

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL**

TICIANA FONTOURA VIDAL

**BALANÇO DE MACRONUTRIENTES NO AÇUDE GAVIÃO/CE – UMA NOVA
ABORDAGEM**

FORTALEZA – CE

2011

TICIANA FONTOURA VIDAL

**BALANÇO DE MACRONUTRIENTES NO AÇUDE GAVIÃO/CE – UMA NOVA
ABORDAGEM**

Dissertação submetida à coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, Área de Concentração: Saneamento Ambiental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Capelo Neto

FORTALEZA

2011

TICIANA FONTOURA VIDAL

**BALANÇO DE MACRONUTRIENTES NO AÇUDE GAVIÃO/CE – UMA NOVA
ABORDAGEM**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Capelo Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho
Universidade Federal do Ceará – UFC

Dra. Cláudia Elizângela Tolentino Caixeta
Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE

Resumo

A área de estudo, o açude Gavião, encontra-se posicionada na região nordeste do Estado do Ceará, está inserido no município de Pacatuba e localizado a montante da Estação de Tratamento de Água – ETA, responsável pelo abastecimento de água potável da Região Metropolitana de Fortaleza. Os reservatórios do Estado do Ceará, especificamente os localizados nos domínios das bacias metropolitanas, como é o caso do açude Gavião, são alvos de impactos resultantes de diversas atividades antrópicas desenvolvidas ao longo de suas bacias hidrográficas. Águas eutrofizadas proporcionam maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento, principalmente, devido à presença excessiva de algas. Este crescente aumento de algas nas águas são resultantes de lançamentos contínuos de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que modificam as características dos corpos d'água, bem como sua qualidade. Uma ferramenta importante para a definição de estratégias de recuperação, conservação e manejo de uma bacia hidrográfica é a determinação da carga de nutrientes, que tem a finalidade de avaliar o processo de eutrofização ao longo de um sistema, assim como a determinação do balanço de massa, através de estimativas de entradas, saídas e retenção de nutrientes no corpo d'água. Para tal, foram coletadas amostras mensais de dezembro de 2010 a maio de 2011, em cinco pontos distintos do açude, com o objetivo de estudar o balanço de massa dos macronutrientes, verificar a qualidade da água armazenada, traçar perfis verticais de parâmetros físicos e químicos e determinar o nutriente limitante do sistema. No período de estudo, o açude acumulou cerca de 28,06 toneladas de fósforo e 121,42 toneladas de nitrogênio. As concentrações dos parâmetros investigados estão cada vez mais elevadas e a limitação sempre foi da fração nitrogenada ($N/P < 10$), podendo o açude Gavião ser classificado como eutrófico.

Palavras-chave: balanço, macronutrientes, eutrofização, qualidade de água.

Abstract

The study area, the reservoir Gavião, is positioned in the northeastern state of Ceara, is inserted in the municipality of Pacatuba and located upstream of the Water Treatment Plant - ETA, responsible for supplying drinking water in the Metropolitan Region Fortaleza. Os reservoirs in the state of Ceará, specifically those located in metropolitan areas of the basins, such as dam Hawk, are targets of impacts resulting from various human activities developed along its watershed. Water eutrofizadas proporcionam greater difficulty and high treatment costs, mainly due to the presence of excessive algae. This increasing growth of algae in the waters are the result of continuous delançamentos nutrients, especially nitrogen and phosphorus, which modify the characteristics of water bodies as well as its quality. An important tool for the definition of strategies recovery, storage and management of a watershed is to determine the nutrient load, which has the purpose of evaluating the eutrophication process over a system as well as determining the mass balance through estimates of inputs, outputs and retention of nutrients in the water body. To this end, samples were collected monthly from December 2010 to May 2011, at five different points of the dam, in order to study the mass balance of macronutrients, check the quality of stored water, draw vertical profiles of physical and chemical parameters and determining the limiting nutrient in the system. During the study period, the dam has accumulated over 28.06 tons of 121.42 tons of phosphorus and nitrogen. The concentrations of the investigated parameters estão cada higher and higher and the limitation has always been of the nitrogen fraction ($N / P < 10$), the reservoir Gavião may be classified as eutrophic.

Keywords: balance, nutrients, eutrophication, water quality.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Ilustração do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza – SAABRMRF.	38
Figura 2 - Variação do volume do açude Gavião nos últimos 360 dias. (FUNCEME, 2011a)	39
Figura 3 - Bacia hidrográfica do Sistema Pacoti-Riachão-Gavião.....	40
Figura 4 - Pontos de amostragem do açude Gavião – GPS TrackMaker Pacatuba/CE.	43
Figura 5 - Ponto de coleta GAV05: Próximo à barragem.	45
Figura 6 - Ponto de coleta GAV14: Meio do açude.	45
Figura 7 - Ponto de coleta GAV16: Próximo às bombas.	46
Figura 8 - Embarcação da COGERH, juntamente com os materiais de coleta no açude Gavião.	47
Figura 9 - Boletim diagnóstico de chuva para os meses de Janeiro a Abril de 2011.	49
Figura 10 - Sonda multiparamétrica utilizada para realizar a perfilagem no açude Gavião.	50
Figura 11 - Amostrador de Van Dorn utilizado nas campanhas de amostragem.	52
Figura 12 - Profundímetro digital utilizado para medir a profundidade máxima em cada ponto de amostragem no açude Gavião.....	53
Figura 13 - Equipamento de rastreamento por satélite utilizado durante as campanhas de coleta de água.	53
Figura 14 - Amostras sobre a bancada do laboratório de análises, após a coleta no açude Gavião.	54
Figura 15 - Fotografia da entrada do Canal Riachão-Gavião.	56
Figura 16 - Fotografia próxima ao ponto de coleta do Riacho Gavião.	56
Figura 17 - Zona de influência para cada ponto amostrado no açude Gavião.	61
Figura 18 - Gráfico CAV - Cota x Área x Volume do açude Gavião, Pacatuba/CE. ..	64
Figura 19 - Variação de temperatura no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	68
Figura 20 - Variação de temperatura no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	70
Figura 21 - Variação de temperatura no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	71
Figura 22 - Variação de temperatura no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	73
Figura 23 - Variação de temperatura no ponto de afluência RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	74
Figura 24 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	76

Figura 25 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	77
Figura 26 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	79
Figura 27 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	80
Figura 28 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto de afluência RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	81
Figura 29 - Variação de pH no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	83
Figura 30 - Variação de pH no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	85
Figura 31 - Variação de pH no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	86
Figura 32 - Variação de pH no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.	88
Figura 33 - Variação de pH no ponto de afluência RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	89
Figura 34 - Variação de clorofila-a no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	91
Figura 35 - Variação de clorofila-a no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	92
Figura 36 - Variação de clorofila-a no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	94
Figura 37 - Variação de clorofila-a no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	95
Figura 38 - Variação de clorofila-a no ponto de afluência RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	96
Figura 39 - Ponto de entrada ao açude Gavião (Riacho), na campanha do mês de março de 2011. Presença de muitas macrófitas nas margens.....	97
Figura 40 - Variação de turbidez no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	99
Figura 41 - Variação de turbidez no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	100
Figura 42 - Variação de turbidez no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	101
Figura 43 - Variação de turbidez no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	102
Figura 44 - Variação de turbidez no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	103
Figura 45 - Variação de nitrito no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	106
Figura 46 - Variação de nitrito no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	107

Figura 47 - Variação de nitrito no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	109
Figura 48 - Variação de nitrito nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	110
Figura 49 - Variação de nitrato no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	111
Figura 50 - Variação de nitrato no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	113
Figura 51 - Variação de nitrato no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	114
Figura 52 - Variação de nitrato nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	115
Figura 53 - Variação de amônia no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	117
Figura 54 - Variação de amônia no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	118
Figura 55 - Variação de amônia no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	120
Figura 56 - Variação de amônia nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	121
Figura 57 - Variação de nitrogênio orgânico no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	123
Figura 58 - Variação de nitrogênio orgânico no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	125
Figura 59 - Variação de nitrogênio orgânico no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	126
Figura 60 - Variação de nitrogênio orgânico nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	127
Figura 61 - Variação de fósforo total no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	130
Figura 62 - Variação de fósforo total no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	131
Figura 63 - Variação de fósforo total no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	133
Figura 64 - Variação de fósforo total nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	134
Figura 65 - Variação de ortofosfato no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	136
Figura 66 - Variação de ortofosfato no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	137
Figura 67 - Variação de ortofosfato no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	139
Figura 68 - Variação de ortofosfato nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.....	140

Figura 69 - Variação da concentração de nitrito nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.	141
Figura 70 - Variação da concentração de nitrato nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.	142
Figura 71 - Variação da concentração de amônia nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.	143
Figura 72 - Variação da concentração de ortofosfato nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.	144
Figura 73 - Variação da concentração de fósforo total nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.	145
Figura 74 - Relação N/P para todas as porções estudadas no açude Gavião, Pacatuba/CE.	153

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Normas adotadas pela Organização Mundial de Saúde para água potável.	23
Tabela 2 - Características limnológicas e suas possíveis ações de gerenciamento para qualidade da água.....	26
Tabela 3 - Situação atual dos mananciais que abastecem Fortaleza.	41
Tabela 4 - Localização dos pontos de coleta no açude Gavião.	44
Tabela 5 - Características do açude Gavião em cada dia de amostragem.	48
Tabela 6 - Métodos e referências para as análises dos parâmetros estudados.....	55
Tabela 7 – Valores médios mensais da vazão afluyente ao açude Gavião (JAN-MAI/2011).....	59
Tabela 8 - Cota-Área-Volume, incluindo as respectivas profundidades do açude Gavião e os estratos considerados.	65
Tabela 9 – Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto GAV05.	68
Tabela 10 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto GAV14.	69
Tabela 11 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto GAV16.	71
Tabela 12 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto de afluência CANAL.	72
Tabela 13 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto de afluência RIACHO.	73
Tabela 14- Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto GAV05.	75
Tabela 15 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto GAV14.	77
Tabela 16 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto GAV16.	78
Tabela 17 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto de afluência CANAL.....	79
Tabela 18 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto de afluência RIACHO.....	81
Tabela 19 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto GAV05.	83
Tabela 20 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto GAV14.	84
Tabela 21 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto GAV16.	86

Tabela 22 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto de afluência CANAL.	87
Tabela 23 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto de afluência RIACHO.	88
Tabela 24 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto GAV05.	90
Tabela 25 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto GAV14.	92
Tabela 26 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto GAV16.	93
Tabela 27 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto de afluência CANAL.	94
Tabela 28 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto de afluência RIACHO.	96
Tabela 29 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de GAV05.	98
Tabela 30 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de GAV14.	99
Tabela 31 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de GAV16.	100
Tabela 32 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de afluência CANAL.	102
Tabela 33 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de afluência RIACHO.	103
Tabela 34 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrito no ponto de GAV05.	105
Tabela 35 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrito no ponto de GAV14.	107
Tabela 36 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrito no ponto de GAV16.	108
Tabela 37 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrato no ponto de GAV05.	111
Tabela 38 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrato no ponto de GAV14.	112
Tabela 39 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrato no ponto de GAV16.	113
Tabela 40 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de amônia no ponto de GAV05.	116
Tabela 41 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de amônia no ponto de GAV14.	118
Tabela 42 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de amônia no ponto de GAV16.	119

Tabela 43 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrogênio orgânico no ponto de GAV05.	123
Tabela 44 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrogênio orgânico no ponto de GAV14.	124
Tabela 45 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrogênio orgânico no ponto de GAV16.	126
Tabela 46 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de fósforo total no ponto de GAV05.	129
Tabela 47 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de fósforo total no ponto de GAV14.	131
Tabela 48 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de fósforo total no ponto de GAV16.	132
Tabela 49 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de ortofosfato no ponto de GAV05.	135
Tabela 50 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de ortofosfato no ponto de GAV14.	137
Tabela 51 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de ortofosfato no ponto de GAV16.	138
Tabela 52 - Série histórica de nitrito (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.	141
Tabela 53 – Série histórica de nitrato (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.	142
Tabela 54 – Série histórica de amônia (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.	143
Tabela 55 - Série histórica para o ortofosfato (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.	143
Tabela 56 – Série histórica para o fósforo total (mg/L) de 2008, 2009 e 2011, no açude Gavião.	144
Tabela 57 - Limites para classes de estado trófico baseados em SALAS e MARTINO (2001).	145
Tabela 58 – Fluxos de entradas, saída e balanços para o fósforo total em cada mês de estudo.	146
Tabela 59 - Conteúdo medido e calculado de fósforo total para cada mês de estudo no açude Gavião.	148
Tabela 60 – Fluxos de entradas, saída e balanços para o Nitrogênio Total em cada mês de estudo.	149
Tabela 61 - Conteúdo medido e calculado de Nitrogênio Total para cada mês de estudo no açude Gavião.	150
Tabela 62 - Exemplos de organismos de vida livre fixadores de nitrogênio.	151
Tabela 63 - Relação N/P para os pontos localizados no interior do açude, em cada mês estudado.	152

Tabela 64 - Relação N/P para as afluições do açude, em cada mês estudado. ...	152
Tabela 65 - Relação N/P para o ponto de saída do açude, em cada mês estudado.	153

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA	Agência Nacional das Águas
APHA	American Public Health Association
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
ETA	Estação de Tratamento de Água
EB	Estação de Bombeamento
OMS	Organização Mundial de Saúde
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SAABRMF	Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza
SRH/CE	Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará
WHO	World Health Organization

Sumário

1 Introdução	17
2 Objetivos	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3 Revisão de Literatura	21
3.1 Importância da qualidade da água	21
3.2 Emprego da limnologia no gerenciamento da qualidade da água.....	22
3.3 Poluição de reservatórios e deterioração da qualidade da água.....	27
3.4 Principais nutrientes encontrados no ambiente aquático	27
3.5 Eutrofização	28
3.6 Quantificação das cargas poluidoras e grau de trofia	30
3.7 Nutriente limitante e razão Nitrogênio/Fósforo	32
3.8 Balanços de massa	35
3.9 Reservatórios do estado do Ceará.....	36
3.9.1 Açude Gavião.....	37
4 Materiais e Métodos	43
4.1 Definição da periodicidade e pontos de amostragem.....	43
4.2 Perfis de variáveis físicas e químicas.....	50
4.2.1 Medidas em campo	50
4.2.2 Coletas de água em profundidade	51
4.3 Estimativa de vazão afluente.....	55
4.4 Estimativas para o balanço de nutrientes.....	59
5 Resultados e Discussões	67
5.1 Perfilagem com sonda nos pontos de estudo.....	67
5.1.1 Temperatura (°C)	67
5.1.2 Oxigênio Dissolvido (OD)	74
5.1.3 pH.....	82
5.1.4 Clorofila-a	89
5.1.5 Turbidez	97
5.2 Análise dos macronutrientes	104
5.2.1 Nitrogênio	104

5.2.2 Fósforo	128
5.3 Série Histórica (2005-2009).....	140
5.4 Balanço de Massa para os Nutrientes.....	146
5.4.1 Fósforo Total	146
5.4.2 Nitrogênio Total	149
5.5 Nutriente Limitante e Relação Nitrogênio/Fósforo (N/P)	152
6 Conclusão	155
7 Bibliografia.....	157

1 Introdução

Devido aos constantes períodos de seca que caracterizam o clima semiárido e do agreste no nordeste brasileiro, a população local enfrenta problemas sérios de escassez de água e conseqüente falta de alimentos. Para tentar minimizar este problema, ao longo do último século foram implementadas políticas públicas de construção de reservatórios artificiais ou açudes no semiárido como forma de amenizar este fenômeno natural.

Para Barbosa(2002) a construção dos açudes é, ainda hoje, uma alternativa para aumentar a disponibilidade hídrica da região. A utilização dos recursos hídricos para o abastecimento humano, irrigação e pesca, entre outros, nas regiões semiáridas, depende, ordinariamente da construção de reservatórios. Via de regra, a utilização de reservatórios é muito mais intensa onde existem poucos lagos naturais e em regiões onde a evaporação é maior do que as precipitações.

Segundo Esteves (1998), os açudes são ambientes com elevado tempo de detenção hidráulica principalmente no semiárido, com finalidade de acumular grande quantidade de água, tendo como principal fonte de abastecimento a precipitação pluviométrica.

Apesar dos açudes serem fundamentais para a melhoria da qualidade de vida da população, estes recursos e o ambiente em seu entorno, de certa forma, impactados negativamente devido, principalmente, ao crescimento acelerado da população, a falta de controle da poluição, ao manejo inadequado do agronegócio e ao desmatamento, resultando na contaminação dos corpos aquáticos e, em última instância, na sua inutilização para usos mais nobres como o abastecimento humano.

Os reservatórios do Estado do Ceará, especificamente os localizados nos domínios das bacias metropolitanas são alvos dos impactos resultantes das diversas atividades antrópicas desenvolvidas ao longo de suas bacias hidrográficas.

A área de estudo, o açude Gavião, encontra-se posicionada na região nordeste do Estado do Ceará, está inserido no município de Pacatuba e faz parte do Sistema Integrado de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza.

Alguns trabalhos foram desenvolvidos tendo como área de estudo o açude Gavião, como: Freire (2000), Braga (2006), Freire (2007) e Silva *et al.* (2008). Por se tratar de um reservatório responsável pelo abastecimento humano para a

Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), o açude Gavião é objeto de estudo mais detalhado pela sua magnitude e abrangência. Em sua maioria, estes trabalhos mostraram que o açude Gavião está com alta produtividade em relação às suas condições naturais, podendo ocorrer alterações indesejáveis na qualidade da água.

Todas as atividades impactantes são refletidas direta ou indiretamente na qualidade da água dos mananciais, razão pela qual, o monitoramento de variáveis bióticas e abióticas pode ser utilizado como eficiente ferramenta para se avaliar a extensão e a magnitude de cada atividade antrópica poluidora. Cada uso da água, incluindo captação e descarga de resíduos, leva a um impacto específico e, quase sempre, previsível, sobre a qualidade dos corpos hídricos.

Entre as principais causas do declínio qualitativo da qualidade da água, encontra-se a eutrofização, que traz consigo problemas ambientais e de saúde, pela potencialidade de floração de algas tóxicas. O processo de eutrofização consiste num aumento da fertilidade dos ambientes aquáticos, provocado pela entrada excessiva de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio.

Os nutrientes provêm dos diferentes usos dos solos nas bacias hidrográficas e o aumento de sua concentração na água tem como consequência a perda da qualidade. Daí surge a grande importância de se observar e estudar a dinâmica dos nutrientes presentes na massa líquida do açude Gavião, tomando como centro do estudo, os macronutrientes Nitrogênio e Fósforo.

É válido ressaltar que o açude Gavião está localizado a montante da Estação de Tratamento de Água – ETA, responsável pelo abastecimento de água potável da Região Metropolitana de Fortaleza. A ETA do Gavião, projetada para o tratamento convencional desde 1981, foi transformada em uma instalação de filtração direta descendente em 1995, a fim de atender às mudanças ocorridas na qualidade da água bruta durante os anos, bem como otimização no tratamento e diminuição de custos. A alteração proporcionou um aumento de 25% em sua área filtrante, elevando a capacidade de tratamento de 3,0 m³/s para 10,0 m³/s e uma capacidade máxima de 36.000m³/h. Desta forma, sabe-se que a tecnologia de tratamento utilizada deve que ser adequada ao tipo de água bruta que abastece à estação (CAGECE, dados não publicados).

