforo, pois as cargas calculadas foram maiores que a capacidade de suporte desse reservatório. Vale destacar que o limite de classificação mesotrófica para a variável fósforo serve apenas para estimar a carga suportável para o enquadramento.

Tabela 36 - Capacidade de suporte, estimativa de cargas recebidas e variáveis utilizadas

Reservatório	Tempo de residência(ano)	Volume médio (m3)	* Fósforo mg/L	** Fósforo mg/L	*** Fósforo mg/L	I Carga (kg/ano)	II Carga (kg/ano)	III Carga (kg/ano)
Gavião	0,054	30.377.194	0,05	0,054	0,090	40.696,7	43.952,4	73.023,32

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).
Nota: * limite para classe mesotrófica; ** média das concentrações em diferentes profundidades da campanha de agosto/2016; *** média das concentrações da série histórica; I capacidade de suporte para manter uma concentração em 0,05 P mg/L; II carga recebida com base nas concentrações da campanha de agosto/2016; III carga recebida com base na média das séries históricas.

7. ASPECTOS QUÍMICOS DO SEDIMENTO

7. ASPECTOS QUÍMICOS DO SEDIMENTO

As análises de fluorescência de raios X (FRX) têm sido utilizadas para a avaliação qualiquantitativa de espécies químicas em vários tipos de amostras de interesse agropecuário, agroindustrial, geológico e ambiental. A técnica, por ser instrumental e não destrutiva, e por permitir a análise de vários elementos simultaneamente, de modo rápido e com baixo custo, tem um elevado potencial de aplicação em várias áreas onde há necessidade de correlação entre os elementos essenciais e tóxicos.

As análises foram realizadas no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR) da Universidade Federal da Paraíba e se constituem em um trabalho adicional, não previsto nos Termos de Referência do Plano de Segurança Hídrica, do qual este IVA é parte integrante.

Com o intuito de fornecer mais informações sobre as características do sedimento, a Tabela 37 apresenta os valores das análises de FRX, que são espécies químicas do sedimento em porcentagem. Das espécies químicas, vale destacar os valores de iodo (I) no sedimento do açude Gavião que, apesar de ser um percentual muito baixo, é um fato anormal, e o valor do óxido sulfúrico (SO_3) ou anidrido sulfúrico que, supostamente, antes do processo de secagem do sedimento (72 horas em estufa entre 55 e 60ºC) para análise de FRX, era ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Pela não representatividade das amostras seria imprudente afirmar, mas não supor, que tais percentuais de óxido sulfúrico sejam derivados de atividades antrópicas influentes nos corpos hídricos, já que o açude Gavião recebe recargas sistemáticas provenientes do açude Castanhão, através do Eixão das Águas e a água transposta passa ainda por outros reservatórios antes de chegar ao açude Gavião, incorporando características qualitativas dos corpos hídricos integrados.

Um assunto bastante consolidado é o fato de que a matéria orgânica em excesso na água causa alterações nos seus padrões de qualidade. Seja na forma genérica de dejetos, restos de comida, rações e/ou secreções de peixes, folhas, etc., a matéria orgânica é basicamente constituída por proteínas, carboidratos, gorduras, óleos, ureia e fenóis. Os aminoácidos que formam a proteína podem conter enxofre, elemento responsável pelo aparecimento do gás sulfídrico (H_2S), nocivo e de mau odor. O H_2S ao reagir com o oxigênio produz o dióxido de enxofre (SO_2) e água. O SO_2, por sua vez, pode oxidar convertendo-se em SO_3, que pode reagir com a água e formar H_2SO_4. Sabe-se ainda que a decomposição das rochas e as chuvas são as principais fontes de enxofre para as águas naturais.

Tabela 37 - Espécies químicas dos sedimentos amostrados em porcentagem – Açude Gavião

Gavião	
Analisado	**Resultado (%)**
SiO_2	55,6902 %
Al_2O_3	18,1309 %
Fe_2O_3	16,1235 %
CaO	2,2354 %
SO_3	**1,9086 %**
MgO	1,5475 %
K_2O	1,3833 %
TiO_2	1,1006 %
MnO	0,6118 %
Na_2O	0,4239 %
P_2O_5	0,3513 %
Cl	0,1834 %
BaO	0,0833 %
ZrO_2	0,0403 %
Cr_2O_3	0,0402 %
SrO	0,0238 %
ZnO	0,0230 %
I	**0,0219 %**
NiO	0,0216 %
Br	0,0161 %
CuO	0,0157 %
Rb_2O	0,0150 %
Y_2O_3	0,0087 %

Fonte: adaptado de dados de florescência realizados no LSR.
Nota: os valores comentados estão em destaque

8. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

8. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

O açude Gavião possui capacidade máxima de armazenamento de 33,30 hm^3. Todavia, na data da campanha de coleta das amostras de água, esse reservatório se encontrava com 80,44% de sua capacidade. Ressalta-se que o açude Gavião recebe aporte hídrico proveniente de outros reservatórios e que a qualidade das suas águas podem ser influenciadas também por eventuais impactos negativos nos demais reservatórios.