Águas eutrofizadas proporcionam maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento. A presença excessiva de algas afeta substancialmente o tratamento da água captada no reservatório, devido à necessidade de: remoção da própria alga,

remoção de cor, remoção de sabor e odor, maior consumo de produtos químicos, lavagens mais frequentes dos filtros, entre outros. Sendo assim, é imprescindível que açudes com tendência a sofrer processos de eutrofização sejam alvo de estudos, monitoramentos, planos de gerenciamento, ações corretivas e/ou preventivas, para que futuramente a qualidade de suas águas não seja prejudicada a ponto de culminar na substituição/modificação da tecnologia utilizada atualmente nas estações de tratamento.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

- Estudar o balanço de massa dos macronutrientes em período essencialmente chuvoso no açude Gavião, localizado na bacia metropolitana de Fortaleza, dando ênfase aos compostos nitrogenados e fosfatados.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar aspectos qualitativos da água armazenada, em período essencialmente chuvoso, haja visto que, este é um período bem curto nas regiões semiáridas, sendo seu estudo primordial para um bom acompanhamento das variáveis limnológicas ao longo do tempo;
- Avaliar parâmetros presentes nos compartimentos verticais e horizontais da massa líquida, bem como suas presenças nos dois principais afluentes. São eles: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, clorofila-a, nitrato, nitrito, amônia, nitrogênio orgânico, fósforo total e ortofosfato;
- Elaborar um estudo comparativo dos resultados obtidos com este trabalho e a série histórica disponível para cada parâmetro, com o intuito de se estabelecer uma situação atual do crescente aumento das concentrações dos parâmetros supracitados, resultando na acelerada degradação da qualidade da água do corpo hídrico;
- Determinar as cargas relacionando a concentração das espécies químicas com a vazão de entrada e saída do açude, podendo desta forma, determinar o balanço de massa destes materiais e inferir sobre a capacidade do açude de reter ou exportar nutrientes;
- Investigar o nutriente limitante do açude e a relação Nitrogênio/Fósforo.

3 Revisão de Literatura

3.1 Importância da qualidade da água

A água precisa ter condições quali-quantitativas favoráveis para prover boa condição de vida aos seres humanos e aos ecossistemas. Entretanto, a qualidade das águas está sujeita às condições geológicas, geomorfológicas e da presença da cobertura vegetal na bacia de drenagem. As ações do Ser Humano também influenciam na qualidade da água. Tais ações são: i) lançamento de cargas de esgoto doméstico e industrial nos sistemas hídricos; ii) alteração do uso do solo rural e urbano; iii) modificações no sistema fluvial (TUCCI *et al.*, 2001).

Os problemas qualitativos dos recursos hídricos pela contaminação agravaram-se durante as décadas passadas. A qualidade da água pode ser utilizada como diagnóstico do estado de preservação do ambiente, sendo possível, a partir de sua análise, determinar o grau de erosão do solo, os lançamentos orgânicos, a poluição por esgotos e, também, a poluição atmosférica. A importância da qualidade das águas faz das bacias hidrográficas unidades de planejamento de gestão ambiental (MOISEENKO, 2005; GRAF, 2000).

Muitos dos fatores que influenciam a quantidade da água na bacia, também afetam a qualidade da água. A gestão dos recursos hídricos visa à redistribuição, no espaço e no tempo, da água para atender as necessidades quali-quantitativas da sociedade numa certa região. Esse antigo conceito torna-se melhor elaborado à medida que preocupações com qualidade da água e preservação do ambiente tendem a adquirir uma relevância crescente (CUNHA, 2002).

A qualidade da água está fortemente ligada à saúde pública e aos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. A falta desses serviços causam graves consequências aos seres humanos, sendo a água uma das principais vinculadoras de doenças.

A proliferação de doenças ocorre pela ausência de serviços de esgotamento sanitário, obrigando a população a escolher outras formas de eliminar seu esgoto doméstico. Desta forma, a população descarta o esgoto (muitas vezes sem tratamento prévio) na rede pluvial ou nos rios e arroios, ou ainda, diretamente no solo. Esse tipo de procedimento acarreta muitos problemas à própria população, diminuindo sua qualidade de vida.

O consumo de água contaminada, nos países em desenvolvimento, é responsável por um número estimado de 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos, e, em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa é perdido devido a doenças relacionadas à água (MORAES e JORDÃO, 2002).

3.2 Emprego da limnologia no gerenciamento da qualidade da água

A Limnologia é definida como o estudo ecológico de todas as massas d'água continentais, independentemente de suas origens, dimensões e concentrações salinas. Assim, além dos lagos, inúmeros corpos d'água são objetos de estudo desta ciência, como lagoas, açudes, lagoas, represas, rios, riachos, brejos, áreas alagáveis, águas subterrâneas, coleções d'água temporárias, nascentes, fitotelmos e estuários.

Dentre os objetivos desta ciência destacam-se: a conservação dos ecossistemas aquáticos continentais, visando sua utilização racional; o fornecimento de água para abastecimento (doméstico e industrial); pesquisas; geração de energia elétrica; controle da qualidade da água utilizando indicadores biológicos, físicos e químicos; recuperação de ecossistemas aquáticos degradados e identificação de fontes poluidoras (ESTEVES, 1998).

O crescimento das características limnológicas básicas existentes no reservatório e no funcionamento dos mecanismos do ecossistema constitui uma importante ferramenta de gerenciamento. Para o gerenciamento de reservatórios destinados ao abastecimento de água potável necessita-se de informações detalhadas, uma vez que devem ser atendidos padrões rigorosos.

Na Tabela 1 fornece-se uma lista das normas adotadas por World Health Organization – WHO (Organização Mundial de Saúde – OMS).

Tabela 1 - Normas adotadas pela Organização Mundial de Saúde para água potável.

Cor	Amônia	Cianeto
Odor	Nitrato/nitrito	Metais pesados
Sólidos em suspensão	Fósforo/fosfato	Alumínio
Sólidos totais dissolvidos	Total de carbono orgânico	Arsênico/selênio
Turbidez	Demanda Bioquímica de Oxigênio	Óleo e hidrocarbonetos
Condutividade	Sódio	Solventes orgânicos
pH	Magnésio	Fenóis
Oxigênio dissolvido	Cloro	Pesticidas
Dureza	Sulfatos	Surfactantes
Clorofila-a	Flúor	Coliformes Fecais
Total de coliformes	Patogênicos	

Fonte: STRASKRABA e TUNDISI(2000)

Para cada reservatório, é necessários dispor das curvas hipsográficas que relacionam volumes e áreas superficiais, para diversos níveis. Também é necessário conhecer as cotas e dimensões dos mecanismos de descarga. Os seguintes grupos de características limnológicas do reservatório devem ser considerados:

- a) Vazões afluentes. Devem ser consideradas as principais descargas, responsáveis por 90% ou mais do total recebido pelo reservatório. As descargas são importantes para determinarem as cargas de substâncias consideradas e para prever o regime hidrológico do reservatório. Altas vazões podem aumentar de forma desproporcional as cargas devido à lavagem de substâncias do solo e também à maior erosão. Durante cheias, as margens dos reservatórios são alteradas, podendo gerar correntes. Ao longo do tempo também devem ser conhecidas as taxas das descargas e a localização das entradas.

- b) Variações de níveis do reservatório. Quando se eleva o nível do reservatório, a água do corpo principal penetra nas baías e, quando ocorre redução nos níveis é removido material das margens. A flutuação dos níveis favorece as interações entre sedimentos e água, aumentando o nível de sólidos e as concentrações de nutrientes dissolvidos.
- c) Tempo de retenção. O tempo teórico de retenção do reservatório R determina um grande número de características do mesmo, quais sejam: as cargas decrescem com o aumento de R ; a estratificação aumenta com o aumento de R ; a retenção de nutrientes aumenta com o aumento de R ; o fitoplâncton é lavado do reservatório quando R é pequeno; e as quantidades de sedimentos e a fauna do fundo do reservatório são maiores com menores R . Os reservatórios que tem tempos de retenção menor que 300 dias apresentam uma menor estratificação obtêm maiores cargas de nutrientes e retêm menos fósforo. Os reservatórios com longo tempo de retenção apresentam uma grande tendência de se tornarem eutróficos e também é alta a frequência de explosões de cianobactérias. Neles também ocorre anoxia hipolimnética, mesmo com baixos níveis de poluição, também a eutrofização acontece de forma mais frequente que em reservatórios com corrente longitudinal.
- d) Posição dos mecanismos de descarga. A estratificação no reservatório e suas consequências sobre a química e a biologia, sobre a qualidade das águas liberadas, sobre a sedimentação no reservatório e sobre a redução potencial de diversos poluentes é afetada pela posição dos mecanismos de descarga.
- e) Circulação vertical e horizontal. Se devido uma estratificação vertical, for verificada uma zona anóxica hipolimnética, poderão ocorrer um ou mais dos seguintes efeitos indesejáveis: aumento na liberação de nutrientes dos sedimentos, podendo resultar em eutrofização; aumento nas concentrações de manganês e ferro, bem como paladar e cheiro desagradável, degradando sua qualidade como água potável e encarecendo os custos de tratamento; os estoques pesqueiros e o crescimento dos peixes no reservatório podem ser degradados, devido ao extermínio das espécies nobres; a formação de gases pode gerar odores desagradáveis; o aumento da corrosão diminui a vida útil das turbinas e degrada as estruturas de

concreto. Também, dependendo dos mecanismos de descarga, o rio a jusante pode ser seriamente afetado, podendo ocorrer mortandade em massa de peixes. A turbulência do reservatório afeta, de muitas formas, a fotossíntese feita pelo fitoplâncton e a distribuição dos organismos, em alguns casos, agregando fitoplâncton (cianobactérias) e macrófitas flutuantes. A circulação vertical pode afetar a penetração de luz e, então, a produtividade do fitoplâncton, perifíticas e macrófitas.

- f) Composição química das águas. A qualidade das águas de um reservatório está ligada àquelas das hidrodinâmica regional, seu tempo de retenção e às entradas devido às atividades humanas existentes nas bacias hidrográficas. A composição química das águas afeta a vida aquática existente. Entradas de nutrientes podem aumentar a biomassa de algumas espécies de fitoplâncton, reduzindo simultaneamente sua diversidade. Uma alta salinidade e um baixo pH interferem com a integridade da cadeia alimentar. Sendo assim, é importante o gerenciamento da composição química das águas.
- g) Características biológicas do reservatório. A flora e a fauna de um reservatório são a combinação do resultado do recrutamento efetuado nas bacias hidrográficas e das condições existentes no seu interior. É possível a colonização do reservatório por organismos provenientes de localidades remotas, inclusive de outras bacias hidrográficas, graças a diversos meios, tais como transporte por pássaros, ventos, chuva e invertebrados transportados por vertebrados maiores.

A Tabela 2 relaciona o emprego de características limnológicas de reservatórios com opções de gerenciamento ecotecnológico.

Tabela 2 - Características limnológicas e suas possíveis ações de gerenciamento para qualidade da água.

Características limnológicas	Ações de gerenciamento
Circulação horizontal e vertical das águas	Produzir movimentos verticais de água, reduzindo a zona eufótica. Induzir o aumento de circulação horizontal, visando coibir a agregação de organismo e materiais em suspensão.
Tempo de retenção	Regular o tempo de retenção visando atingir os requisitos necessários de qualidade da água a montante/jusante e múltiplos usos.
Composição química das águas	Regular e controlar entradas no reservatório. Regular o tempo de retenção. Preservar as florestas e várzeas.
Características biológicas	Regular a biomassa do reservatório. Introduzir técnicas de biomanipulação para controlar o crescimento de organismos importantes.

Fonte: STRASKRABA, M. e TUNDISI, J. G., 2000.

3.3 Poluição de reservatórios e deterioração da qualidade da água

Os tipos de poluição das águas não são diferentes daqueles de outras águas, entretanto, as causas e consequências da poluição podem diferir entre reservatórios, rios e lagos. O grande desafio na busca de soluções para a degradação hídrica reside não somente no crescimento constante da poluição como também na escalada da diversidade dos novos problemas de qualidade das águas.

Os problemas de qualidade de água podem ser classificados de acordo com as fontes de poluição. Existem basicamente duas formas em que a fonte de poluentes pode atingir um corpo d'água: Poluição Pontual e Poluição Difusa. Na poluição pontual, os poluentes atingem um corpo d'água de forma concentrada no espaço.

Um exemplo é o da descarga em um rio de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade. Na poluição difusa, os poluentes adentram os corpos d'água distribuídos ao longo de parte da sua extensão. Este é o caso típico da poluição veiculada pela drenagem pluvial, a qual é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída, e não concentrada em um único ponto (VON SPERLING, 2005).

Para a realização de um levantamento de cargas poluidoras, é necessária a identificação das principais fontes pontuais de poluição dos corpos d'água. Entre estas figuram: o esgotamento sanitário, resíduos industriais, aterros sanitários, entre outros. Já as fontes não pontuais (difusas), as quais englobam, principalmente, a lixiviação de solos agrícolas e drenagem urbana são bem mais difíceis de serem quantificadas.

3.4 Principais nutrientes encontrados no ambiente aquático

Os principais nutrientes responsáveis pelo equilíbrio da biota aquática são: o nitrogênio e o fósforo, pois são mais abundantes na natureza e, atualmente, a disponibilidade destes elementos é aumentada em função do uso de fertilizantes na agricultura, por aporte de esgotos urbanos e industriais das aglomerações humanas. Os lançamentos de esgotos, bem com a utilização de fertilizantes nas atividades agrícolas, com o seu carreamento para os corpos d'água, contribuem para a eutrofização de muitos reservatórios do país e do mundo.

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta relevância decorre, principalmente, da sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos. O fósforo é um constituinte importante nos sistemas biológicos. Esta importância deve-se à participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular (através dos fosfolípidios) (ESTEVES, 1998).

3.5 Eutrofização

O crescimento demográfico e o aumento de atividades potencialmente impactantes em todo o mundo tornaram crescente a preocupação com a qualidade das águas. Todas as atividades impactantes são refletidas direta ou indiretamente na qualidade da água dos mananciais, razão pela qual, o monitoramento de variáveis bióticas e abióticas pode ser utilizado como eficiente ferramenta para se avaliar a extensão e a magnitude de cada atividade antrópica poluidora (COGERH, 2004).

Cada uso da água, incluindo captação e descarga de resíduos, leva a um impacto específico e, quase sempre, previsível, sobre a qualidade dos corpos hídricos. Entre as principais causas do declínio qualitativo da qualidade da água, encontra-se a eutrofização (MOTA, 1997).

Como se sabe, este fenômeno é um mecanismo desenvolvido sob a presença de uma grande carga orgânica proveniente de lançamentos de efluentes domésticos, municipais ou industriais, os quais transportam, para os reservatórios, grandes quantidades de nutrientes. Esse quadro é favorável à proliferação de grandes quantidades de diferentes espécies de algas e plantas aquáticas, às quais tornam essas águas com baixo padrão de qualidade.

Estes nutrientes provêm dos diferentes usos dos solos nas bacias hidrográficas e o aumento de sua concentração na água tem como consequência a perda da qualidade, especialmente pela promoção de florações expressivas de microalgas e macrófitas.

O lançamento excessivo de nutrientes nos ambientes modifica as características dos corpos d'água e afeta diversos usos que vão desde a preservação da vida aquática até o abastecimento público.

Segundo Mason(1998), são diversos os efeitos decorrentes da eutrofização nos ecossistemas aquáticos, dentre eles: geralmente ocorre a diminuição da diversidade de espécies e modificação da biota dominante; aumento da biomassa de plantas e animais; aumento da turbidez; aumento da taxa de sedimentação; diminuição da vida útil dos reservatórios; possibilidade de desenvolvimento de condições anóxicas.

O mesmo autor enumerou também uma série de problemas relacionados aos diferentes usos dos corpos d'água pelo homem, dentre os quais estão: o tratamento da água potável pode ser dificultado e o suprimento de água pode vir a ter odor e gostos inaceitáveis; a água pode ser prejudicial à saúde; o aumento da vegetação aquática pode impedir o fluxo de água e a navegação; as espécies comercialmente importantes podem desaparecer.

Assim, o enriquecimento dos corpos d'água está associado ao aumento da produtividade primária e ocorrência de episódios de desenvolvimento excessivo de algas ou macrófitas aquáticas, as quais podem prejudicar o uso para o abastecimento, produção de energia, recreação e proteção da vida aquática. A deterioração da qualidade da água também implica em maiores custos no seu tratamento (STRASKRABA e TUNDISI, 2000) para distribuição nos sistemas de abastecimento público.

O processo de eutrofização pode ser natural, correspondendo ao envelhecimento lento e natural do corpo d'água, e artificial, também conhecido como cultural ou antrópico, provocando envelhecimento precoce destes (ESTEVES 1998).

Diferentemente do processo natural de eutrofização, cuja escala é geológica, no qual os ambientes tendem a passar de uma condição oligotrófica para a mesotrófica e finalmente para a eutrófica resultando no seu assoreamento e desaparecimento, o fenômeno de aceleração antrópica do processo de eutrofização pode ser observado em uma escala mais curta, como em décadas.

Segundo Wetzel (1993) a eutrofização é um dos estados da sucessão natural dos ecossistemas aquáticos. À medida que o tempo passa e os nutrientes vão se acumulando, havendo um desenvolvimento cada vez maior das populações de fitoplâncton, observa-se com frequência o florescimento de algas. Quando

acontece naturalmente, a eutrofização é gradual e muito lenta (demora muitas dezenas de anos para estabelecer-se).

Entretanto, quando este processo é acelerado, há um aumento desordenado na produção de biomassa, impossibilitando a sua incorporação pelo sistema aquático com a mesma velocidade e provocando, assim, um desequilíbrio ecológico. Denomina-se este processo de eutrofização cultural (SOUZA, 1993).

Segundo Henry *et al.* (1983) a eutrofização artificial ou cultural é a designação empregada para diferenciar a ação do homem, daquela causada na evolução dos ambientes aquáticos, isto é, a eutrofização causada por um influxo nutritivo natural.

3.6 Quantificação das cargas poluidoras e grau de trofia

Para avaliação do impacto da poluição e da eficácia das medidas de controle, é necessária a quantificação das cargas poluidoras afluentes ao corpo d'água. Para tanto, são necessários levantamentos de campo na área de estudo, incluindo amostragem dos poluentes, análises de laboratório, medição de vazões e outros. Caso não seja possível a execução de todos estes itens, pode-se complementar com dados de literatura. Informações típicas a serem obtidas em um levantamento sanitário de uma bacia hidrográfica são (MOTA, 1997):

- Dados físicos da bacia: aspectos geológicos, precipitação pluviométrica e escoamento, variações climáticas, temperatura, evaporação etc;
- Informações sobre o comportamento hidráulico dos corpos d'água: vazões máxima, média e mínima, volume dos reservatórios, velocidades de escoamento, profundidade etc;
- Uso e ocupação do solo: tipos, densidades, perspectivas de crescimento, distritos industriais etc;
- Caracterização socioeconômica; demografia, desenvolvimento econômico etc;
- Usos múltiplos da água;
- Requisitos de qualidade para o corpo d'água;
- Localização, quantificação e tendência das principais fontes poluidoras;

- Diagnóstico da situação atual da qualidade da água: características químicas, físicas e biológicas.

De maneira geral, os poluentes são frequentemente originários das seguintes fontes principais:

- Esgotos domésticos (poluentes orgânicos biodegradáveis nutrientes e bactérias);
- Esgotos industriais (poluentes orgânicos e inorgânicos, dependendo da atividade industrial);
- Escoamento superficial (poluentes resultantes da drenagem das áreas urbanas e rurais: fertilizantes, defensivos agrícolas, fezes de animais e material em suspensão).

O estado trófico de um reservatório pode ser avaliado através de aspectos biológicos, aspectos físico-químicos, índices e modelos de carga, podendo ser expresso como a condição nutricional do mesmo e nenhum simples indicador trófico ou parâmetro é completamente adequado para descrever e/ou quantificar este conceito.

Tundisi e Matsumura (1992) analisaram a utilização de diversos métodos de avaliação da eutrofização e fizeram as seguintes observações:

- Informações quantitativas quando utilizadas na determinação do estado trófico, através de parâmetros selecionados, geram dificuldades em relacionar os dados obtidos a categorias limnologicamente definidas dos corpos d'água, ou seja, oligotrófico, mesotrófico e eutrófico. Dessa forma, se forem acrescentadas certas observações qualitativas aos parâmetros quantitativos, podemos obter uma melhor definição de um estado trófico de um lago, rio ou reservatório (VOLLENWEIDER, 1989);
- A disponibilidade de poucos dados a respeito de coeficientes de exportação de nutrientes a partir de solos tropicais para lagos, reservatórios e rios, conduz à aplicação de valores de coeficientes de exportação a partir de regiões temperadas, podendo resultar numa análise inadequada. Dessa

forma, é importante a obtenção de dados de campo experimentais para solos tropicais.