Quanto ao estado trófico, as águas do açude Gavião foram classificadas como eutróficas e o IQAR a enquadrou na classe IV. Sendo assim, há fortes indicativos de ações antrópicas envolvidas nas problemáticas relativas à qualidade da água desse reservatório.

Como já reportado, comunidades carentes situadas no seu entorno lançam efluentes domésticos sem tratamento diretamente no lago. As perspectivas não se mostram favoráveis, uma vez que foi observada expansão da área residencial também na área de entorno da bacia hidráulica do manancial, o que pode agravar ainda mais os impactos negativos já observados.

A zona urbana do município de Pacatuba está situada na bacia hidrográfica do açude Gavião, o que aumenta a possibilidade de geração de impactos ambientais negativos que repercutem na qualidade das águas do manancial, dado que 37,7% da cidade não possui sistema de esgotamento sanitário. Identifica-se aqui uma situação comum e recorrente em todo o país, mas agravada nas regiões onde os rios são intermitentes. Assim, nos meses com baixos índices de chuva, os efluentes podem se concentrar nos leitos para, em meses de índices pluviométricos elevados, serem incorporados ao fluxo, depositando-se no reservatório mais próximo. No caso em tela, os efluentes oriundos da zona urbana citada podem chegar ao reservatório, conferindo materialidade explicativa aos resultados das análises da qualidade das águas do reservatório.

Quanto às análises da água e do sedimento, realizadas pelo Laboratório da *Mérieux NutriSciences*, dentre os elementos químicos pesquisados não foram identificadas desconformidades na água, mas no sedimento o valor de cromo, de níquel e de cobre foram maiores que o limite estabelecido na Resolução Conama n.º 454/2012, para Nível 1.

No que se refere à utilização das águas do reservatório para irrigação, a classificação referente à salinização e sodificação enquadra as águas Gavião nas classes C2 e S1,

respectivamente, o que representa um risco baixo ou moderado de salinização e nenhum risco de sodificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADECE. Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A., **Secretaria do Desenvolvimento Econômico.** 2015.< http://www.adece.ce.gov.br/index.php/recursos-hidricos/eixao-das-aguas > Acesso em: dezembro de 2016.

ALENCAR, M. B. *et al.* **Esquistossomose mansônica: uma análise de indicadores epidemiológicos no estado de Alagoas entre os anos de 2013 e 2015.** Diversitas Journal. 1 (3): 266-274. 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Estudo Para Refinamento do Balanço Hídrico e Definição de Diretrizes, Metodologias e Ferramenta para Subsidiar o Estabelecimento de Regras Operativas para 204 Reservatórios Localizados na Região Semiárida, Contemplando Estimativas de Oferta Hídrica e Demandas Associadas, Criação de Base de Dados e Aplicação de Ferramenta de Suporte e Decisão**, Relatório Parcial RP03B - Estudos Pluviométricos e Evaporimétricos - Brasília: ANA/SPR 208p, 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas**. Indicadores de qualidade - Índice do Estado Trófico (IET)**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 03 de março de 2017.

ARCE. Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará, **Relatório de Fiscalização RF/CSB/0037/2014 – SAA do Município de Pacatuba (Sede)**. Fortaleza, 2014c.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A **Qualidade da água na agricultura**. Estudos: irrigação e drenagem 29 revisado 1. 2 Ed. UFPB, Campina Grande, 1999, 153p.

BERNARDO, S. *et al*. Qualidade da água para irrigação e salinização do solo. *In*:. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed, UFV, 2013. 99-118.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Doença Diarreica Aguda (DDA)**. 2014. < http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/o-ministerio/principal/secretarias/svs/doenca-diarreica-aguda-dda> Acesso em: dezembro de 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **SIAB. Sistema de Informação de Atenção Básica**. 2015. <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?siab/cnv/siabcCE.def> Acesso em: janeiro de 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde: **Fundação Nacional de Saúde. Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano**. Brasília: 2003.

CAGECE. Companhia de Água e Esgoto do Ceará, **Informações sobre Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário dos Municípios das Bacias dos Açudes Aracoiaba, Catucizenta, Gavião, Malcozinhado e Maranguapinho.** Fortaleza, 2017a.

CARLSON, R. E.. **A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 261-269, 1977.

CEARÁ. **Portal Hidrológico**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/acude/nivel-diario#8>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2017.

CECCHI, G.; MUNAFÒ, M.; BAIOCCO, F.; ANDREANI, P.; MANCINI, L. **Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point pollution index**. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, v. 43, n. 3, p. 295-301. 2007.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem**. São Paulo, 2009.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Atlas eletrônico dos recursos hídricos.** 2016b. < http://atlas.srh.ce.gov.br/>. Acesso em: dezembro de 2016.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Base Cartográfica**. 2016a. Acesso em: julho de 2016.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**, 2000.

COGERH. **Sistema de informações do plano de manutenção e operação da Cogerh**: dados de qualidade de água. Acesso em: 03 de dezembro de 2016.

CORDEIRO, R. I. P**. Deteção do potencial cianotóxico em águas superficiais do Arquipélago dos Açores através de métodos moleculares**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Biomédicas) – Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal, 2015.

CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará.** Org.: Fernando Feitosa. Fortaleza, 1998.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2006.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 602 p.

FERREIRA, A. C. S.; PÁDUA, V. L. **Persistente floração da cianobastéria *Plaktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek no açude Gavião**, Pacatuba/CE, e suas implicações para o abastecimento da cidade de Fortaleza. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANOITÁRIA E AMBIENTAL, XI. 2004, Natal. **Anais**... Natal: ABES, APRH, APESB 2004. Ref. I-012. CD-ROM.

FERREIRA, A. C. S.; PÁDUA, V. L.; MOTA FILHO, C. R. **Relação entre turbidez e contagem do fitoplâncton na avaliação da qualidade da água para consumo humano**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22. 2003, Joinville. **Anais**... Joinville: ABES, 2003. Ref. I-067. CD-ROM.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia, **Base de Dados Vetoriais**. Acesso em: julho de 2016.

GONÇALVES, N. V. et al. **Distribuição espaço-temporal da leptospirose e fatores de risco em Belém, Pará, Brasil.** Revista Ciência & Saúde Coletiva. 21 (12): 3947-3955, 2016.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Curitiba, 2004. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/rel_monit_qual_aguas_reserv _9904%281%29.pdf>. Acesso em: 01 set. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Base de Dados Demográficos**. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Base de Dados Geográficos**.2015a. Acesso em: agosto de 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Cidades. Pecuária 2015**. 2015c.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Cidades. Produção Agrícola Municipal 2015**. 2015d.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Ensino, matrículas, docentes e rede escolar 2015.** 2015b.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, **Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) - Ceará 2012**, 2012.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, **Perfil Básico Municipal, 2016**;

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, **Perfil Geossocioeconômico: Um olhar para as Macrorregiões de Planejamento do Estado do Ceará,** 2014.

JUNIOR, I. M. V. PAULINO, J. F. AFONSO, J. C.; **Rota Hidrometalúrgica de Recuperação de Molibidênio, Cobalto, Níquel e Alumínio de Catalisadores Gastos de Hidrotratamento em Meio Ácido,** Quim. Nova, Vol. 31, 2008.

LARENTIS, D. G. **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas - RS**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 159 p., 2004.

MAIA, P. D. **Estudo Geoquímico de Metais em Sedimentos de Lago Paranoá – DF**. Dissertação de Mestrado em Geociências – Instituto de geociências/ UnB, 2003.

PAULINO, W. REIS A. O. R.; FREIRE. A.F. **Classificação do Estado Trófico para Gerenciamento de Reservatórios no Semiárido: A Experiência da COGERH no Estado do Ceará**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais. s.d., 2013, 8p.

PEDROSO, M.F. LIMA, I.V. **Ecotoxicologia do Cobre e Seus Compostos**. Caderno de Referencial Ambiental, V. 2 Centro de Recursos Ambientais (BA), 127 p, 2001.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Ipea ‑ Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e FJP ‑ Fundação João Pinheiro, **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil** <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>. Acesso em: janeiro de 2017;

PRUSKI, F. F.*et al*. **Estudo da Vazão em Cursos d`Água. Viçosa: Engenharia na Agricultura**. Caderno didático:43. Associação de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 151 p. 2006.

QUEIROZ, J. T. M.; HELLER, L.; SILVA, S. R. A**nálise da correlação de ocorrência da doença diarreica aguda com a qualidade da água para consumo humano no município de Vitória-ES** . Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 479-489, ISSN 1984-0470. 2009

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington D.C.: US. Salinity Laboratory, 1954, 160p.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. **Tratamento de água:** tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 332 p.

SALAS, H. J.; MARTINO, P. **A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes**. Water Research, v. 25, n. 3, p. 1341 – 350, 1991.

SRH. Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará <** http://atlas.srh.ce.gov.br/ > Acesso em: dezembro de 2016.

SESA. Secretaria de Saúde do Estado do Ceará. **Boletim Epidemiológico – Esquistossomose. 08 de setembro de 2016.** 2016b. < http://www.saude.ce.gov.br/index.php/boletins> Acesso em: janeiro de 2017.

SESA. Secretaria de Saúde do Estado do Ceará. **Doenças de Notificação Compulsória – Notificação referente a semana epidemiológica 52/2016.** 2016a. < http://www.saude.ce.gov.br/index.php/doencas-de-notificacao-compulsoria> Acesso em: janeiro de 2017.

SILVA C.R. *et al*. **Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente**. Rio de Janeiro, CPRM, p6-14, 2006.

SMA. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings**. Relatório Final. Processo N° 7097/2007, Contrato SMA/CPLEA N° 09/2007, São Paulo. 2010.

SNSA. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS** < http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: janeiro de 2017.

TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. (1983). **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. In Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Camboriú. SC. 1983. pp. 1-34. 1983.

TRINDADE, W. M. et. al. **Concentrações de Metais Pesados em Sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora - MG: Geoquímica e Classificação de Risco Ambiental**. < http://www.igc.ufmg.br/geonomos/pdfs/20121/08_trindade_et_al.pdf l>. Acesso em: setembro de 2016.