3.7 Nutriente limitante e razão Nitrogênio/Fósforo

A presença e a permanência de um organismo ou de um grupo dependem de um conjunto de condições. Qualquer condição que se aproxime ou exceda os limites de tolerância é uma condição limitante ou um fator limitante. Este conceito é baseado na “Lei do Mínimo” proposta por Liebig, a qual estabelece que a produção de um organismo seja determinada pela abundância da substância que estiver presente no ambiente na menor quantidade relativa à sua necessidade (ODUM, 1988; WETZEL, 2001). Entretanto há algumas questões que interferem na sua aplicação, uma vez que, diferentemente do pressuposto do estado constante na proposta teórica da Lei do Mínimo, na prática, os nutrientes podem atuar como limitante simultaneamente, alternando suas concentrações no meio. Diversos trabalhos comprovam a aplicabilidade desse conceito (HUSZAR *et al.*, 2005; PAERL, 2008).

Os fatores limitantes do nível trófico de um reservatório são o nitrogênio e fósforo. O enriquecimento do meio com esses nutrientes pode resultar na eutrofização, que é o crescimento excessivo de algas e de plantas aquáticas, causando problemas ao próprio ambiente e aos usos da água, tais como sabor e odor desagradáveis, bem como toxidez, provocados pelas algas; formação de massas de matéria orgânica, cuja decomposição pode levar à diminuição do oxigênio dissolvido e conseqüentes prejuízos à vida aquática aeróbica; prejuízos às atividades de recreação e navegação; entupimentos de tubulações e danos às bombas e turbinas hidrelétricas; prejuízos ao tratamento da água; assoreamento de reservatórios.

O fósforo é geralmente o nutriente limitante ao crescimento fitoplanctônico em ecossistemas aquáticos tropicais, sendo a sua quantidade requerida pela biomassa algal equivalente a 14% da demanda para o nitrogênio (CHORUS & MUR, 1999).

As diversas atividades antrópicas têm incrementado as concentrações de nitrogênio e fósforo nos ambientes aquáticos, sendo que a quantidade, a proporção

e a composição química dos nutrientes podem influenciar a magnitude, a duração e a composição das florações (PAERL, 2008).

Pode-se expressar a razão N/P de diversas formas, incluindo o cálculo do número de átomos de ambos os nutrientes nas suas diversas frações, dissolvidos, particulada ou total, dependendo da natureza e objetivos dos estudos. Barica (1990), estudando a variação sazonal da razão N/P em lagos eutróficos, concluiu ser a razão N:P total, na qual soma-se os nutrientes particulados e dissolvidos, a forma mais prática para a caracterização de lagos.

A razão estequiométrica entre os macronutrientes (fósforo, nitrogênio e carbono) indica que para a manutenção do citoplasma da maioria dos organismos fitoplanctônicos é assimilado cerca de 1 mol de fósforo e 16 moles de nitrogênio para cada 106 moles de carbono (REDFIELD, 1958). A baixa razão entre as concentrações de nitrogênio e fósforo (entre 10 e 16 átomos de N para 1 átomo de P) pode favorecer as florações de cianobactérias, enquanto que para algas eucariontes a razão N/P ótima situa-se entre 16 a 23 átomos de N para 1 átomo de P (MUR, 1999).

Segundo Paerl (2008), ambiente com razão molar N/P menor que 15 é mais propício à dominância de cianobactérias, principalmente por espécies fixadoras de nitrogênio e águas com razão N/P superior a 20 favorecem a dominância de algas eucarióticas.

Paerl (2008) e Hecky (2000) compararam as diferenças nos ciclos biogeoquímicos, de ambientes temperados e tropicais, observando que as características tropicais favorecem a dominância de cianobactérias, devido, principalmente, a estratificação com formação de hipolímnio anóxico, resultando na solubilização do fósforo e elevada desnitrificação, levando a uma baixa razão N/P, podendo este fato ser determinante para a predominância das cianobactérias em ambientes tropicais. Costa *et al.* (2009) estudando a dominância de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semiárido nordestino, verificaram que as razões de N/P nos ecossistemas estudados mantiveram-se com média anual entre 25-50:1, indicando uma possível limitação por fósforo nos reservatórios do Rio Grande do Norte.

Segundo IETC-UNEP (2001), a razão N/P é baixa em lagos eutrofizados e mais alta (entre 20 e 30) em lagos mesotróficos e oligotróficos. No entanto, a ocorrência de altas densidades de cianobactérias fixadoras de nitrogênio pode

alterar, rapidamente, essa relação. Quando, em ambientes eutróficos, o crescimento do fitoplâncton passa a ser limitada pela disponibilidade, relativa do nitrogênio, que favorece o aparecimento de espécies capazes de fixar o nitrogênio atmosférico.

Para detectar a limitação de um corpo hídrico, Overbeck (2000); Thomann & Mueller (1987) e Kratzer & Brezonik (1991) estabeleceram que a relação crítica para N:P é de 10:1. Esta razão menor que 10, há indicativos de um ambiente eutrófico e com limitação por nitrogênio, e maior que 10, caracteriza-se o ambiente como sendo meso ou oligotrófico, ocorrendo limitação por fósforo.

O conceito de nutriente limitante é baseado na premissa de que a uma dada estequiometria celular das plantas aquáticas, o nutriente que irá controlar a máxima quantidade de biomassa vegetal é o nutriente que será exaurido primeiramente, ou aquele que atinge um valor mínimo antes dos outros (SALAS e MARTINO, 2001).

Se forem considerados somente fósforo e nitrogênio, para cada átomo de fósforo são necessários vinte átomos de nitrogênio (20:1) para formar as moléculas das células dos organismos vivos. Se a relação N/P num corpo d'água fosse 30:1, certamente todo o fósforo seria consumido antes de todo nitrogênio, por outro lado, se a relação fosse 6:1, a remoção mais rápida do nitrogênio limitaria o crescimento biótico (O'NEIL, 1993).

Salas e Martino (2001) através da análise de vários corpos de água em áreas tropicais e subtropicais da América do Sul e o Caribe observaram que a limitação do crescimento do fitoplâncton nos mesmos é devida principalmente ao fósforo.

A relação N/P em águas urbanas servidas é de 3:1, enquanto fontes não-pontuais apresentam uma relação muito superior. Nitrogênio pode, portanto, ser frequentemente o fator limitante de águas servidas lançadas em lagos. Isso não implica que a eutrofização pode ser melhor controlada mediante a remoção de nitrogênio. Como o fósforo é removido mais facilmente das águas residuárias que o nitrogênio, mediante precipitação química, e, também, como a parcela mais significativa do fósforo tem como origem esses efluentes, ao contrário do nitrogênio, a eutrofização pode ser frequentemente controlada pela remoção do fósforo dos esgotos. (OVERBECK, 2000).

A capacidade de definir qual o nutriente limitante é crucial para o estabelecimento de planos de manejo em bacias hidrográficas, quando se pretende reduzir o grau de eutrofização de um corpo d'água.

3.8 Balanços de massa

A base para qualquer consideração, prática ou teórica, pertinente ao gerenciamento do lago é um balanço de massas confiável. Isso se aplica tanto às águas no papel de solvente como no caso dos solutos. Isso implica conhecer tudo aquilo que entra no lago proveniente de sua área de mananciais, bem como o tamanho, distribuição e taxas de liberação dessas fontes. No que concerne aos processos dentro do lago, resume-se um modelo de entradas e saídas. Entradas são todos os volumes que nele chegam provenientes de fora tanto por descargas diretas como por indiretas. As saídas podem ser descargas feitas por meio dos mecanismos apropriados, infiltrações nos sedimentos ou perdas para a atmosfera.

A determinação da carga de nutrientes, com a finalidade de avaliar o processo de eutrofização ao longo de um sistema, assim como a determinação do balanço de massa, através das estimativas de entradas, saídas e retenção de nutrientes no corpo d'água é importante para a definição de estratégias de recuperação, conservação e manejo da bacia hidrográfica (BARBOSA *et al.*, 1998).

A determinação do balanço de qualquer substância (por exemplo, fósforo, nitrogênio, turbidez mineral, etc.) está fortemente ligada ao balanço hídrico, porém não se confunde com o mesmo. Solutos são normalmente medidos como concentrações (geralmente, g/m³); entretanto, algumas substâncias, como o nitrogênio e o carbono, podem apresentar fase gasosa; conseqüentemente, seus traços devem ser determinados diferentemente.

Considerando um balanço de massas para todo o lago (WOLLENWEIDER, 2000), ou seja:

$$L - O \pm \Delta St = (\pm) S$$

Em que:

$$\text{Carga total} - \text{carga liberada} \pm \text{alteração na armazenagem} \\ = (\text{positiva ou negativa}) \text{sedimentação}$$

Aplica-se somente às substâncias sem fase gasosa, por exemplo: o fósforo. Em relação ao nitrogênio, a interpretação da diferença residual é mais complexa. Perdas positivas podem ocorrer devido à sedimentação, bem como pelo balanço da nitrificação-desnitrificação. Valores negativos podem ser resultantes de carreamento interno ou do balanço nitrificação-desnitrificação.

A magnitude do balanço nitrificação-desnitrificação pode ser estimada pela comparação entre, por exemplo, a sedimentação do fósforo e a relação N/P, a razão de entrada do lago e a razão nos sedimentos de N/P. Essas estimativas não são perfeitas, porém, dão, no mínimo, uma pista sobre a magnitude do processo (WOLLENWEIDER, 2000).

3.9 Reservatórios do estado do Ceará

Os reservatórios são ecossistemas de água doce e os reservatórios dessa água são também chamados de ecossistemas límnicos. Por isso, o seu estudo é chamado limnologia. Um ecossistema de água doce, como um rio ou um lago, tem muitas características dependentes dos ambientes adjacentes (solo e vegetação) e das águas que lhe são afluentes. Assim, a unidade ecológica a ser considerada é o rio ou o lago mais a bacia de drenagem, constituindo o que se chama de bacia hidrográfica (MOTA, 2000).

O Estado do Ceará possui como fator determinante à condição de vida de seus habitantes a oferta de água em todo o seu território, a qual nem sempre é assegurada com a garantia adequada.

Para garantir o abastecimento da população, é necessária a construção de milhares de reservatórios artificiais, denominados açudes, que consistem em uma intervenção do homem na natureza, com o objetivo de adaptar os padrões das vazões naturais dos rios aos padrões demandados pela sociedade.

A necessidade de acúmulo de água para diversos fins determinou o barramento de rios, criando lagos artificiais ou reservatórios, sendo que seus usos preponderantes ou múltiplos tem influência fundamental em sua morfometria, morfologia e limnologia (TUNDISI et al., 2002).

Os reservatórios do Estado, especificamente os localizados nos domínios das bacias metropolitanas, além de receberem os choques causados pela própria natureza do regime climático, são alvos dos impactos resultantes das diversas

atividades desenvolvidas ao longo de suas bacias hidrográficas, além das decorrentes do uso e ocupação do solo destas áreas, sem planejamento prévio.

Todas as atividades impactantes são refletidas direta ou indiretamente na qualidade da água destes mananciais, razão pela qual, o monitoramento de variáveis bióticas e abióticas pode ser utilizado como eficiente ferramenta para se avaliar a extensão e a magnitude de cada atividade antrópica poluidora. Daí a necessidade de um acompanhamento qualitativo das águas de cada reservatório (COGERH, 2004).

3.9.1 Açude Gavião

O açude Gavião está localizado no Estado do Ceará, no município de Pacatuba, possui capacidade de armazenamento de 32,9 hm³ e área da bacia hidráulica e hidrográfica de 07 e 97 Km², respectivamente. (Ficha técnica resumida do açude - ANEXO A)

O açude Gavião tem origem a partir do barramento do Rio Cocó, localizado a montante da Estação de Tratamento de Água - ETA, responsável pelo abastecimento de água potável da região metropolitana de Fortaleza. É um reservatório estratégico do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza – SAABRMF, fornecendo água bruta à ETA – Gavião, ocasionalmente ao Distrito Industrial, em Maracanaú, e as cidades de Maranguape, Pacatuba e Guaiuba (Figura 1).

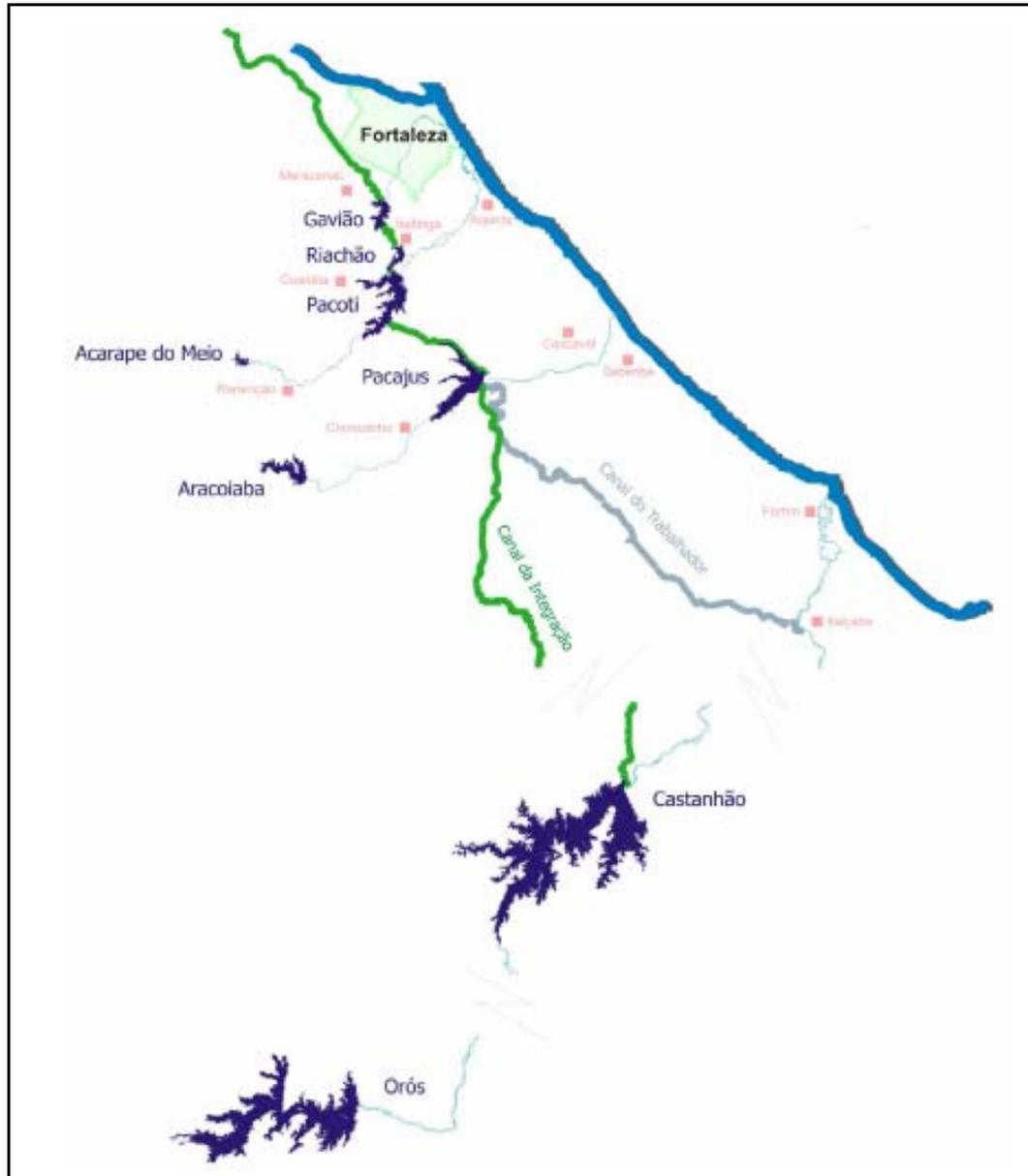


Figura 1 - Ilustração do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza – SAABRMR.(SALES et al., 2005)

A característica marcante desse reservatório é que o volume armazenado varia dentro de uma faixa muito estreita durante o ano, em razão de ter que abastecer a ETA - Gavião, operada pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará - CAGECE, por gravidade (COGERH, 2004). Variando ao longo do ano entre 88 e 100% da capacidade total (Figura 2).

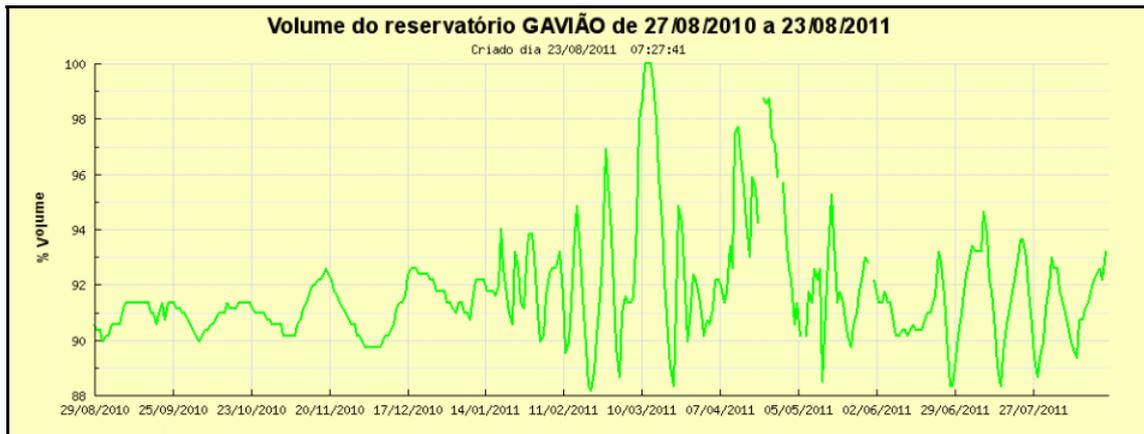


Figura 2 - Variação do volume do açude Gavião nos últimos 360 dias. (FUNCEME, 2011a)

O suprimento de água para a Região Metropolitana de Fortaleza é garantido através de conjunto de mananciais, composto pelos Açudes Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião. Em 1993, este sistema foi reforçado através da construção do "Canal do Trabalhador" que recebe água do Açude Orós, captada do Rio Jaguaribe, em Itaiçaba, interligando essa captação de Itaiçaba ao Açude Pacajus, através de estações elevatórias. Do açude Pacoti (380 hm³ de volume - reservatório com maior capacidade de acumulação do sistema), em anos de bom acúmulo, as águas são transferidas por gravidade para o açude Riachão - reservatório com capacidade para acumular 47 hm³ e regularizar uma vazão de 0,7 m³/s com 90% de garantia.

No entanto, em anos no qual o açude Pacoti está com sua capacidade comprometida, a transferência entre os reservatórios é realizada por meio de um sistema de bombeamento auxiliar, com capacidade para 10,0 m³/s. Este procedimento é necessário quando o volume acumulado no açude Pacoti é inferior a 86 hm³ (22,7% da sua capacidade).

Após atingir o açude Riachão, as águas são transferidas, por gravidade, para o açude Gavião através de um túnel-canal, o Canal Riachão-Gavião. Este reservatório, o último do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza – SAABRMF possui capacidade para armazenar 30 hm³ e alimenta, por gravidade, a ETA-Gavião, como já citado.

O açude Gavião, além de ser uma das bacias mais representativas hidrologicamente e considerado um açude modelo, vem frequentemente sendo alvo dos impactos das atividades antrópicas naquela região (COGERH, 2000).

Na Figura 3, pode-se observar a delimitação da bacia hidrográfica do açude Gavião em série com os açudes Pacoti e Riachão.