UFC. Universidade Federal do Ceará. **Estudos Técnicos e Projetos para Requalificação das Ações de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará**, 2013. 26 p.

VIEIRA V. P.P.B., **Desafios da Gestão integrada dos Recursos Hídricos do Semi-árido.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 8 n.2, 7 -17, 2003.

VOLLENWEIDER, R. A. **Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication.** Mem. Inst. Ital. Idrobiol. Btt. Marco Marchi, 33, 53-83, 1976.

WHO. **Word Health Organization, Copper. Genova: (Environmental Health Criteria 200)**. 1998.

ANEXOS

ANEXOS

FORMULÁRIO DE CAMPO - AÇUDE GAVIÃO

QUADRO 1 - REGISTROS FOTOGRÁFICOS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO AÇUDE GAVIÃO

1 - IDENTIFICAÇÃO

1.1 - RESERVATÓRIO

Nome: Gavião	**Bacia Hidrográfica:** Metropolitanas	**Ano de Construção:** 1973
Coordenadas: Latitude [9.568.234 N] Longitude [549.266 E]	**Município:** Pacatuba	**Localidade/Distrito**: Pacatuba

1.2 - TÉCNICO COGERH

Técnico Responsável:

1.3 - INSTITUIÇÕES VISITADAS

INSTITUIÇÃO/LOCALIDADE *	TÉCNICO CONTACTADO	INFORMAÇÕES ADICIONAIS (Cargo/ Fone/E-mail/ Endereço)	N.º
CAGECE			
Prefeitura de Pacatuba	Geanny Lima Cavalcanti	Funcionária Pública	
Sec. do Meio ambiente de Itaitinga	Paulo Afonso Cavalcanti	Secretário	
Pacatuba/Comum. Pedras	Genivaldo de Souza	Morador	1
Pacatuba/São Luís	Lucielli Dias/Ricardo Alves	Morador	1
Pacatuba/Nova Pavuna	Não se identificou	Morador	1
Pacatuba/Comum. Caracanga	Esteves Justino de Oliveira	Morador	1
Itaitinga/Gererau	Gustavo Barros	Morador	1

2 - USOS

2.1 - USOS DA ÁGUA

FORMAS DE USOS	LOCALIZAÇÃO		N.º
	ENTORNO	JUSANTE	
Dessedentação Animal	(X)	( )	2
Usos Domésticos Locais	( )	( )	
Recreação de Contato Primário*	(X)	( )	3
Recreação de Contato Secundário**	(X)	( )	3
Usos Públicos (Empresas Concessionárias)	(X)	( )	
Irrigação	( )	( )	
Pesca Artesanal	(X)	( )	3

Piscicultura Intensiva (criação em gaiolas)***	( )	( )	
Piscicultura Intensiva (criação em viveiros)***	( )	( )	
Indústria	( )	(X)	
Outros (descrever):	( )	( )	
	( )	( )	
	( )	( )	

* natação e esqui aquático; ** - pesca e navegação; *** - emprego de ração, aeração, etc;

2.2 - CONSUMO HUMANO

Localidade (Município/ Distrito)	Empresa Concession.	Pop. Atendida*		Tratamento Convencional**				N	S	Localização		N.º
		Atual	Potencial	Floc	Dec.	Fil	Des			Mont.	Ent.	
Pacatuba	CAGECE	13.596	15.922		X	X	X			(x)	( )	4
Itaitinga	CAGECE	35.546		X	X	X	X			(x)	( )	
Maranguape	CAGECE	71.863		X	X	X	X			(x)	( )	5
Fortaleza	CAGECE	2.184.943		X	X	X	X			( )	(x)	5
Maracanaú	CAGECE	147.551		X	X	X	X			( )	(x)	5
Caucaia	CAGECE	240.953		X	X	X	X			( )	(x)	5
Eusébio	CAGECE	35.342		X	X	X	X			( )	(x)	5
										( )	( )	
										( )	( )	

* - diz respeito à população atendida pelas ligações existentes;

** - Floc.: floculação; Dec.: decantação; Fil: filtração; Des: desinfecção; N: não convencional; S: sem tratamento.

3 - FATORES CONDICIONANTES DA QUALIDADE DA ÁGUA

FONTES DE POLUIÇÃO EXISTENTES

FONTES DE POLUIÇÃO	LOCALIZAÇÃO		N.º
	MONTANTE	ENTORNO	
Esgoto Doméstico	(X)	( )	6
Esgoto Hospitalar	( )	( )	
Esgoto Industrial	( )	( )	
Lavagem de Roupa	( )	( )	
Lavagem de Carro	(X)	( )	7
Balneário	(X)	( )	7

Banho	( )	( )	
Uso de Agrotóxicos (defensivos)	( )	( )	
Uso de Fertilizantes (adubos)	( )	( )	
Aterro Sanitário	( )	( )	
Lixão	( )	( )	
Matadouro	( )	( )	
Cemitério	(X)	( )	8
Confinamento de Animais (currais)	( )	( )	
Animais Soltos	(X)	(X)	9
Efluentes ETA	( )	( )	
Efluentes ETE	( )	( )	
Indústria Alimentícia	( )	( )	
Indústria Couro e Curtume	( )	( )	
Indústria Têxtil	(X)	( )	
Olarias	( )	( )	
Disposição indevida de resíduos sólidos	(X)	( )	10

Obs: Montante = excluindo a bacia hidráulica e entorno; Entorno=diretamente ou nas adjacências da bacia hidráulica.

3.1 - FONTES DE POLUIÇÃO PONTUAL

3.1.1 - PSICULTURA INTENSIVA

Área Ocupada (ha)*	**Produção de Peixe (Kg/ano)***	**Ração Utilizada**		**Concentração de Fósforo na Ração (%)**	**Conversão Alimentar ****	**N.º**
		Quant. (Kg/ano)*	**Marca**			
Espécies:				**(x) Pesca Artesanal**		11
				- N.º de pescadores cadastrados: [-]		

* - Se a unidade não for (ha) ou (Kg) indicar a unidade;
** - quantidade de ração para produzir 1 Kg de peixe.

3.1.2 - PRODUÇÃO DE ÁGUAS SERVIDAS

Localidade (Município/ Distrito)	Empresa Concess.	Tipo Tratamento*							População Atendida**		Localização		N.º
		F	DS	TL	CO	N			Atual	Potencial	Mont.	Ent.	
						FS	R	C					
Pacatuba	CAGECE				X	X	X	X	6.616	15.922	(X)	( )	12
Pacatuba/ Com. S. Luís								X			(X)	( )	
Pacatuba/ Nova Pavuna								X			(X)	( )	
Itaitinga	CAGECE					X		X	708		(X)	( )	13

* - F: Filtro; DS: Decantação Simples; TL: Tratamento do Lodo; CO: Completo; N: Nenhuma (FS: fossa séptica, RU: fossa rudimentar e CA: céu aberto).
** - Diz respeito às ligações existentes

3.1.3 - RESÍDUOS SÓLIDOS

Localidade (Município/ Distrito)	N.º pessoas atendidas pela coleta	Destino Final					Localização		N.º
		Aterro Sanitário	Sem Local	Lixão	Enterrado	Queimado	Mont.	Ent.	
Pacatuba	17.195	(X)	( )	( )	( )	( )	( )	(X)	14
		( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	
		( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	

3.1.4 - OUTRAS FONTES NA BACIA HIDRÁULICA

Balneário/Proprietário	Lavagem		Frequência Semanal (Quantidade de Pessoas)		Localização*		N.º
	Roupa	Carro	Durante	Final	ME	MD	
Balneário das Andreas/Prefeitura	( )	( )			( )	( )	15
Apoena Ecopark	( )	( )			( )	( )	15
	( )	( )			( )	( )	

*- ME: margem esquerda e MD: margem direita.

3.2 - FONTES DE POLUIÇÃO DIFUSA

3.2.1 - AGRICULTURA

Cultura *	Área Plantada (ha)	Adubação**						Defensivos**						Irrigação***				Localização		N.º
		Distrib.		Intensidade				Distrib.		Intensidade				Tipo de				Mont.	Ent.	
		U	D	A	M	B	N	U	D	A	M	B	N	G	M	A	S			
Fruticultura	40	X			X			X			X			X		X		(X)	(X)	16
																		( )	( )	
																		( )	( )	
																		( )	( )	
																		( )	( )	
																		( )	( )	
																		( )	( )	
																		( )	( )	
Culturas: Mamoeiro; Coqueiro; Maracujazeiro																				

* - é permitido informar a quantidade global sem discriminação da cultura ou apenas a relação de culturas sem distinguir a área ocupada por cada;
** - U: Uniforme; D: desuniforme; ** - A: alta; M: média; B: baixa; N:nenhuma.
*** - G: gotejamento; MA:microaspersão; A:aspersão; S: sulcos.

3.2.2 - PECUÁRIA

Localidade (Município/ Distrito)	Rebanho (N.º de Cabeças)								Localização		N.º
	Bovino	Suíno	Caprino	Ovino	Galináceos	Bubalino	Equino	Codorna	Mont.	Ent.	
Pacatuba	3101	5509	399	745	45500	-	132	-	(X)	(X)	
Itaitinga	2397	3051	1721	1769	92385	-	331	-	(X)	( )	

3.2.3- DEGRADAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA

Localidade (Município/Distrito)	Intensidade*				Localização		N.º
	A	M	B	N	Mont.	Ent.	
Itaitinga			X		(X)	( )	
Pacatuba		X			(X)	( )	
					( )	( )	

* - A: alta; M:média; B: baixa; N: nenhuma ** - U: uniforme; D: desuniforme; L :local.