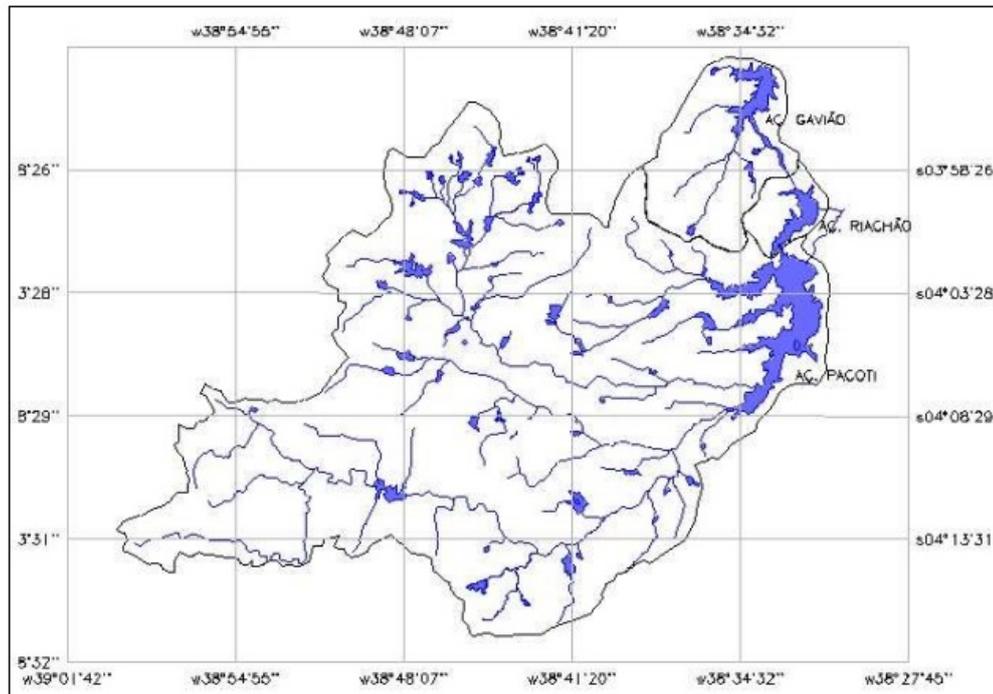


Figura 3 - Bacia hidrográfica do Sistema Pacoti-Riachão-Gavião. (SRH/FUNCEME/PROURB-RH, 2002).

O gerenciamento dos estoques de água dos açudes metropolitanos e a importação do açude Orós, situado a mais de 400 km de distância, tem garantido, sem nenhuma restrição, o atendimento às demandas para o abastecimento de uma população de mais de 4 milhões de habitantes e de grande parte do complexo industrial do Estado do Ceará, mesmo quando da ocorrência de anos consecutivos de seca.

A Tabela 3 mostra a situação em 2006 dos mananciais que abastecem Fortaleza. Pode-se notar a grande quantidade de água acumulada na bacia em questão. Essa capacidade, contudo, é sempre elevada, em virtude de o Gavião ser o último reservatório do sistema. Apesar da pequena extensão territorial, a bacia em estudo assume papel de destaque por ser responsável pelo abastecimento de água tratada para Fortaleza, Eusébio, Maracanaú e Caucaia através do Sistema Pacajus - Pacoti - Riachão - Gavião.

Tabela 3 - Situação atual dos mananciais que abastecem Fortaleza.

AÇUDE	COTA-SANGRIA	CAPACIDADE (m ³)	COTA ATUAL	VOL. ARMAZENADO	
				m ³ /situação	%
Acarape do Meio	130,02	31.500.000	120,38	10.603.195	33,66
Gavião	36,00	32.900.000	35,5	29.520.000	89,73
Pacajus	38,00	240.000.000	34,35	127.082.456	52,95
Pacoti	45,00	380.000.000	36,57	97.868.392	25,75
Riachão	45,00	46.950.000	36,57	13.649.099	29,09
Aracoiaba	95,00	170.700.000	93,11	142.232.832	83,32
TOTAL		902.050.000	-	420.955.974	46,70

Fonte: Programa de Gerenciamento de Águas Territoriais (COGERH, 2006)

3.10 Tecnologia da ETA-Gavião e dificuldades no tratamento de águas eutrofizadas

A presença de florações de organismos fitoplanctônicos em rios, lagos e reservatórios destinados ao abastecimento interfere diretamente na qualidade da água, podendo introduzir efeitos negativos tanto de ordens estética e organolépticas (odor e sabor) como de saúde pública devido à produção de compostos potencialmente tóxicos e carcinogênicos. As alterações na qualidade da água para abastecimento, devido à presença desses organismos, introduzem dificuldades diversas, podendo comprometer seriamente o funcionamento das estações de tratamento de água ou sistemas de abastecimento, caso estes não estejam preparados para removê-los ou inativá-los (DIBERNARDO, 2008).

De todas as tecnologias de tratamento de água para abastecimento público atualmente em uso no Brasil, a filtração direta é certamente uma das de

menor custo de implantação, manutenção e operação. No entanto, há limites para sua aplicação. Apenas águas brutas de boa qualidade (com valores de cor verdadeira e turbidez relativamente baixos) podem ser tratadas através desta tecnologia.

É interessante notar que particularmente os açudes do nordeste brasileiro acabam funcionando como decantadores naturais, já que armazenam grandes volumes de água durante as estações úmidas, para serem utilizados em períodos de estiagem, o que reduz a turbidez da água armazenada e adequa-a, na maioria das vezes, ao tratamento por filtração direta, de modo que esta tecnologia passou a ter um excelente potencial de aplicação no nordeste brasileiro. No Ceará, a filtração direta é a tecnologia mais aplicada no tratamento de água para abastecimento, incluindo a ETA-Gavião que abastece a cidade de Fortaleza e região metropolitana. Tem a finalidade de tratar a água captada no reservatório e potabilizá-la para distribuir à população.

Uma vez instalada a tecnologia de filtração direta e ocorrendo mudanças na qualidade da água dos mananciais, particularmente no que tange a proliferação de algas, passa-se a enfrentar problemas tanto nos aspectos relacionados à saúde pública, devido à toxicidade das algas, quanto aspectos operacionais como a sobrecarga dos filtros, baixa qualidade da água tratada, altas perdas devido à necessidade de lavagem constante e mais potencial de produção de subprodutos de desinfecção. Organismos fitoplanctônicos presentes em águas submetidas às tecnologias de tratamento via filtração direta são responsáveis pelo rápido aumento da perda de carga no meio filtrante, obstruindo os filtros em poucas horas de funcionamento, aumentando a frequência de lavagens e conseqüentemente o consumo de água na produção (KURODA, 2006).

4 Materiais e Métodos

4.1 Definição da periodicidade e pontos de amostragem

Amostras de água foram coletadas no açude Gavião em 5 pontos distintos ao longo de seis campanhas, com periodicidade mensal entre dezembro de 2010 a maio de 2011, abrangendo um ciclo hidrológico tipicamente chuvoso. As amostragens foram realizadas sempre no período da manhã, entre 09h00min e 12h00min. Os pontos escolhidos para trabalho foram: GAV05, GAV14, GAV16, Canal Riachão-Gavião (AFLUENTE 1) e Riacho Gavião (AFLUENTE 2), como são mostrados na Figura 4.

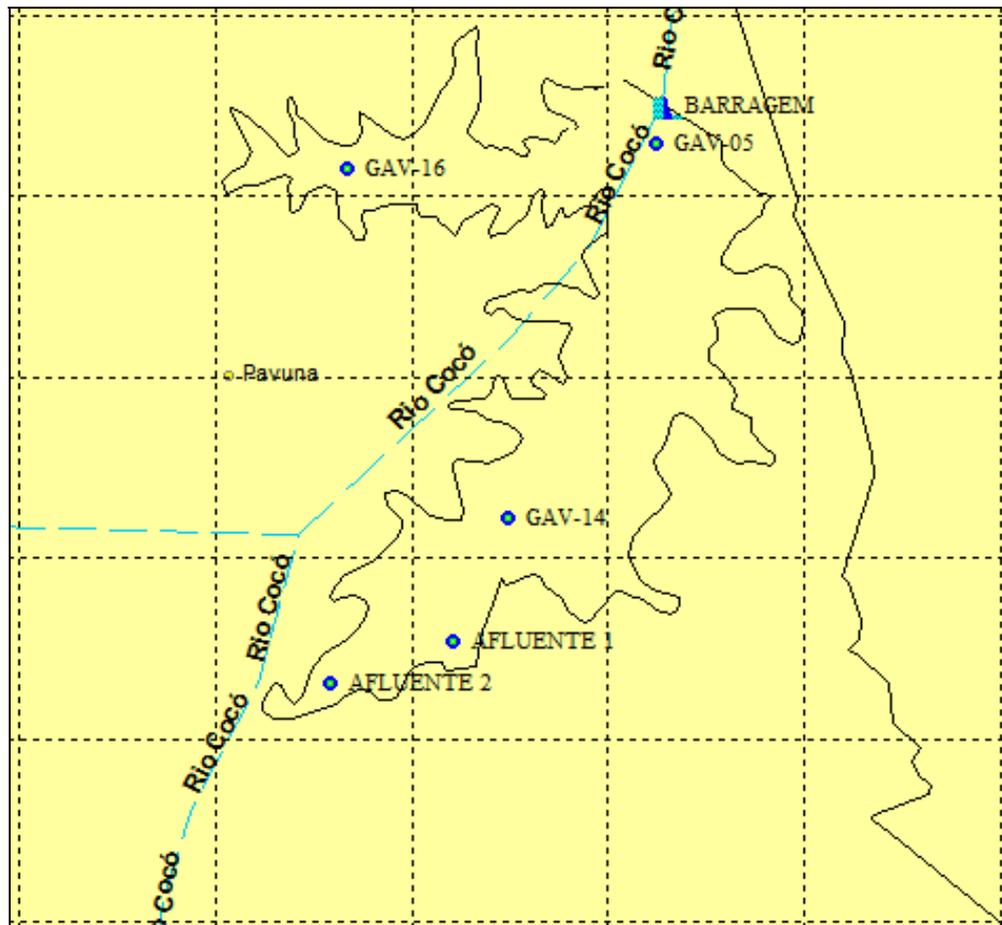


Figura 4 - Pontos de amostragem do açude Gavião – GPS TrackMaker Pacatuba/CE.

A escolha de cada ponto a ser monitorado foi feita levando em consideração a importância estratégica de cada um em particular e sua localização dentro da bacia hidrográfica, mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 - Localização dos pontos de coleta no açude Gavião.

Ponto	Coordenadas (UTM)*	Importância
GAV05	9.568.158 (LAT)	Proximidade da barragem
	549.180 (LOG)	
GAV14	9.565.770 (LAT)	Meio do açude
	548.280 (LOG)	
GAV16	9.567.995 (LAT)	Proximidade à estação de bombeamento
	547.427 (LOG)	
CANAL (Afluente 1)	9.564.864 (LAT)	Próximo ao principal afluente do açude em época de seca
	547.325 (LOG)	
RIACHO (Afluente 2)	9.565.116 (LAT)	Próximo ao principal afluente do açude em época chuvosa
	548.025 (LOG)	

*Universal Transversa de Mercator

A localização dos pontos amostrados procurou distribuir-se ao longo dos eixos longitudinais do açude, além de levar em consideração a zona de entrada dos principais afluentes.

Os pontos Afluente 1 e 2 foram coletados dentro do açude, porém nas proximidades de cada afluente e portanto considerou-se que a qualidade nestes pontos seria a mesma dos referidos afluentes.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram os pontos de coleta amostrados no interior do açude Gavião.



Figura 5 - Ponto de coleta GAV05: Próximo à barragem.



Figura 6 - Ponto de coleta GAV14: Meio do açude.



Figura 7 - Ponto de coleta GAV16: Próximo às bombas.

A vazão de entrada do riacho Gavião nos primeiros 3 monitoramentos foi nula devido ao período de estiagem, não havendo transferência de água para o açude através deste afluente. A partir do mês de março, com o início das chuvas de maior intensidade, o Riacho Gavião começou a alimentar o açude de maneira mais significativa e, portanto, passou-se a monitorar este ponto. O Canal Riachão-Gavião foi monitorado durante toda a extensão do trabalho já que o mesmo alimentou o açude Gavião em todo o período de estudo.

Definidos a periodicidade e o número de pontos, procurou-se ajustar as datas de coleta ao cronograma da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - COGERH, quando haveria disponibilidade de transporte até o reservatório, barco de coleta e sonda multiparamétrica para medições *in situ* (Figura 8).



Figura 8 - Embarcação da COGERH, juntamente com os materiais de coleta no açude Gavião.

Nas duas primeiras campanhas realizadas no açude Gavião (14/12/2010 e 18/01/2011), o tempo foi caracterizado por apresentar-se bastante ensolarado ao longo dos dias de amostragem. Já nas demais campanhas de estudo (17/02, 15/03, 18/04 e 31/05/2011), a condição climática foi caracterizada pela presença de fortes chuvas. O volume de água armazenado no reservatório durante os meses de estudo variou entre 91,16 e 99,38% conforme Figura 2.

A Tabela 5 mostra as condições nas quais o reservatório apresentou-se quando da campanha de amostragem.

Tabela 5 - Características do açude Gavião em cada dia de amostragem.

Data da Campanha	Cota (m)	Volume (m³)	Volume (%)	Precipitação Média Mensal (mm)
14/12/2010	35,57	29.993.198	91,16	97,0
18/01/2011	35,59	30.128.402	91,58	163,0
17/02/2011	35,66	30.601.598	93,01	371,0
15/03/2011	35,97	32.697.208	99,38	290,0
18/04/2011	35,66	30.601.598	93,01	345,0
31/05/2011	35,6	30.240.047	91,92	140,5

Fonte: Precipitação Mensal. COGERH <www.cogerh.gov.ce.br>

A quadra chuvosa nas regiões semiáridas é bastante curta, sendo seu estudo primordial para um bom acompanhamento das variáveis limnológicas ao longo do tempo. E eventualmente, o primeiro semestre do ano de 2011 pôde ser caracterizado por apresentar um elevado índice de precipitação, quando comparado ao mesmo período em anos anteriores, para todo o estado do Ceará (Figura9).

Conforme pode ser observado na Tabela 5 e Figura 9, as precipitações médias mensais no período de experimento ficaram acima médias históricas, na maioria dos meses. Assim, acredita-se que o período estudado caracterizou-se como um período representativo de uma quadra chuvosa para se compreender o fenômeno de transporte de nutrientes na área em estudo.

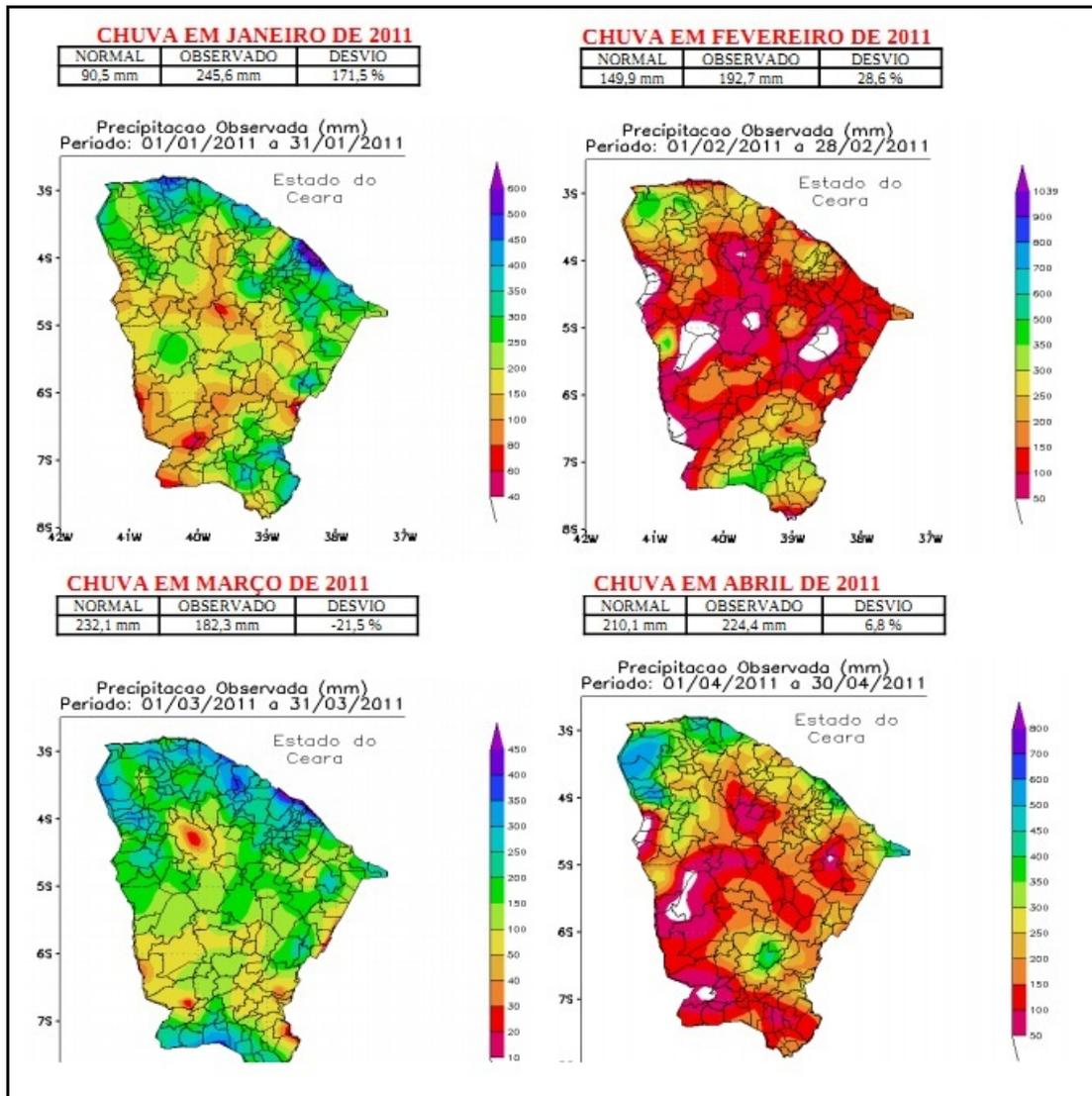


Figura 9 - Boletim diagnóstico de chuva para os meses de Janeiro a Abril de 2011.(FUNCEME, 2011b).

4.2 Perfis de variáveis físicas e químicas

4.2.1 Medidas em campo

As medidas de profundidade (m), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH, oxigênio dissolvido (mg/L), turbidez (NTU) e clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) foram feitas *in situ* utilizando-se sonda multiparamétrica (MODELO YSI 6600V2, pertencente a COGERH(Figura 10)).



Figura 10 - Sonda multiparamétrica utilizada para realizar a perfilagem no açude Gavião.

As sondagens ao longo dos respectivos perfis verticais foram realizadas da sub-superfície (30 cm de profundidade) até à proximidade do fundo, em intervalos regulares de 0,5 m da coluna d'água.

A sonda foi previamente calibrada com as respectivas soluções padrões, cobrindo as faixas de valores ordinariamente registrados no açude investigado. Foram tomados alguns cuidados para a correta utilização da sonda de "medição *in situ*" (SRH-CE/COGERH, 2001):

- Calibração antes da utilização, de acordo com os descritos no manual do instrumento;

- Verificou-se a integridade física dos eletrodos e sensores de medição periodicamente;
- Os sensores onde ficam encaixados os eletrodos de medição ficaram imersos em solução condicionante específica ou em água deionizada para manter as membranas dos eletrodos hidratadas. No entanto, este procedimento não excluiu a necessidade de calibração periódica da sonda com soluções padrões para cada parâmetro ou solução de calibração única como descrito no manual do instrumento;
- Teve-se o cuidado para não encostar a “cabeça” da sonda no sedimento de fundo. Este erro pode ser evitado através da determinação prévia da profundidade do perfil amostrado feito com o profundímetro. Caso ocorra isto, a sonda deve ser lavada com a própria água do corpo d’água amostrado antes da próxima medição;
- Antes de se começar as medidas em um próximo ponto do mesmo corpo de água, deve-se rinsar a cabeça da sonda, onde ficam os eletrodos, com água destilada ou deionizada ou, opcionalmente, com a própria água do açude naquele ponto.

4.2.2 Coletas de água em profundidade

As amostras de água para análises das séries de Nitrogênio (nitrato, nitrito, amônia e nitrogênio orgânico) e de Fósforo (fósforo total e ortofosfato) foram coletadas com amostrador de Van Dorn (Figura 11) e transferidas para frascos de vidro do tipo âmbar, previamente descontaminados com ácido clorídrico, HCl, a 10%, por no mínimo duas horas e enxaguados com água destilada.



Figura 11 - Amostrador de Van Dorn utilizado nas campanhas de amostragem.

No ponto GAV05, que está localizado na região mais profunda do açude, com aproximadamente 12 m de profundidade, foram coletadas amostras em 5 profundidades distintas: superfície (30 cm), fundo e três outras intermediárias (em torno de 3 m, 6 m e 9 m), com o intuito de se obter mais informações do perfil do ponto considerado o mais representativo do açude.

Nos pontos GAV14 e GAV16 foram coletadas amostras em três profundidades dispostas da seguinte maneira: amostra da superfície (30 cm), amostra próxima ao fundo (0,5 m acima do sedimento) e uma amostra intermediária (em torno de 3 a 4 m, já que a profundidade máxima nestes dois pontos varia em torno de 7 m).