3.3 - COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

3.3.1 INDICADORES DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DO AÇUDE

a) Sangra com frequência?	(X) SIM	( ) NÃO
b) Ano da última sangria?	[2015]	
c) Quantas vezes sangrou nos últimos 10 anos?	[6]	
d) Durante quantas vezes esteve no volume morto nos últimos 10 anos?	[0]	
e) Estado atual do volume armazenado:		
Cota atual: 35,34 m (X) Cheio ( ) Médio ( )Vazio		
f) Predominância do volume armazenado ao longo dos últimos anos: (X) Cheio ( ) Médio ( ) Vazio		

3.3.2 IDENTIFICAÇÃO DE AÇUDES A MONTANTE

a) Quantidade de açudes a montante? [1]			
b) Existem problemas com eutrofização?	( ) SIM	( ) NÃO	Não se sabe
c) Frequência de ocorrência?	( ) Frequente	( ) Raramente	( )Nunca
d) Número de açudes atingidos? [ ]	-Localidades:		**N.º** 17

3.4 - DESMATAMENTO NA BACIA HIDRÁULICA

a) Intensidade de remoção da vegetação:	( ) Remoção Total	(X) Remoção Parcial	( ) Nenhuma	**N.º**
b) Relativo ao nível da água:		( ) Uniforme	( ) Variável com a cota	18

4 - CENÁRIO ATUAL

4.1 - MACRÓFITAS AQUÁTICAS

a) Identificação de Macrófitas (Registro Fotográfico)		
N.º das fotos: 26 e 28		
b) Presença ao longo de toda a margem?	(X) SIM	( ) NÃO
c) Que percentual ocupam no espelho d'água? (< 10%)		
d) Predominância em qual estação?	(X) Durante estação seca	( ) Tão logo inicia a estação chuvosa
e) Espécies de macrófitas predominantes? Taboa (espécie do gênero *Typha*) e aguapé (espécie do gênero *Eichhornia*)		

4.2 - QUALIDADE DA ÁGUA

a) Qualidade aparente da água (Registro Fotográfico):	b) Foi coletada amostra de água
N.º das fotos: 21	(X) SIM ( ) NÃO

c) Presença na amostra de: ( ) Cheiro (X) Cor ( )Partículas em Suspensão ( ) Turbidez Acentuada			
d) Estes parâmetros variam ao longo do ano?		(X)SIM	( ) NÃO
e) Eventos de 'esverdeamento' da água: ( ) Frequente (X) Raramente ( ) Nunca Quando: ( ) Durante estação chuvosa ( ) Durante estação seca			
f) Transparência: 0,7 m	g) Velocidade Vento: 4,9 m/s	h) Arquivo Perfilagem:	**N.º**

4.3 - MORTANDADE DE PEIXES

a) Quando foi a última ocorrência e que espécies morreram?				
b) Em que período do ano?				
c) Frequência das mortes:			( ) Anual	( ) Esporádica
d) Após qual evento?	( ) Chuvas Isoladas	( )Ventos Fortes	( ) Outros (definir)	**N.º**

4.4 - DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA

a) Tipos: ( ) Cólera ( ) Febre Tifóide ( ) Hepatite Infecciosa A e B ( ) Amebíase ( ) Giardíase (X) Gastroenterites ou "infecção estomacal intestinal" (X) Verminoses ( ) Doenças de Pele
b) Quando foi a última ocorrência e em que período do ano? 2016

4.5 - TRATAMENTO EXISTENTE DADO A ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO

Descrição do Tratamento*				**Intesidade****			**Evolução*****			**Pior Período**		**N.º**
SD	**S**	**CV**	**AV**	**A**	**M**	**B**	**A**	**D**	**C**	**Estação Chuvosa**	**Estação Seca**	
Parâmetros Problemáticos: ( ) Turbidez ( ) Cor ( ) Cheiro ( ) pH ( ) Coliformes												
Fonte de Informação:												

*- SD - simples desinfecção; S- simplificada; CV- convencional; AV- avançada;

**- A - alta; M -Média; B- baixa;
***-Nos últimos anos: A - aumentou; D- decresceu; C - permaneceu constante.

2 - OBSERVAÇÕES E INFORMAÇÕES ADICIONAIS

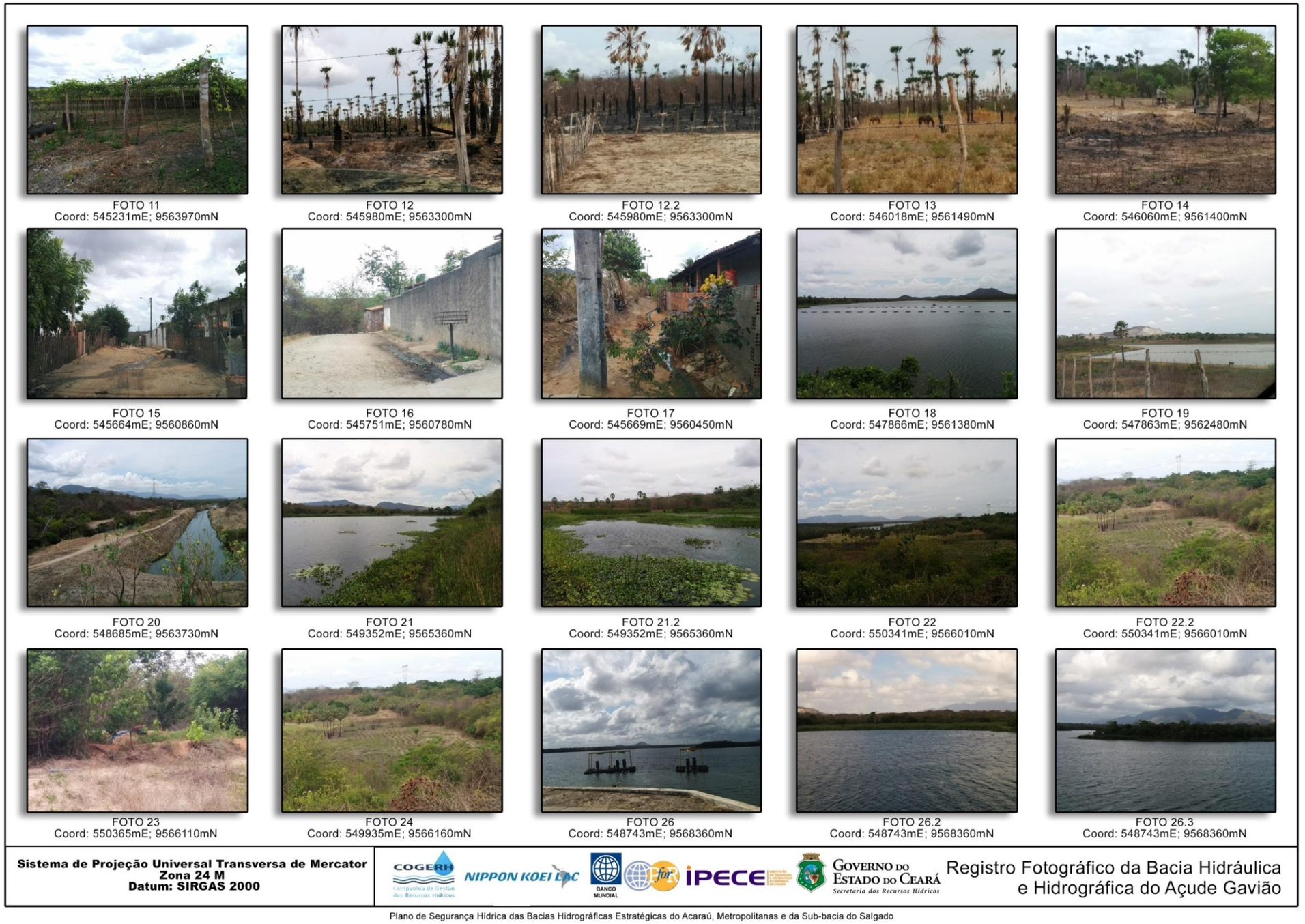
N.º	Descrição
1	As informações levantadas com os moradores foram referentes as condições de saneamento das áreas situadas nas proximidades do açude Gavião, a existência de disposição indevida de resíduos sólidos, irrigações clandestinas, usos indevidos do reservatório, da APP e do entorno do reservatório.
2	O uso para dessedentação animal pôde ser registrado várias vezes no entorno do reservatório. Moradores das proximidades, além de confirmar o constante acontecimento, relataram que os animais tem fácil acesso às margens do açude.
3	Não foram registrados fotograficamente nenhum dos usos. Entretanto moradores das proximidades afirmaram que diariamente pessoas tomam banho e pescam no reservatório.
4	População atendida com água tratada em Dezembro de 2016 (CAGECE, 2017a)
5	População atendida em 2015 (SNIS, 2017)
6	Foram registrados efluentes domésticos a céu aberto em vários pontos das comunidades Pavuna e São Luís, localizadas no município de Pacatuba.
7	Foram identificados balneários e locais para lavagem de veículos, mas não estavam em funcionamento.
8	Dos dois cemitérios identificados a montante, um deles estava em ampliação e tinha covas revestidas de concreto armado, com o intuito de impermeabilização; o engenheiro responsável não estava na obra, para prestar mais informações técnicas.
9	Predominantemente bovinos, facilmente foram identificadas mais de 30 cabeças de gado no entorno e em área de APP.
10	Focos de resíduos domiciliares e resíduos de abatedores de aves.
11	Não foram visualizadas atividades de pesca. No entanto, moradores das proximidades afirmaram que diariamente pessoas pescam no reservatório.
12	População atendida e potencial em Dezembro de 2016 (CAGECE, 2017a)
13	População atendida com esgotamento sanitário em 2015 (SNIS, 2017)
14	População Urbana (Censo 2010, IBGE) x Taxa de Cobertura da População Urbana em 2015 (SNIS, 2017)
15	Os balneários identificados não estão localizados às margens do reservatório. No entanto, localizam-se na bacia hidrográfica, a montante da barragem, e apresentam potencial impacto poluidor.
16	90% da área agrícola e irrigada no entorno é da fazenda do Sr. Gerardo Paiva Câmara Junior, não tendo sido concedido acesso a área. Entretanto, o Secretário de Meio Ambiente de Itaitinga, Sr. Paulo Afonso Cavalcanti, informou que são irrigados por aspersão, aproximadamente, 35 hectares de mamão, e que até agosto de 2015 a outorga tinha como fonte de captação de água o açude Gavião, mas que atualmente a outorga tem a Lagoa do Carapió como fonte de água.
17	Prática de piscicultura no Açude Novaes com, aproximadamente 50 gaiolas, mas com expectativa de aumentar para 100 gaiolas. Segundo relatos de moradores, o reservatório verte todos os anos.
18	A vegetação do entorno do açude Gavião é relativamente bem conservada, pois na maior parte do perímetro da bacia hidráulica a vegetação é bastante densa, impossibilitando o acesso as margens. Entretanto, foi identificada interferência humana na vegetação, e moradores relataram que existem diversos acessos clandestinos até as margens. Foram visualizados bovinos pastando na sua APP.