Os pontos que representam as entradas de água no reservatório – Canal e Riacho – apresentam profundidade média em torno de 4m. Neste caso, foram coletadas águas apenas na superfície.

As profundidades máximas em cada ponto foram medidas com um profundímetro de marca SpeedTech Instruments, equipamento pertencente à COGERH, mostrado na Figura 12.



Figura 12 - Profundímetro digital utilizado para medir a profundidade máxima em cada ponto de amostragem no açude Gavião.

A localização de cada ponto foi efetuada através de um GPS (Global Positioning System) pertencente à COGERH, modelo GarminEtrexLegend. O equipamento é mostrado na Figura 13.



Figura 13 - Equipamento de rastreamento por satélite utilizado durante as campanhas de coleta de água.

Em todas as amostragens, os frascos foram etiquetados e lavados com a própria amostra antes da inserção da mesma no frasco. As amostras foram mantidas a aproximadamente 4°C em isopor com gelo até a chegada ao laboratório SELAQUA, Seção Laboratorial de Qualidade de Água, localizado na Universidade Federal do Ceará - UFC, no Campus do Pici(Figura 14).



Figura 14 - Amostras sobre a bancada do laboratório de análises, após a coleta no açude Gavião.

Amostras para determinação de nutrientes dissolvidos foram filtradas em membranas de filtração de 0,45 μ m de porosidade e analisadas dentro de um limite máximo de 48 horas, obedecendo sempre ao prazo de cada análise conforme preconiza cada método. As técnicas analíticas utilizadas para a quantificação de cada parâmetro é citada individualmente na Tabela6.

Tabela 6 - Métodos e referências para as análises dos parâmetros estudados.

Parâmetros	Técnica/Método Analítico	Referência
Nitrato NO₃⁻	Espectrofotométrico (Método da Coluna Redutora de Cádmio)	APHA (2005)
Nitrito NO₂⁻	Espectrofotométrico (Método de Griess)	APHA (2005)
Amônia	Método da Destilação seguido de Titulação	APHA (2005)
N-Orgânico	Método da Digestão Ácida de Kjeldahl	APHA (2005)
Fósforo-Total	Espectrofotométrico (Digestão com Persulfato/Método do Ácido Ascórbico)	APHA (2005)
Ortofósforo	Espectrofotométrico (Método do Ácido Ascórbico)	APHA (2005)

Água deionizada e reagentes P.A. foram utilizados para o preparo de soluções, guardando-se o máximo cuidado com o manejo e descontaminação de toda a vidraria.

4.3 Estimativa de vazão afluente

O açude Gavião apresenta dois pontos principais de entrada que alimentam o reservatório ao longo do ano, são eles: o Canal Riachão-Gavião e o Riacho Gavião (Figuras 15 e 16). Logo, a afluência total ao açude, dá-se principalmente pela soma das vazões destes dois afluentes.



Figura 15 - Fotografia da entrada do Canal Riachão-Gavião.



Figura 16 - Fotografia próxima ao ponto de coleta do Riacho Gavião.

A vazão do Canal Riachão-Gavião é regulada basicamente para manter a ETA–Gavião e a Estação de Bombeamento (EB) em operação (EB – Gavião, que abastece as indústrias de grande porte do Distrito Industrial de Maracanaú e as ETAs de Maranguape, Pacatuba, Guaiúba e Pavuna).

A vazão deste Canal não varia significativamente durante o ano (entre 6,9 e 8,5 m³/s). A variação se dá devido ao aumento da demanda populacional durante o ano e a variação evaporimétrica. Durante os meses mais quentes (em geral

setembro, outubro e novembro), devido ao maior consumo de água pela população e quando não há escoamento superficial, a vazão chega ao pico máximo de 8,5 m³/s. Comumente, o reservatório é operado entre as cotas 35,70 e 35,50 m, variando aproximadamente 20 cm (COGERH, dados não publicados).

Desta forma, a vazão de entrada do açude é aproximadamente a sua vazão saída, que no caso, é a vazão de entrada da ETA mais a evaporação. Em outras palavras, a abertura das comportas do Canal Riachão-Gavião é regulada, fundamentalmente, de acordo com a necessidade de abastecimento da ETA Gavião, já que para abastecer a EB-Gavião, a demanda média de água é pequena variando em torno de 316 L/s (média anual em 2010 - ANEXOB).

A vazão de afluência do açude através do Riacho Gavião (fenômeno que só ocorre quando os índices de precipitação incidente na bacia hidrográfica do Gavião são elevados) é difícil de ser determinada, já que ocorre durante uma estreita faixa de tempo ao longo do ano e pelo fato de ainda não se ter dados suficientes da morfometria do riacho para que esta vazão seja estimada.

Por esta razão, a vazão afluente ao açude Gavião foi estimada a partir de um balanço hídrico o qual considerou a alteração no volume armazenado do açude, obtido a partir das leituras diárias das cotas, das taxas de evaporação, do vertimento e da vazão liberada pela barragem.

Dados de cota-volume do açude Gavião foram usados a fim de se determinar a vazão total de entrada no açude (Vazão do Canal Riachão-Gavião + Vazão do Riacho Gavião). Utilizou-se a seguinte equação matemática para estimar a vazão em questão (modificado de WOLLENWEIDER, 2000):

$$V_{t+1} = V_t + I - E_t - S_t - R_t \quad (1)$$

Onde:

V_{t+1} = volume do tempo atual (L³)

V_t = volume do tempo anterior (L³)

I = afluência total ao açude (L³/T)

E_t = evaporação em determinado tempo (L/T)

S_t = vertimento (L³)

$$R_t = \text{retirada (L}^3/\text{T)}$$

Rearranjando a Equação (1) acima, temos:

$$I = V_{t+1} - V_t + E_t + S_t + R_t \quad (2)$$

Sendo a variação de volume: $V_{t+1} - V_t = \Delta V$, obtém-se:

$$I = \Delta V - V_t + E_t + S_t + R_t \quad (3)$$

A equação 3 é a que rege a afluência total, podendo ser utilizada para qualquer reservatório. No caso, quando aplicada ao açude Gavião, seu resultado expressará a soma das afluências do Riacho Gavião e Canal Riachão-Gavião.

É mostrado abaixo como foi calculado cada termo da equação do balanço hídrico (APÊNDICE A), aplicado ao reservatório que abastece a Região Metropolitana de Fortaleza, o açude Gavião.

- O termo '*variação de volume (ΔV)*' foi obtido a partir da tabela COTA x VOLUME durante o período estudado, dado em m³/dia.
- Os valores de '*evaporação (E_t)*' foram baseados nos dados médios mensais obtidos de 2000 a 2010 no açude Gavião (ANEXO C). As informações foram cedidas gentilmente pela COGERH.
- O termo '*vertimento do açude (S_t)*' foi estimado a partir de fórmula empírica, tendo como base a cota máxima de vertimento 36,0 m:

Se cota < 36,0 m, o vertimento é nulo ($S = 0$)

Se cota > 36,0 m, utilizou-se:

$$S = C \cdot L \cdot (H - H_{\text{vert}})^{1,5},$$

Fórmula de Poncelet e Lesbros → útil para cálculos rápidos

No qual:

C = coeficiente de vertimento (entre 1,65 e 2,25; valor mais utilizado para vertedores retangulares: $C = 1,77$)

L = largura do sangradouro ($L = 20,0$ m)

H = cota atual

H_{vert} = cota de vertimento ($H_{vert} = 36,0$ m)

- O último termo da equação 'retirada (R_r)' foi obtido a partir de dados do volume de água captado pela ETA durante o período de estudo, já que a retirada de água que ocorre no açude é, basicamente, para o abastecimento da ETA-Gavião. As informações foram cedidas gentilmente pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE (ANEXO D).

Com tais valores obtidos e calculados, o balanço hídrico do reservatório pôde ser realizado. A partir dele, determinou-se uma estimativa da vazão afluente total ao açude Gavião durante o período estudado. Os valores médios mensais calculados durante o período são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios mensais da vazão afluente ao açude Gavião (JAN-MAI/2011).

Campanhas	Afluência Mensal (m ³ /s)
JAN	8,20
FEV	7,30
MAR	8,23
ABR	8,49
MAI	7,95

4.4 Estimativas para o balanço de nutrientes

A vazão de entrada, juntamente com as concentrações, controla o balanço dos materiais no açude e seu entendimento é de vital importância para

determinar a influência destes materiais na qualidade da água, além de se poder conhecer o destino destes nutrientes uma vez inserido no reservatório.

O balanço de nutrientes é realizado através da obtenção dos fluxos de entrada e saída de nutrientes no açude. As cargas de massa foram calculadas a partir das concentrações de nutrientes e das vazões de água que entram e saem do açude.

Para a elaboração do balanço de massa, algumas considerações foram feitas:

- O balanço para o nitrogênio é calculado pela soma de todas as concentrações médias das frações nitrogenadas quantificadas no reservatório: Nitrogênio Total = Nitrito + Nitrato + Amônia + N-Orgânico;
- O balanço para o fósforo é calculado com as concentrações médias de fósforo total para cada estrato;
- O conteúdo de nutrientes presentes no reservatório, mês a mês, foi calculado considerando-se uma área de influência para cada ponto amostral, a partir do qual, com os dados de batimetria, calcularam-se os volumes de influência de cada ponto. Encontrou-se a massa (em toneladas) de cada nutriente multiplicando-se a concentração média (em mg/L) na coluna naquele ponto pelo volume (em litros) de influência calculado;
- A área de influência foi definida da seguinte forma: Primeiramente, a distância do ponto GAV16 até a margem esquerda é de aproximados 629,87 m. Sendo assim, este valor foi tomado como raio, obtendo-se como zona de influência para este ponto 1258,74 m ($2 \times 629,87$ m). Da mesma forma, foi obtido 445,5 m para o raio médio entre os pontos de afluência, resultando em 891,0 m ($2 \times 445,5$ m) de zona de influência. A distância entre o ponto GAV14 e os pontos de afluência é de aproximadamente 1135,29 m. Sendo assim, o raio de influência para este ponto foi de $1135,29 - 445,5 = 689,79$ m. Apresentando como zona de influência 1379,58 m ($2 \times 689,79$ m). Prosseguindo com as áreas de influência, a distância entre os pontos GAV05 e GAV14 é 2326,49 m aproximadamente. Desta forma, diminuiu-se deste valor o raio de influência do ponto GAV14 = $2326,49 - 689,79 = 1636,70$ m e sendo a distância do ponto GAV16 ao GAV05 1771,60 m, diminuiu-se então deste valor, o raio de influência do GAV16 629,87 m, obtendo-se $1771,60 - 629,87 = 1141,73$ m.

Por último, a zona de influência do ponto GAV05 é: $1636,70 + 1141,73 = 2778,43$ m. A determinação desta área de influência foi uma tentativa de darem-se pesos diferentes aos pontos, já que cada um apresenta profundidades e características diferentes. Esta consideração pode não ser precisa, mas tornou-se necessária para se estipular o balanço de massa. A Figura 17 mostra cada ponto de coleta com sua zona de influência.

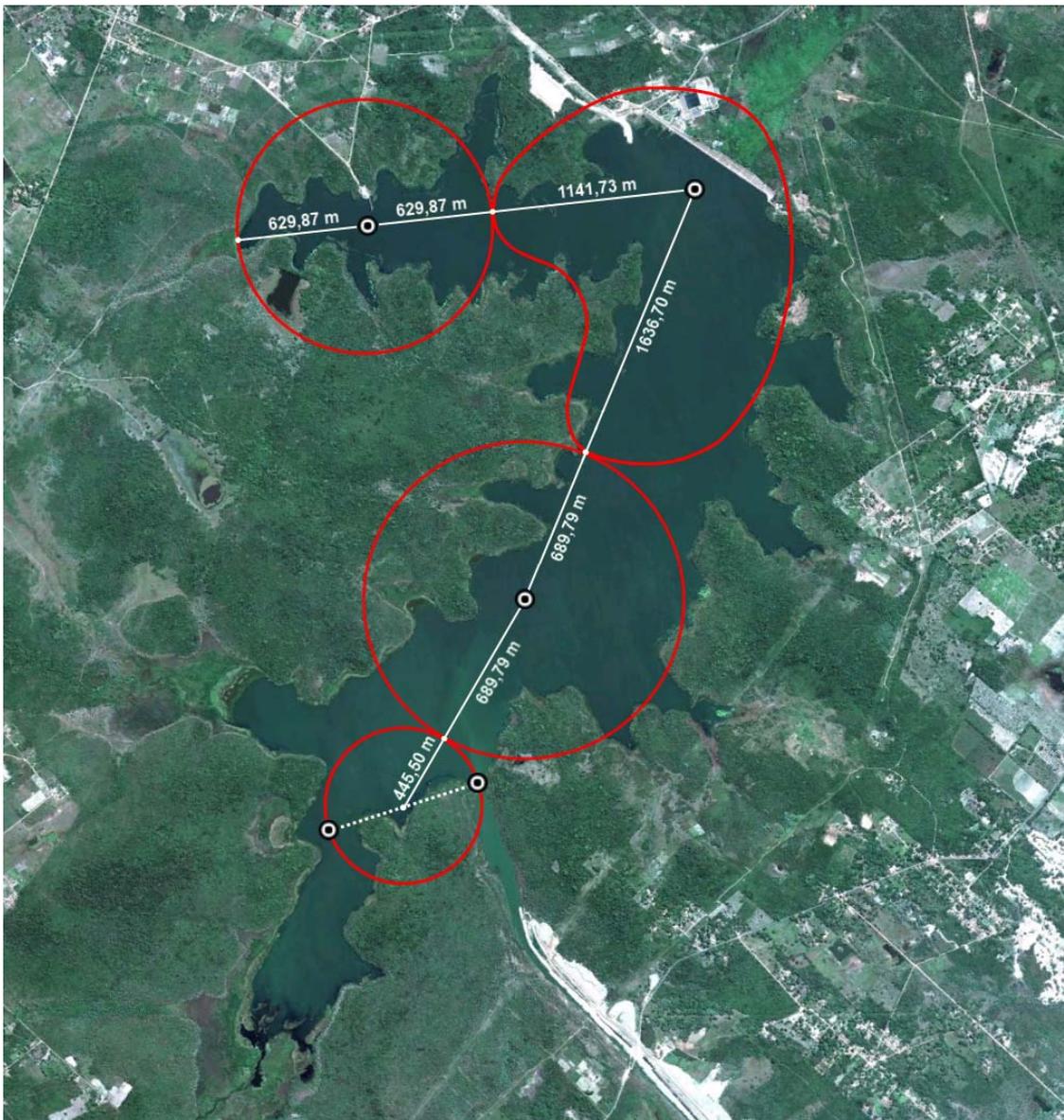


Figura 17 - Zona de influência para cada ponto amostrado no açude Gavião.

- O carregamento dos nutrientes ao açude é dado a partir dos dois afluentes principais: soma das cargas de nutrientes dos pontos Canal Riachão-Gavião e do Riacho Gavião, obtidos a partir da multiplicação da vazão calculada pela concentração em cada ponto.
- A saída de nutrientes pela ETA foi calculada levando-se em consideração a média ponderada das concentrações ao longo da coluna d'água no ponto GAV05 multiplicada pela vazão da ETA-Gavião.
- A saída de nutrientes pela EB foi calculada levando-se em consideração a média ponderada das concentrações ao longo da coluna d'água no ponto GAV16 multiplicada pela vazão da EB.
- O balanço de massa foi feito individualmente para cada mês de trabalho (Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio/2011), possibilitando observar mês a mês as variações dos nutrientes contidos na massa líquida, a massa sedimentada ou desnitrificada as cargas de entrada e de saída;

O conteúdo mássico de nutrientes no reservatório foi quantificado usando uma média ponderada levando em conta o peso de cada ponto. De maneira geral:

$$C_R = ((C_{GAV05} * P_1) + (C_{GAV14} * P_2) + (C_{GAV16} * P_3)) / (P_1 + P_2 + P_3) \quad (4)$$

No qual, cada termo representa:

C_R = concentração de nutrientes presente no reservatório em cada mês

C_{GAV05} = concentração no ponto GAV05

P_1 = peso do ponto GAV05, $P_1 = 2778,43$

C_{GAV14} = concentração no ponto GAV14

P_2 = peso do ponto GAV14, $P_2 = 1379,58$

C_{GAV16} = concentração no ponto GAV16

P_3 = peso no ponto GAV16, $P_3 = 1259,74$

A seguinte equação matemática foi utilizada a fim de se obter o balanço de massa para os nutrientes (modificado de WOLLENWEIDER, 2000):

$$B = C_R + C_A - R \quad (5)$$

Onde:

B = resultado obtido com o balanço de massa

C_R = concentração de nutrientes presente no reservatório em cada mês

C_A = carga de nutrientes que chega ao reservatório a partir dos afluentes

R = carga de nutrientes que sai do reservatório

É válido ressaltar, que o termo '*B*' pode ser tanto positivo quanto negativo, a retenção ou exportação os nutrientes em um dado período.

Outra consideração importante é que, para o nitrogênio, o valor de '*B*' representará a soma 'Sedimentação + Desnitrificação', já que não foi possível quantificar a volume de N₂ que retorna para a atmosfera pelo processo de desnitrificação. Já o termo '*B*' para o fósforo representa fielmente a massa sedimentada no açude.

Para a elaboração do balanço foi adotada a cota máxima de referência 35,5 m, já que, na maioria do período de estudo, o açude permaneceu em média nesta cota. Informações técnicas importantes tais como a cota, a área e o volume do açude foram obtidos a partir da Figura 18, para a construção do balanço dos nutrientes.

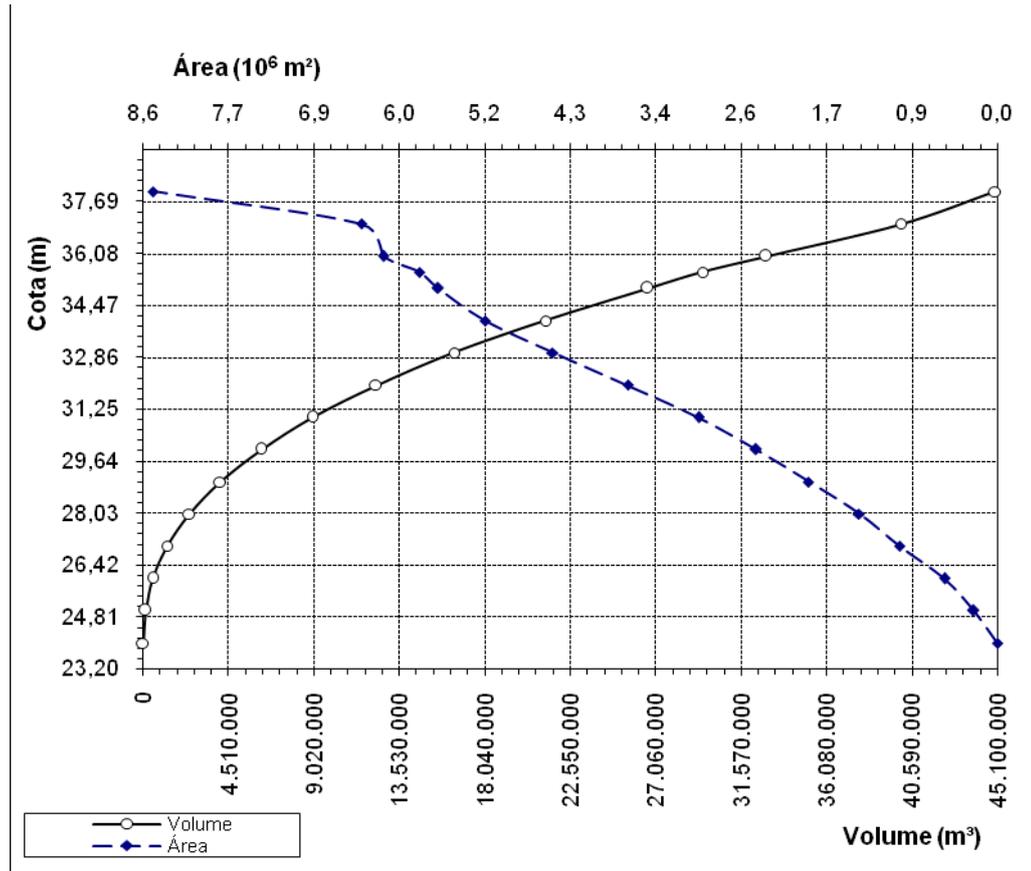


Figura 18 - Gráfico CAV - Cota x Área x Volume do açude Gavião, Pacatuba/CE. (Fonte: COGERH, dados não publicados).