Quadro 1 - Registro fotográfico da área de influência da bacia hidrográfica do açude Gavião referente aos pontos identificados na Figura 11

Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-bacia do Salgado

Continuação do Quadro 1 na próxima página.

Continuação do Quadro 1.



Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-bacia do Salgado

Continuação do Quadro 1 na próxima página.

Continuação do Quadro 1.

FOTO 27
Coord: 548424mE; 9568590mN

FOTO 28
Coord: 547351mE; 9568050mN

FOTO 29
Coord: 547322mE; 9568090mN

FOTO 30
Coord: 547280mE; 9568400mN

FOTO 30.2
Coord: 547280mE; 9568400mN

FOTO 31
Coord: 545074mE; 9568460mN

Descrição

Foto1: Ponto dentro da área de influência, identificação de supressão vegetal, animais de pastagem, extração de areia/barro, aceso fácil para o reservatório.
Foto2: Ponto dentro da área de influência, identificação de supressão vegetal, animais de pastagem, extração de areia/barro, aceso fácil para o reservatório.
Foto3: Ponto no entorno de área com características de vereda (dentro da área de influência), vegetação bastante degradada e presença de animais de pastagem.
Foto4: Ponto dentro da área de influência, identificação de supressão vegetal, animais de pastagem, extração de areia/barro, aceso fácil para o reservatório.
Foto5: Lançamento de efluente doméstico a céu aberto.
Foto6: Lançamento em rede de distribuição de água
Foto7: Despejo de efluente, tubulação de ETE. Galeria pluvial ao lado.
Foto8: Disposição indevida de resíduos, resto de abatedouro de ave e camas de galinhas. Presença de urubus sobrevoando e mal cheiro.
Foto9: Indícios de interferência humana em APP, presença de animais de pastagem (uso indevido da área), fácil acesso.
Foto10: Pequena irrigação de sorgo (0,3 hectares).
Foto11: Pequena irrigação de maracujá (0,1 hectares).
Foto12: Focos de queimada.
Foto13: Focos de queimada, animais de pastagem
Foto14: Focos de queimadas, curso d'água sem APP.
Foto15: Pontos de lançamento de efluente doméstico (águas cinzas)
Foto16: Pontos de lançamento de efluente doméstico (águas cinzas)
Foto17: Pontos de lançamento de efluente doméstico (águas cinzas)
Foto18: Açude Novaes, prática de piscicultura. Perspectiva de 100 gaiolas. Reservatório verte para o Gavião.
Foto19: Irrigação de mamão, aproximadamente 35 hectares. o Secretário de Meio Ambiente de Itaitinga, informou que até agosto de 2015 tinha outorga para o Açude Gavião e atualmente tem outorga para Lagoa Do Carapio.
Foto20: Canal de transposição Do Pacajus.
Foto21: Uma das extremidades/braços Do gavião. Água com aparência melhor. Diversidade de macrófitas.
Foto22: Visão de área agricultada no entorno
Foto23: Poço
Foto24: Área com características de área de pousio, suposta área agricultada, com conflito com APP.
Foto26: Ponto de captação para Porto de Pecém. Deste ponto, nas margens próximas a captação, notou-se uma-densidade acentuada de macrófitas. Nas margens opostas além da presença de macrófitas, é clara a conservação da área de APP (vegetação basta
Foto27: Elevatória de água bruta (estação de bombeamento).
Foto28: Captação(B - Gavião).Adutora Gavião – Acarape, parte p/ distrito industrial. Deste ponto, nas margens, também foi identificado macrófitas com certa densidade, numa visão periférica, se consegue verificar vegetação nativa bastante densa nas
Foto29: Captação(B - Gavião).
Foto30: Imóvel com grande área de lazer. O acesso não foi permitido.
Foto31: Condomínio horizontal de grande porte, parte locada dentro da área de influência. Sem rede de esgoto.

Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator
Zona 24 M
Datum: SIRGAS 2000

COGERH Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos · NIPPON KOEI LAC · BANCO MUNDIAL · IPECE · Governo do Estado do Ceará – Secretaria dos Recursos Hídricos

Registro Fotográfico da Bacia Hidráulica e Hidrográfica do Açude Gavião

Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-bacia do Salgado

Fonte: Nippon Koei Lac (2016)