Os estratos utilizados no balanço foram considerados de acordo com a Tabela 8, mostrando a cota de referência adotada (35,5 m) e as demais cotas até a profundidade máxima amostrada no açude (aprox. 11,5 m), com suas respectivas áreas em km² e volumes em m³.

Tabela 8 - Cota-Área-Volume, incluindo as respectivas profundidades do açude Gavião e os estratos considerados.

Estratos (m)	Prof. (m)	Cota (m)	Área (km ²)	Volume (m ³)
1	0	35,5	5,82	29520000
	0,5	35	5,63	26660000
	1,5	34	5,16	21230000
	2,5	33	4,48	16400000
	3	33,5	4,10	14350000
2	3,5	32	3,72	12300000
	4,5	31	3,01	8940000
	5,5	30	2,43	6230000
	6	30,5	2,17	5150000
3	6,5	29	1,9	4070000
	7,5	28	1,39	2430000
	8,5	27	0,98	1260000
	9	27,5	0,755	880000
4	9,5	26	0,53	500000
	10,5	25	0,24	120000
	11,5	24	0	0

No ponto GAV05, As profundidades de coleta foram: superfície, 3 m, 6 m, 9 m e proximidades do fundo. Desta forma, estes estratos representam bem toda a morfometria do açude. O estrato 1 compreende da superfície até os 3m, o estrato 2 dos 3 m até 6 m, o estrato 3 representa de 6 m até 9 m e o estrato 4 dos 9 m até próximo ao sedimento.

É válido ressaltar que apenas o ponto GAV05 possui os 4 estratos, já que possui 12 m de profundidade, aproximadamente. Os pontos GAV14 e GAV16 apresentam em média 6 m de profundidade, sendo representados pelos estratos 1 e 2, e como os dois afluentes foram amostrados apenas na superfície, os mesmos contribuem apenas para o estrato 1.

O termo do balanço ' C_R ', que representa o conteúdo do reservatório para os pontos no interior do açude, foi obtido a partir dos volumes dos estratos com suas respectivas concentrações dos nutrientes determinadas em laboratório.

Os termos ' C_A ' e ' R ' foram determinados usando a relação:

$$Carga = Concentração \times Vazão \quad (6)$$

Utilizando-se em cada caso, a vazão afluente estimada ou a vazão de saída.

Foram trabalhadas as médias, máximas, mínimas, amplitudes, desvio padrão e coeficiente de variação para os valores de cada parâmetro na coluna d'água, ponto e mês de coleta.

5 Resultados e Discussões

5.1 Perfilagem com sonda nos pontos de estudo

No monitoramento *in situ* no reservatório, foram feitas sondagens verticais utilizando um equipamento portátil (sonda). O material para análise do comportamento dos parâmetros de qualidade da água foi obtido pelas medições realizadas por intermédio da sonda nos cinco pontos de amostragem no açude Gavião e em 1, 3 ou 5 profundidades distintas, dependendo do ponto de coleta. Os parâmetros foram medidos nas várias profundidades de 0,5 em 0,5m até proximidades do sedimento (cerca de meio metro do fundo). Devido aos elevados índices de evaporação e baixa pluviosidade antes de março de 2011, o ponto Riacho - Afluente 2 só foi amostrado a partir desta data.

Foram estudadas as seguintes características da água para cada ponto de trabalho: temperatura (°C), concentração de oxigênio dissolvido (mg/L), pH, turbidez (NTU) e clorofila-a (µg/L) ao longo da coluna.

5.1.1 Temperatura (°C)

A temperatura influencia diretamente a cinética dos processos metabólicos oxidativos vitais (respiração, processos de decomposição da matéria orgânica, solubilidade de gases), atua diretamente sobre a magnitude e variação dos valores da densidade da água e é indicativa de estratificação térmica. As diferenças de densidade ao longo da coluna d'água, induzidas pelos gradientes de temperatura, podem atuar sobre o ciclo de algumas substâncias químicas através do seu aprisionamento nas camadas inferiores, impedindo sua difusão através da massa líquida, podendo inclusive, no caso dos nutrientes, limitar a produtividade do ecossistema.

A caracterização dos perfis verticais de temperatura em um reservatório fornece uma base sólida para o entendimento das mudanças provocadas pelo aquecimento da água. A Tabela 9 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 19 apresenta a variação de temperatura ao longo da coluna d'água no ponto GAV05.

Tabela 9 – Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto GAV05.

T(°C)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (°C)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	28,7	28,52	0,18	28,55	0,052	0,182
FEV	29,62	28,01	1,61	28,45	0,398	1,400
MAR	29,18	27,48	1,7	28,36	0,524	1,848
MAI	28,81	28,76	0,05	28,77	0,014	0,048

O maior valor de temperatura encontrado neste ponto durante as campanhas de amostragem foi em fevereiro (29,62°C), enquanto que o menor valor observado foi em março (27,48°C). As médias oscilaram entre 28,26 e 28,77°C. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de março, 0,524 e 1,848% respectivamente. A importância de se calcular desvio padrão e coeficiente de variação para o parâmetro temperatura é que indicam quão difícil é de desestratificar a massa líquida, pois a estratificação térmica é mais significativa, com amplitude de 1,70°C.

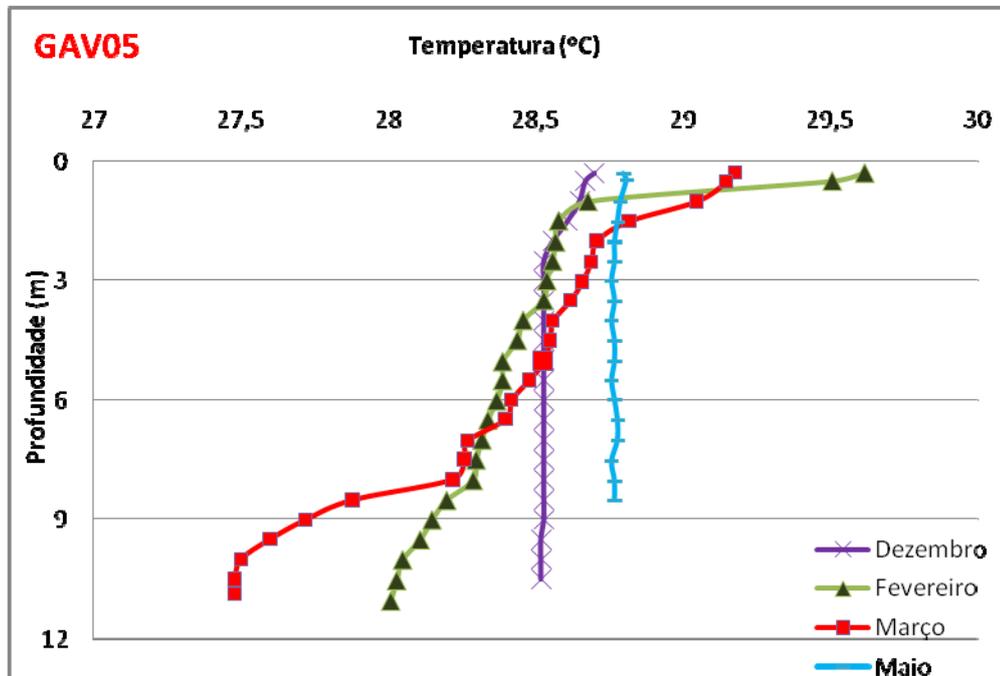


Figura 19 - Variação de temperatura no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os valores de temperatura no ponto GAV05, cuja profundidade máxima é 12 m, situaram-se durante todo o período de estudo, entre 27,48 e 29,62°C, considerando superfície e fundo. Em dezembro de 2010, mês caracterizado por apresentar baixos índices de precipitação, observou-se uma eficiente mistura da coluna d'água, caracterizando um ambiente termicamente desestratificado. Fenômeno este também observado durante a campanha do mês de maio de 2011, no qual a amplitude térmica máxima foi de apenas 0,05°C.

No caso de lagos que apresentam temperaturas aproximadamente uniformes em toda a coluna, a propagação do calor através de toda massa líquida pode ocorrer de maneira muito eficiente, pois nestas condições, a densidade da água é praticamente igual em todas as profundidades, não havendo, portanto, barreira física à circulação completa. Sob estas condições, diz-se que o lago encontra-se em instabilidade térmica e o vento é o agente fornecedor de energia indispensável para a mistura das massas d'água (ESTEVES, 1998).

Já durante os meses de fevereiro e março, estabeleceu-se uma estratificação térmica, ou seja, o calor não se distribuiu uniformemente, criando uma condição de instabilidade térmica, mesmo com gradiente térmico sendo pequeno, com diferenças em torno de 1,5°C. Assim, concluiu-se que este reservatório, localizado em região tropical semiárida, se estratifica mesmo com reduzida diferença de temperatura entre o epilímnio (camada rica em O₂) e o hipolímnio (camada pobre em O₂).

A Tabela 10 mostra os dados básicos de estatística e a Figura 20 apresenta a variação de temperatura ao longo da coluna d'água no ponto GAV14.

Tabela 10 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto GAV14.

T(°C)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (°C)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	28,82	28,61	0,21	28,68	0,078	0,270
FEV	29,3	27,3	2	28,47	0,589	2,067
MAR	29,37	27,98	1,39	28,74	0,536	1,866
MAI	28,88	28,83	0,05	28,85	0,016	0,057

Neste ponto, o maior valor de temperatura encontrado durante as campanhas de amostragem foi em março (28,37°C), enquanto que o menor valor observado foi em fevereiro (27,3°C). As médias oscilaram entre 28,47 e 28,85°C. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de fevereiro, 0,589 e 2,067% respectivamente.

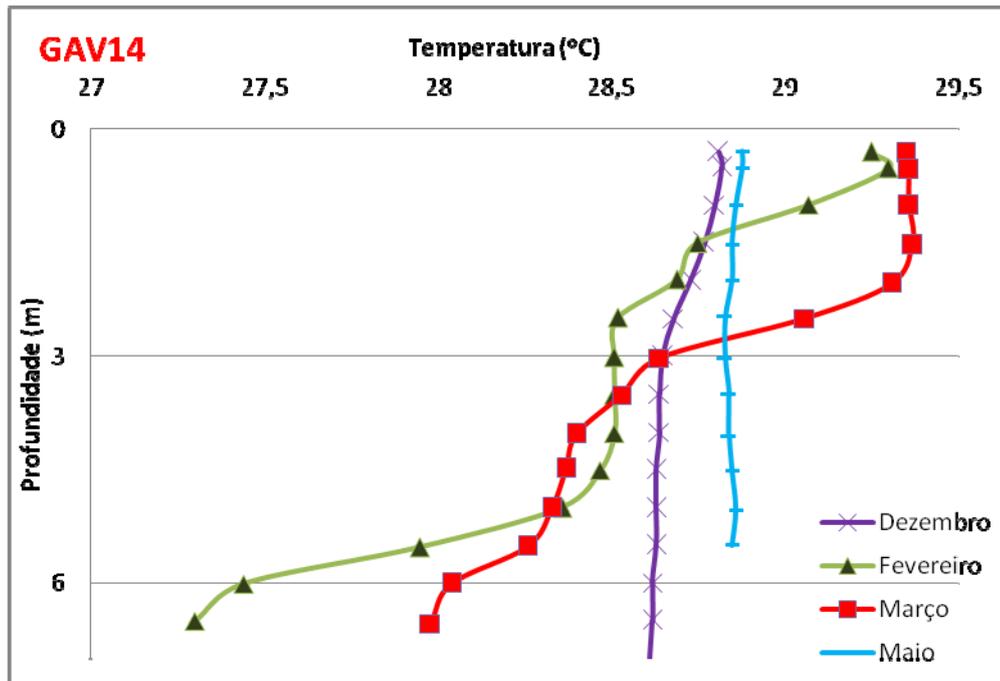


Figura 20 - Variação de temperatura no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV14, observaram-se perfis similares àquele encontrado no ponto GAV05 (desestratificação em dezembro/maio e estratificação em fevereiro/março). No entanto, apresentou uma estratificação térmica mais discreta, com amplitudes de temperaturas variando no máximo em torno de 2°C.

A Tabela 11 mostra os dados básicos de estatística e a Figura 21 apresenta a variação de temperatura ao longo da coluna d'água no ponto GAV16.

Tabela 11 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto GAV16.

T(°C)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (°C)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	28,98	28,65	0,33	28,81	0,106	0,367
FEV	29,23	28,43	0,8	28,87	0,306	1,060
MAR	28,43	28,02	0,41	28,28	0,133	0,470
ABR	28,81	28,26	0,55	28,71	0,191	0,666
MAI	29,23	29,12	0,11	29,18	0,035	0,121

No ponto GAV16, o maior valor de temperatura encontrado durante as campanhas de amostragem foi em fevereiro e maio (29,23°C), enquanto que o menor valor observado foi em março (28,02°C). As médias oscilaram entre 28,28 e 29,18°C. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de fevereiro, 0,306 e 1,060% respectivamente.

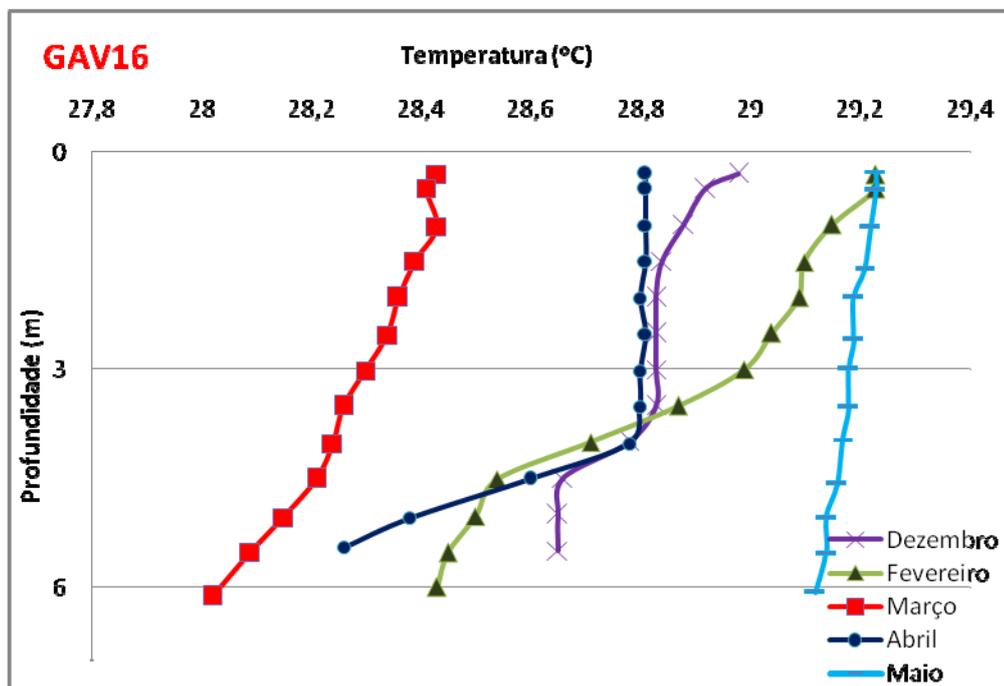


Figura 21 - Variação de temperatura no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV16, o perfil de temperatura em dezembro mostrou-se estratificado termicamente, diferente do que foi observado nos outros pontos, apresentando termoclina (descontinuidade de temperatura) nas profundidades 0,0 a 2,0 m e 3,5 a 4,4 m. Este comportamento pode estar associado às características

morfológicas desta área do açude, já que a mesma encontra-se mais protegida dos ventos, além de não apresentar nenhum afluente significativo. Somente no mês de maio o perfil de temperatura apresentou um comportamento similar aos dos outros pontos, mantendo-se praticamente constante ao longo da coluna, caracterizando desestratificação.

Levando em consideração os pontos GAV05, GAV14 e GAV16, em todos os meses de amostragem, observou-se um valor médio de temperatura em torno de 28,67°C. Freire (2000), em estudos também realizados no açude Gavião, obteve valores médios entre 27,7 e 30,9°C. Sendo os períodos chuvosos, os meses que apresentaram as maiores diferenças de temperatura entre superfície e fundo. Ainda no Gavião, Braga (2006) encontrou valores entre 26 e 28,5°C tanto durante o período chuvoso quanto no período seco. Valores bem próximos aos encontrados no atual estudo realizado.

Queiroz (2003) estudou o Lagamar do Cauípe (Caucaia/CE), obtendo valores de temperatura entre 27,5°C e 30,2°C, mostrando uma pequena amplitude térmica anual (3,7°C), característica própria dos ecossistemas aquáticos tropicais, semelhantes aos valores encontrados no açude Gavião no atual período estudado, porém a maior amplitude térmica encontrada foi de 2°C.

As Tabelas 12 e 13 mostramos dados de estatística descritiva e as Figuras 22 e 23 apresentam a variação de temperatura ao longo da coluna d'água nas zonas de entrada do açude: Canal Riachão-Gavião e Riacho Gavião, respectivamente.

Tabela 12 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto de afluência CANAL.

T(°C)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (°C)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	28,7	28,43	0,27	28,55	0,114	0,401
FEV	29,22	27,3	1,92	28,66	0,665	2,319
MAR	29,64	28,74	0,9	29,44	0,317	1,077
MAI	28,91	28,7	0,21	28,80	0,067	0,232

No ponto de afluência CANAL, o maior e o menor valor de temperatura encontrados durante as campanhas de amostragem foram em março

(respectivamente 29,64°C e 27,3°C). As médias oscilaram entre 28,55 e 29,44°C. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de fevereiro, 0,665 e 2,319% respectivamente.

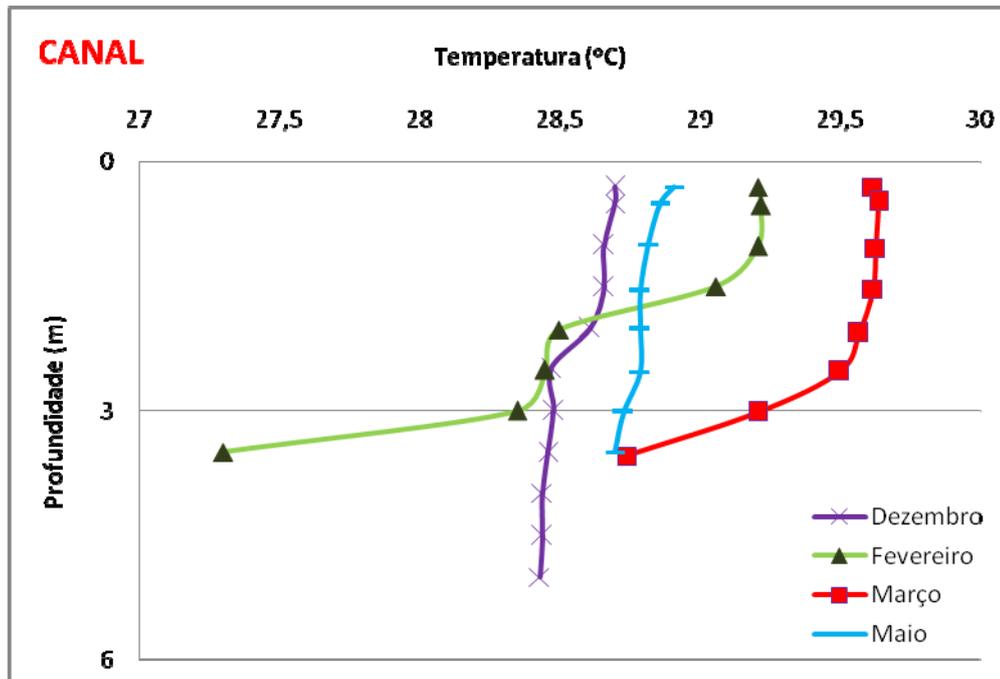


Figura 22 - Variação de temperatura no ponto de afluição CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Para o ponto do CANAL (Afluente 1), os resultados mostram que, ao longo do tempo de estudo, a temperatura na superfície varia de 28,5 a 29,5°C e que seus perfis mostram que há uma estratificação considerável neste reservatório, durante os meses de fevereiro e março e uma desestratificação durante as campanhas realizadas em dezembro de 2010 e maio de 2011.

Tabela 13 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de temperatura no ponto de afluição RIACHO.

T(°C)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (°C)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
MAR	29,82	29,04	0,78	29,52	0,331	1,122
MAI	29,41	29,15	0,26	29,28	0,078	0,265

No ponto de afluição RIACHO, o maior e o menor valor de temperatura encontrados durante as campanhas de amostragem foram em março

(respectivamente 29,82°C e 29,04°C). A média térmica oscilou em torno de 29,4°C. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de fevereiro, 0,331 e 1,122% respectivamente.

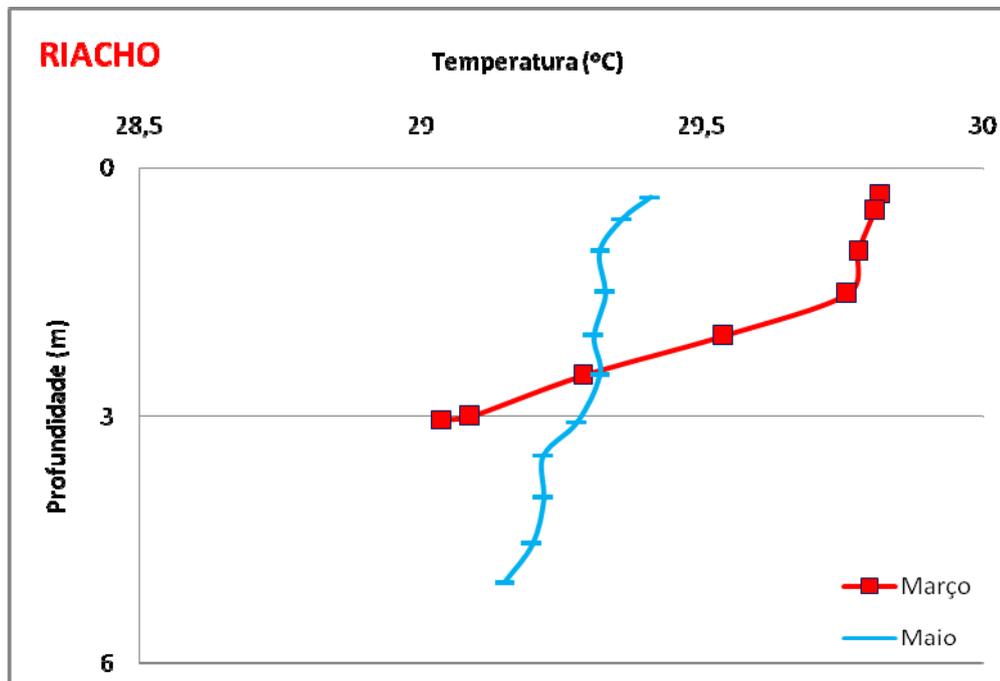


Figura 23 - Variação de temperatura no ponto de afluição RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

O RIACHO (Afluente 2) apresentou, ao longo das campanhas de monitoramento, variação térmica menor que 1°C, não apresentando estratificação térmica significativa. A temperatura apresentou um pico máximo de 29,82°C e um mínimo de 29,09°C, ambos no mês de março.

5.1.2 Oxigênio Dissolvido (OD)

Segundo Datsenko (2000), o oxigênio dissolvido no corpo d'água está diretamente relacionado a processos do metabolismo aquático e pode fornecer uma informação preciosa para se analisar o comportamento da qualidade da água em açudes do semiárido nordestino, principalmente, em função das altas temperaturas que ocorrem nesta região. Considerando a grande variabilidade espacial que existe na concentração de oxigênio dissolvido dentro de um reservatório, o estudo do

oxigênio dissolvido pode representar uma medida geral da condição da qualidade da água nos açudes.

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O₂) é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. As perdas são: o consumo pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, como por exemplo: o ferro e o manganês (ESTEVEZ, 1998).

A Tabela 14 mostra os dados básicos de estatística e a Figura 24 apresenta a variação da concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água no ponto GAV05.

Tabela 14- Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto GAV05.

OD (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	5,51	3,61	1,9	4,49	0,41	9,19
FEV	9,87	0,16	9,71	2,20	3,02	137,22
MAR	8,09	0,14	7,95	3,16	3,04	96,45
MAI	7,7	7,38	0,32	7,49	0,10	1,28

No ponto GAV05, a maior concentração de oxigênio dissolvido encontrado durante as campanhas de amostragem foi em fevereiro (9,87 mg/L). As médias oscilaram entre 2,20 e 7,49 mg/L. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de fevereiro, 3,02mg/L e 137,22% respectivamente. A importância de se calcular desvio padrão e coeficiente de variação para o parâmetro OD é que indicamos quão diferentes estão as concentrações entre superfície e fundo. Desta forma, maiores valores de DP e CV indicam estratificação química mais significativa. Durante a perfilagem com sonda na campanha de fevereiro, por exemplo, observou-se uma queda brusca da concentração de OD a partir dos 3 m de profundidade, caracterizando um ambiente com elevadas diferenças de OD entre o epilímnio e o hipolímnio e formação de anoxia.

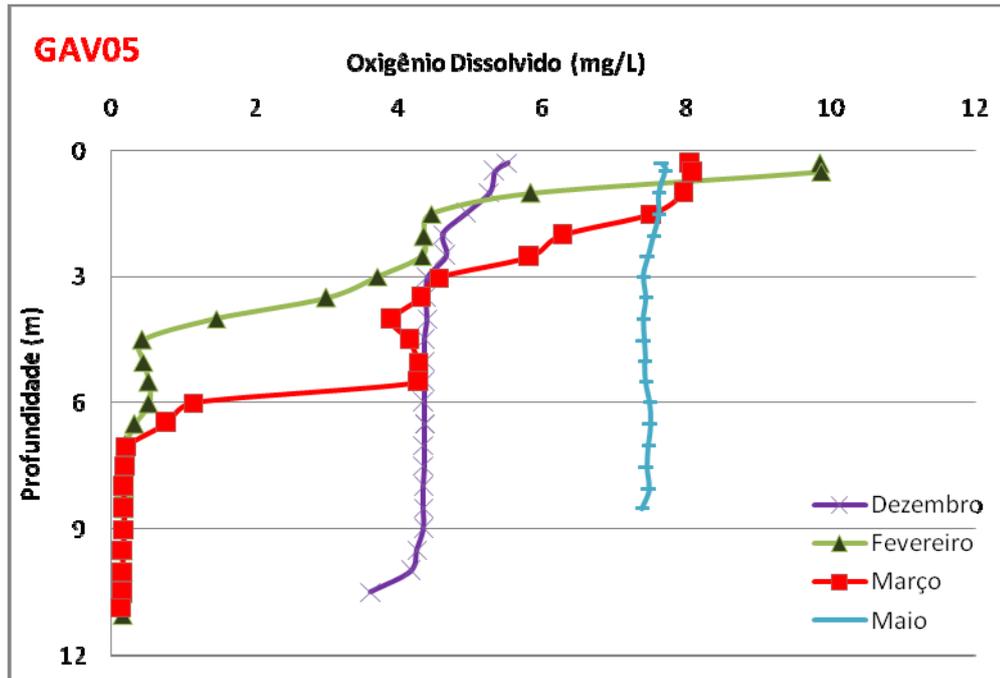


Figura 24 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV05, observa-se a mesma tendência de variação do parâmetro físico temperatura. Os resultados mostram que há uma desoxigenação considerável durante o período de chuva intensa (fevereiro e março), à medida que atinge uma maior profundidade (região do hipólímnio) no reservatório. Neste ponto, por exemplo, depois de 3m de coluna d'água, é observado um declínio acentuado do oxigênio dissolvido na água, chegando a quase zerar depois dos 6m de profundidade. Caracterizando assim, uma região de anoxia (sem oxigênio), onde predominam os agentes decompositores da cadeia trófica. É importante observar que quando houve estratificação, houve formação de região anóxica.

GORAYEB *et al.* (2007), em estudos feitos no reservatório Frios, na Bacia do Rio Curu/CE, observou concentrações de OD abaixo de 3 mg/L em todos os perfis para profundidades inferiores a 9 m, associando este fato à demanda bentônica de oxigênio.

A concentração de matéria orgânica, aliada às altas temperaturas, contribui decisivamente para o grau de desoxigenação da água, se manifestando periodicamente, durante os períodos de chuva (ESTEVES, 1998). A baixa concentração de oxigênio dissolvido é explicada pelas condições climáticas (muita

chuva e pouco vento) naquela ocasião. Há pouca contribuição da ação do vento para que haja uma mistura do oxigênio dissolvido numa profundidade maior.

A Tabela 15 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 25 apresenta a variação da concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água no ponto GAV14.

Tabela 15 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto GAV14.

OD(mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	5,87	3,83	2,04	4,58	0,73	16,04
FEV	8,58	0,52	8,06	4,27	2,56	60,04
MAR	10,13	0,24	9,89	4,10	4,10	100,06
MAI	6,99	6,89	0,1	6,94	0,03	0,48

No ponto GAV14, as concentrações máximas e mínimas de OD encontrados durante as campanhas de amostragem foram em março (10,13 e 0,24 mg/L). Desta maneira, os maiores desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude observados também foi no mês de março (4,10, 100,06 e 9,89 mg/L, respectivamente). As médias oscilaram entre 4,10 e 6,94 mg/L.

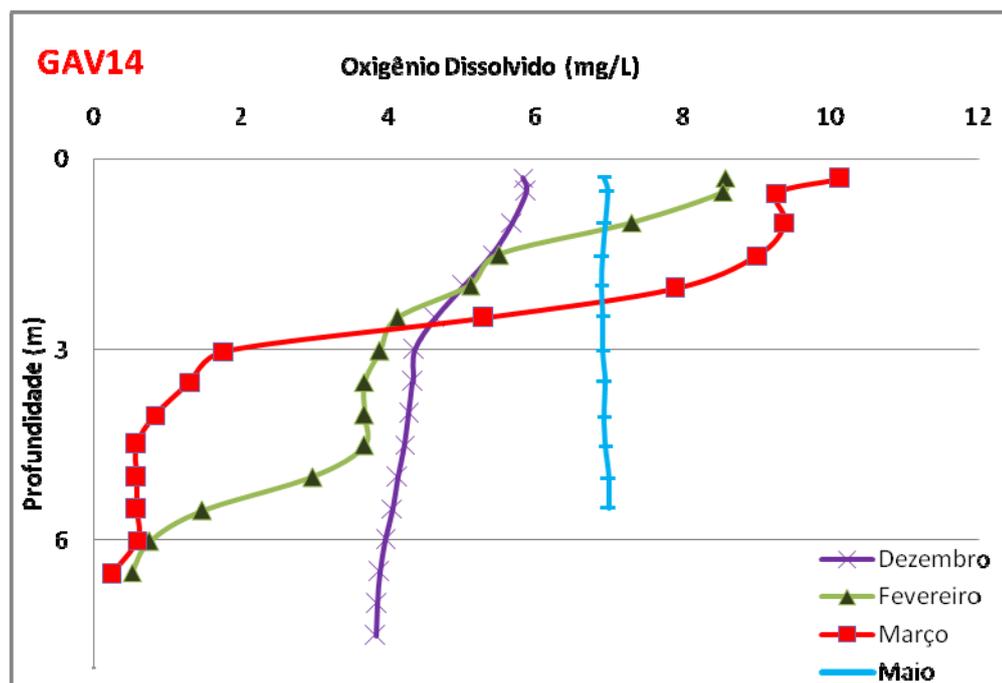


Figura 25 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Assim como no ponto GAV05, os meses de dezembro e maio caracterizaram-se por apresentar concentrações de oxigênio dissolvido aproximadamente constantes, ou seja, o perfil é do tipo ortogrado, no qual a concentração de O₂ permanece aproximadamente constante ao longo da coluna. Já durante as campanhas de amostragem dos meses mais chuvosos de fevereiro e março, as concentrações de OD variaram de maneira mais significativa ao longo da coluna d'água, caracterizando-se um perfil do tipo clinogrado, que ocorre quando a concentração de O₂ diminui na coluna d'água.

A Tabela 16 mostra os dados básicos de estatística e a Figura 26 apresenta a variação da concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água no ponto GAV16.

Tabela 16 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto GAV16.

OD (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	6,76	3,34	3,42	5,61	1,24	22,07
FEV	8,28	1,24	7,04	5,37	2,74	50,98
MAR	1,66	0,18	1,48	0,52	0,50	96,48
ABR	6,02	0,24	5,78	4,56	2,28	49,86
MAI	7,41	6,04	1,37	7,15	0,36	5,06

No ponto GAV16, a maior concentração de oxigênio dissolvido encontrado durante as campanhas de amostragem foi em fevereiro (8,28 mg/L), enquanto que o menor valor observado foi de 0,18 mg/L no mês de março. O maior valor de desvio padrão foi em fevereiro (2,74) e coeficiente de variação mais elevado foi em março (96,48%). É possível que durante a perfilagem de março, tenha ocorrido uma descalibração pontual da sonda para o parâmetro oxigênio, ocasionando baixíssimas concentrações de oxigênio dissolvido, mesmo na superfície da água e este elevado coeficiente de variação.

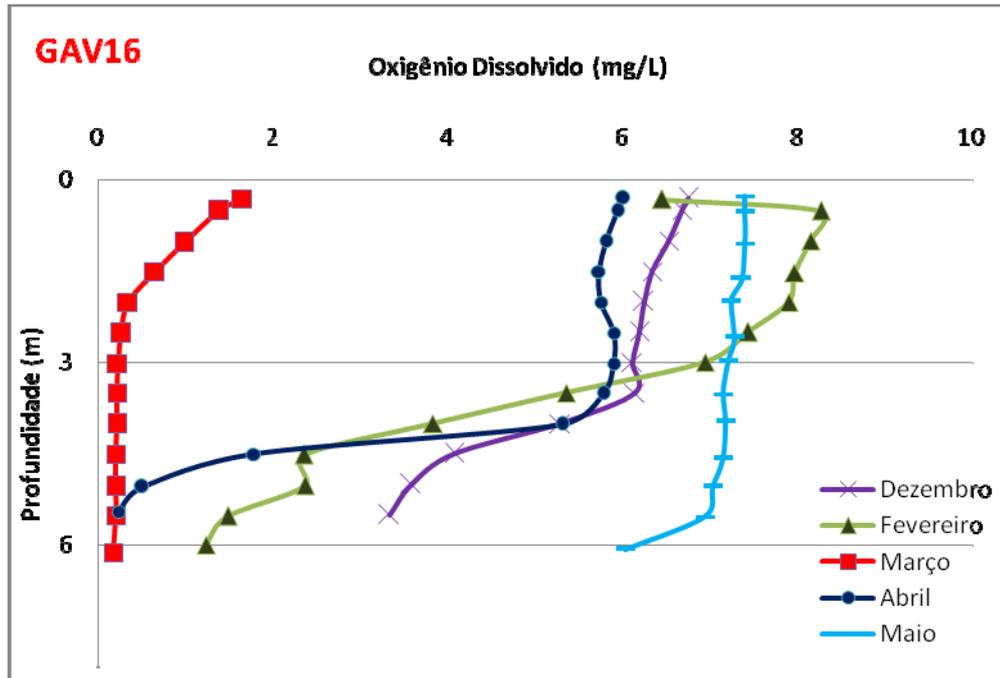


Figura 26 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Neste ponto, observa-se durante os meses de fevereiro, março e abril uma estratificação química do oxigênio dissolvido em relação ao perfil vertical. A estratificação da coluna d'água é dividida no epilímnio, com maior concentração de oxigênio e no hipolímnio que é pobre em oxigênio. Característica semelhante foi observada no açude Bodocongó (Campina Grande/PB), no qual tal açude foi marcado por uma distribuição vertical homogênea, sendo o oxigênio dissolvido distribuído de forma clinograda ao longo de seus estudos (BARBOSA *et al.*, 2009).

As Tabelas 17 e 18 mostramos dados de estatística descritiva e as Figuras 27 e 28 apresentam a variação de temperatura ao longo da coluna d'água nas zonas de entrada do açude: Canal Riachão-Gavião e Riacho Gavião, respectivamente.

Tabela 17 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto de afluência CANAL.

OD (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	6,98	5,01	1,97	5,91	0,80	13,49
FEV	9,68	2,19	7,49	7,29	2,67	36,61
MAR	9,29	1,13	8,16	7,45	2,84	38,11
MAI	8,06	7,24	0,82	7,81	0,28	3,56

No CANAL, a maior concentração de oxigênio dissolvido encontrado durante as campanhas de amostragem foi em fevereiro (9,68 mg/L), enquanto que o menor valor observado foi de 1,13 mg/L no mês de março. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de março (respectivamente 2,84 mg/L e 38,11%).

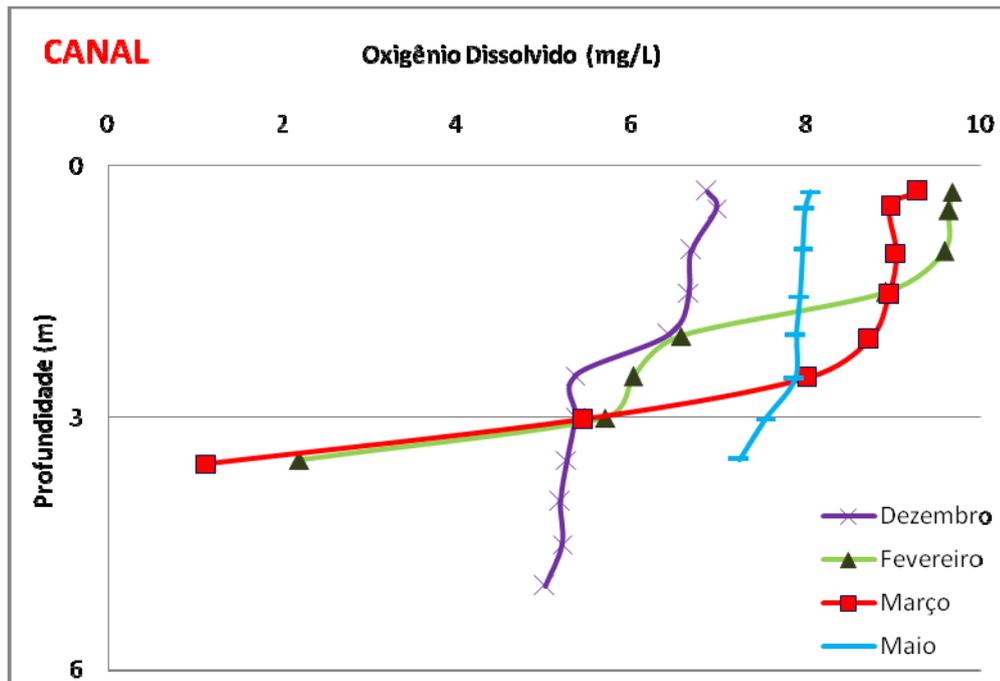


Figura 27 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Assim como nos demais pontos, o CANAL apresentou estratificação mais relevante em fevereiro e março, com faixa descontínua situada entre 1,5 e 3,0 m. A concentração média de oxigênio dissolvido é um pouco maior nas superfícies dos dois afluentes, quando comparada aos valores encontrados no interior do açude. Decorrente do fato de que, haja maior turbulência, oxigenando melhor a massa líquida. Durante o período de estudo, nenhum dos pontos localizados na entrada do açude apresentou estratos com concentração de oxigênio menor que 1 mg/L. Fato este, bem diferente nos pontos do interior do açude, que apresentou pontos com concentração de OD bem próximos a 0.

Tabela 18 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de OD no ponto de afluência RIACHO.

OD (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
MAR	9,52	2,17	7,35	6,55	3,07	46,80
MAI	7,68	6,13	1,55	7,08	0,49	6,86

No ponto de afluência RIACHO, o maior e o menor valor para OD encontrados durante as campanhas de amostragem foram em março (respectivamente 9,52 e 2,17 mg/L), revelando uma amplitude de 7,35. As médias oscilaram entre 6,55 e 7,08 mg/L. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de março, 3,07 e 46,80% respectivamente. Desta forma, as perfilagens da campanha realizada em março, apresentaram grandes variações da superfície até o fundo, caracterizando um perfil do tipo clinogrado.

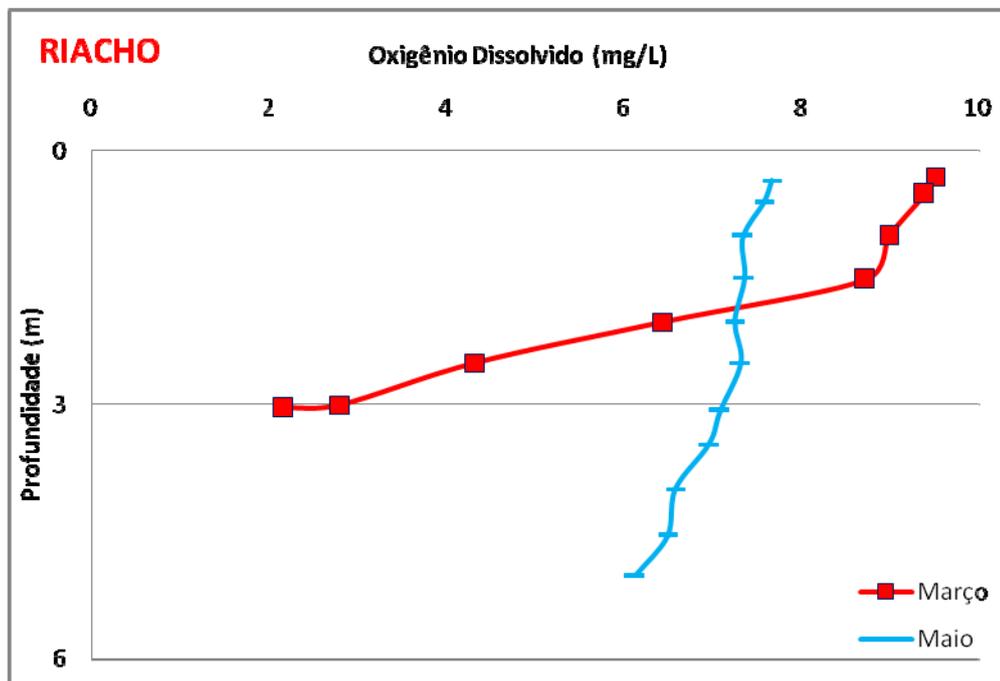


Figura 28 - Variação de oxigênio dissolvido no ponto de afluência RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

A presença de fortes ventos durante a perfilagem do açude pode contribuir para que a sonda não permaneça parada durante a sua utilização, deste modo, nem sempre os parâmetros são quantificados nas mesmas profundidades.

Como se pode observar na figura acima, a última profundidade estudada no mês de março foi próximo dos 3,0, sendo a profundidade máxima neste ponto em torno de 6,0 m. Em vez de a sonda descer verticalmente, a ação dos ventos leva-a na direção horizontal.

O RIACHO apresentou oxigenação máxima na superfície durante a campanha do mês de março, atingindo 9,52 mg/L, valor discretamente maior do que o valor máximo observado no outro afluente. O mínimo de oxigênio dissolvido foi 2,17 mg/L, também no mês de março. Seguindo as mesmas tendências verificadas nos pontos anteriores de estratificação em março e desestratificação em maio.

5.1.3 pH

O pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes, ao mesmo tempo que uma das mais difíceis de interpretar, devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo. Por exemplo: durante o processo de fotossíntese há consumo de CO_2 , ocasionando diminuição deste composto no meio e conseqüentemente aumento do pH.

Outras reações que produzem um ligeiro aumento do pH são: desnitrificação do nitrato a nitrogênio molecular e redução do sulfato a sulfeto. Por outro lado, durante a respiração dos microorganismos há liberação de CO_2 , fazendo com que haja um aumento deste composto, ocasionando diminuição do pH. A degradação da matéria orgânica, a fermentação microbiana do metano, a nitrificação do íon amônio, também provocam a formação do CO_2 (WETZEL, 1993).

Via de regra, valores baixos de pH estão associados à contribuição do solo e rochas vulcânicas, enquanto valores elevados estão associados à eutrofização e proliferação de algas.

A Tabela 19 mostra os dados básicos de estatística e a Figura 29 apresenta a variação do pH ao longo da coluna d'água no ponto GAV05.

Tabela 19 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto GAV05.

pH	MÁXIMO	MÍNIMO	AMPLITUDE Δ	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	7,83	7,75	0,08	7,78	0,031	0,400
FEV	7,58	7,25	0,33	7,43	0,127	1,703
MAR	7,74	7,47	0,27	7,58	0,095	1,258
MAI	7,69	7,68	0,01	7,68	0,005	0,065

No ponto GAV05, a maior valor de pH encontrado durante as campanhas de amostragem foi em dezembro (pH = 7,83), enquanto que o menor valor observado foi de 7,25 no mês de fevereiro. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foi encontrado em fevereiro (0,127 e 1,703%), refletindo um ambiente com baixa variação de pH ao longo da coluna.

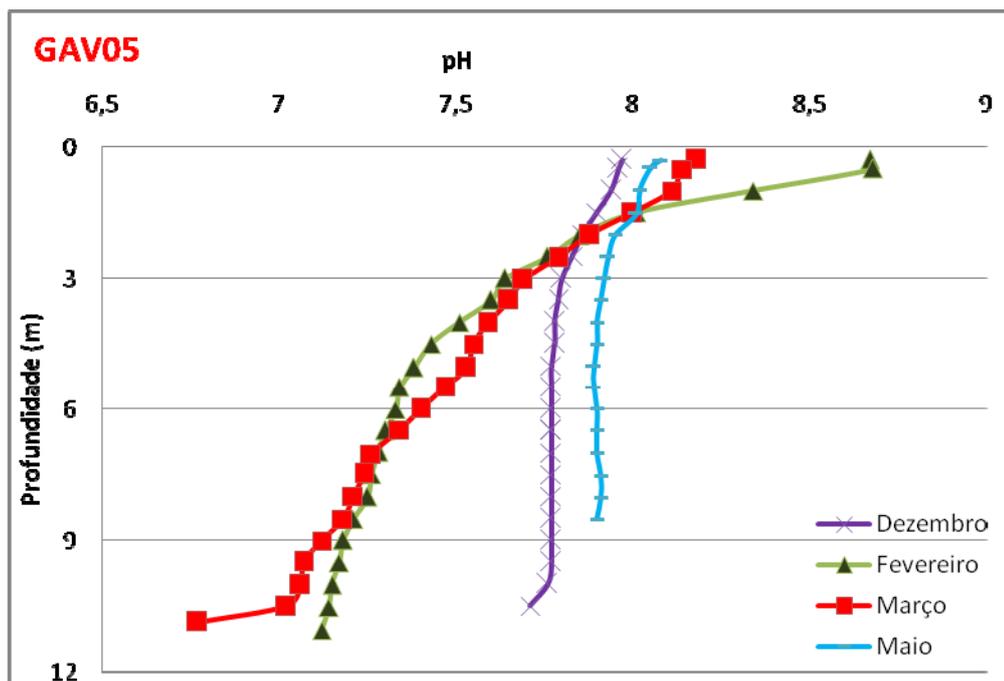


Figura 29 - Variação de pH no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Em geral, observa-se valores médios entre 7 e 9, caracterizando, uma tendência levemente alcalina das águas do açude Gavião. A grande maioria dos lagos continentais tem pH variando entre 6 e 8; no entanto, pode-se encontrar ambientes mais ácidos ou mais alcalinos (ESTEVES, 1998).

No açude Acarape do Meio, estudado por Ribeiro (2007), os resultados

mostraram que o comportamento do pH da água variou entre 7 e 8, o que caracterizou, na maioria das vezes, uma tendência neutro-básico, bem próximo daquela encontrada no Gavião no atual estudo.

Queiroz (2003), em estudos no Lagamar do Cauípe, encontrou águas levemente ácidas, com o pH variando de 5,5 a 6,5 com média de 5,6. Os valores de pH encontrados por este autor estão próximos aos valores encontrados por Gomes (1998) *apud* Queiroz (2003) na lagoa de Uruaú, localizada no litoral leste do Estado do Ceará, onde foi verificada uma variação de 5,3 a 6,7 do pH, com média de 6,1.

Braga (2006) em estudos no Gavião, observou sensíveis diferenças entre o período chuvoso pH 7,81 e seco pH 8,24. Estudos realizados por Ferreira (2004), no mesmo açude, também concluiu que durante o período de chuvas, o pH varia de levemente alcalino a levemente ácido, em virtude das reações de decomposição da matéria orgânica em decorrência da grande liberação de nutrientes.

O ponto GAV05, nos meses de dezembro de 2010 e maio de 2011, apresentou distribuição vertical com tendência de homogeneidade da coluna d'água, não sendo observadas variações significativas de pH entre as camadas de água superficial e de fundo. A homogeneidade vertical do pH pode estar associada a desestratificação térmica da coluna d'água.

Os resultados mostram ainda, como é de se esperar, que há uma tendência da água passar de básica no epilímnio para mais ácida no hipolímnio, devido à maior proximidade do sedimento, onde o acúmulo de matéria orgânica dá origem a processos de decomposição.

A Tabela 20 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 30 apresenta a variação do pH ao longo da coluna d'água no ponto GAV14.

Tabela 20 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto GAV14.

pH	MÁXIMO	MÍNIMO	AMPLITUDE Δ	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	8,16	7,75	0,41	7,90	0,15	1,88
FEV	8,28	7,25	1,03	7,72	0,33	4,24
MAR	8,38	7,47	0,91	7,92	0,34	4,32
MAI	7,83	7,68	0,15	7,71	0,05	0,63

O maior valor de pH encontrado durante as campanhas de amostragem foi em março (pH = 8,38), enquanto que o menor valor observado foi de 7,25 no mês de fevereiro. As amplitudes permaneceram com baixos valores em todas as amostragens. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de março (0,34 e 4,32%).

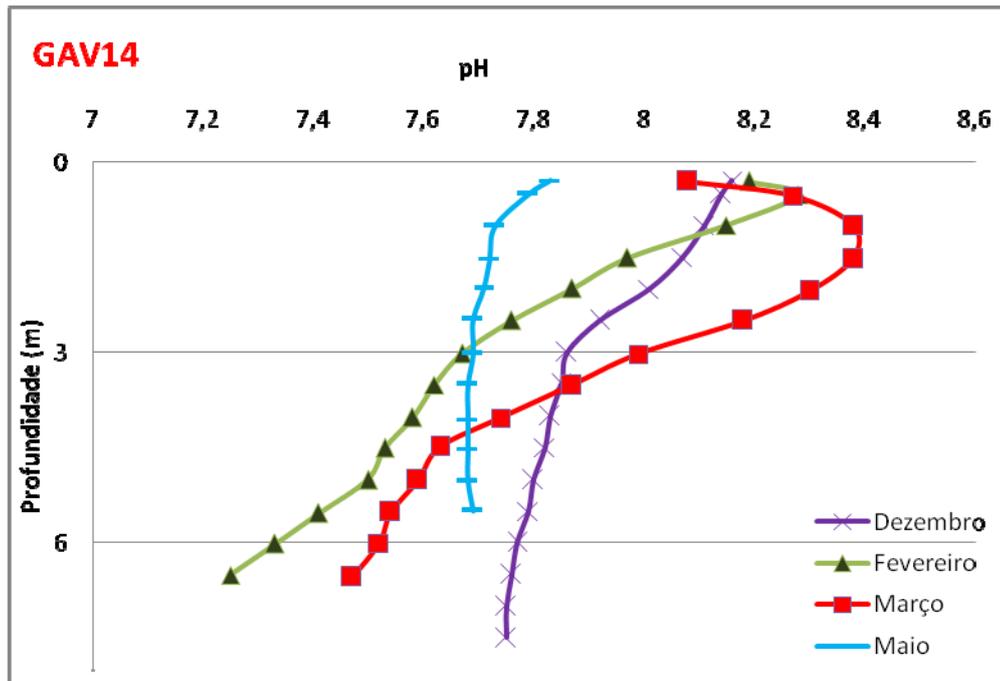


Figura 30 - Variação de pH no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

O ponto GAV14 apresentou com uma leve tendência à diminuição do pH em direção ao fundo. É comum a verificação da diminuição do pH com o aumento da profundidade, devido à maior proximidade do sedimento, onde o acúmulo de matéria orgânica dá origem a processos de decomposição, baixando o pH com a liberação de CO_2 , caracterizando um ambiente redutor a partir dos 3 m de profundidade. Já os valores maiores de pH devem-se à elevada produção de biomassa algal, que reduz os níveis de gás carbônico durante a realização do processo fotossintético e ocasiona a oscilação do pH (MARGALEF, 1983).

A Tabela 21 mostra os dados básicos de estatística e a Figura 31 apresenta a variação do pH ao longo da coluna d'água no ponto GAV16.

Tabela 21 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto GAV16.

pH	MÁXIMO	MÍNIMO	AMPLITUDE Δ	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	8,24	7,74	0,5	8,07	0,16	2,02
FEV	8,21	7,32	0,89	7,90	0,33	4,23
MAR	7,87	7,25	0,62	7,48	0,19	2,50
ABR	8,18	7,38	0,8	7,78	0,23	2,97
MAI	8,18	7,72	0,46	7,93	0,13	1,62

O maior valor de pH encontrado durante as campanhas de amostragem foi em dezembro (pH = 8,24), enquanto que o menor valor observado foi de 7,25 no mês de março. As amplitudes permaneceram com baixos valores em todos os meses de estudo. A média oscilou de maneira discreta entre 7,48 a 8,07. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de fevereiro (0,34 e 4,32% respectivamente).

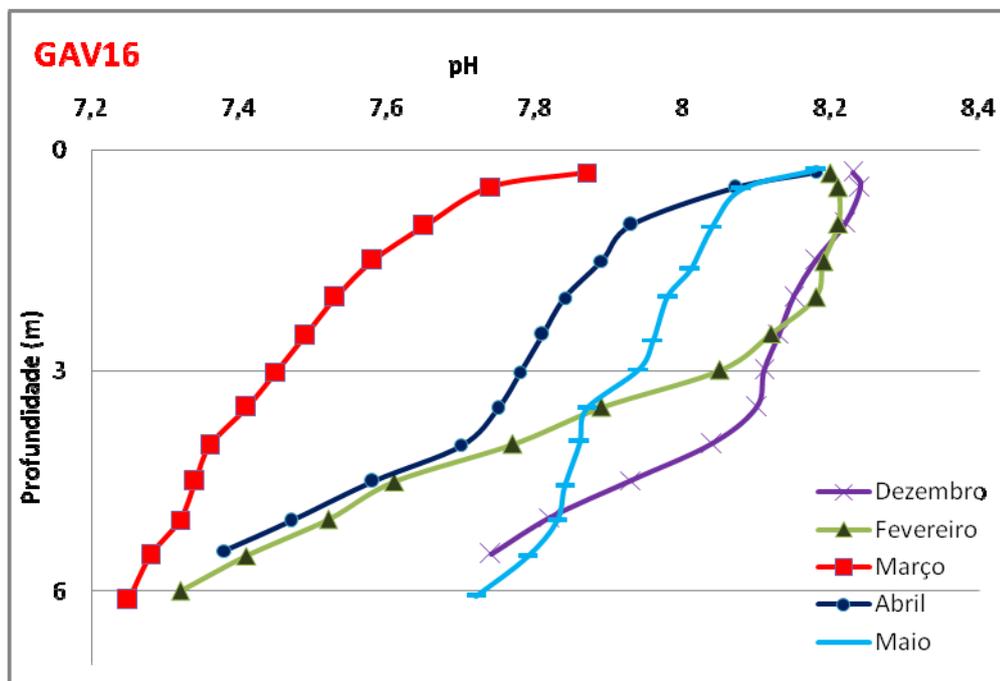


Figura 31 - Variação de pH no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

O comportamento deste parâmetro apresentou-se bastante variável ao longo da coluna d'água e ao longo dos meses de perfilagem. Os maiores valores de pH foram encontrados na superfície. Estes altos valores se relacionam à maior

atividade das algas e cianobactérias na assimilação do CO₂ durante o processo de fotossíntese liberando radicais hidroxilas (OH)⁻ (TUNDISI, 2005). Já os valores menores de pH logo abaixo da superfície, foram provavelmente devido à influência dos processos de decomposição intensificados com a entrada de material alóctone e com a ressuspensão dos sedimentos, principalmente quando as precipitações tornam-se maiores, como no mês de março.

As Tabelas 22 e 23 mostramos dados de estatística descritiva e as Figuras 32 e 33 apresentam a variação de temperatura ao longo da coluna d'água nas zonas de entrada do açude: Canal Riachão-Gavião e Riacho Gavião, respectivamente.

Tabela 22 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto de afluência CANAL.

pH	MÁXIMO	MÍNIMO	AMPLITUDE Δ	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	8,65	8,22	0,43	8,42	0,179	2,128
FEV	8,45	7,73	0,72	8,16	0,269	3,297
MAR	8,36	7,89	0,47	8,23	0,159	1,928
MAI	7,98	7,77	0,21	7,88	0,070	0,883

O maior valor de pH encontrado durante as campanhas de amostragem foi em dezembro (pH = 8,6), enquanto que o menor valor observado foi de 7,77 no mês de maio. A média oscilou entre 7,88 e 8,42. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de fevereiro (0,269 e 3,297% respectivamente).

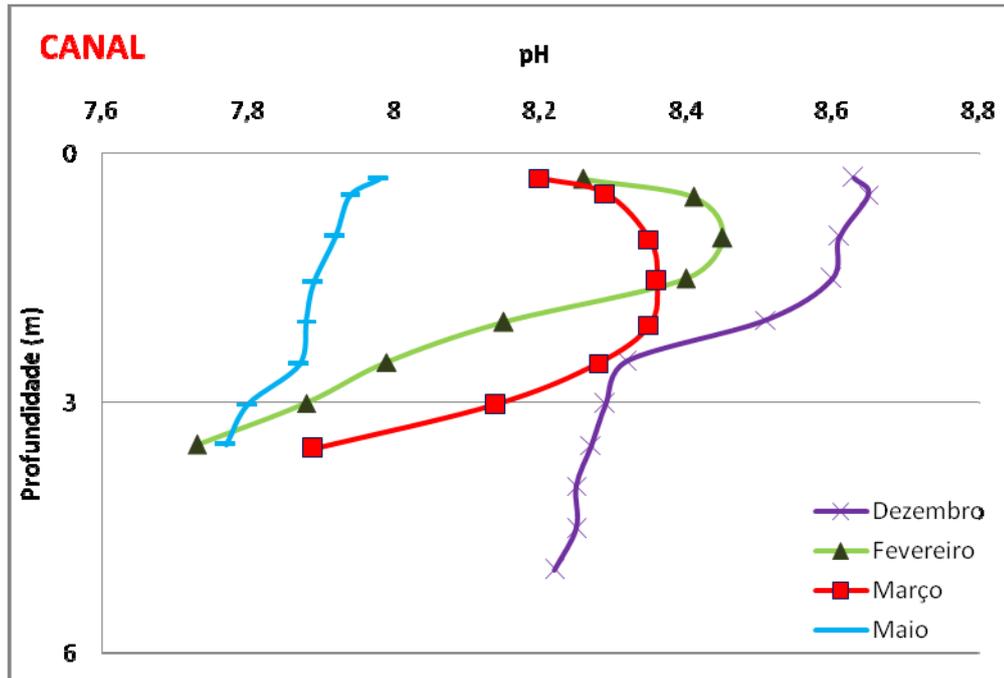


Figura 32 - Variação de pH no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

A zona de afluência CANAL manteve a mesma faixa de pH do resto do açude. Os valores de superfície, variando em torno de pH 7,98 – 8,63 e os de fundo entre pH 7,73 – 8,22. Neste caso, não houve nenhuma tendência visível de homogeneidade vertical do pH como aconteceu em alguns meses em outros pontos.

Tabela 23 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de pH no ponto de afluência RIACHO.

pH	MÁXIMO	MÍNIMO	AMPLITUDE Δ	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
MAR	8,41	7,76	0,65	8,19	0,23	2,87
MAI	7,97	7,7	0,27	7,87	0,09	1,19

O maior valor de pH encontrado durante as campanhas de amostragem foi em março (pH = 8,41), enquanto que o menor valor observado foi de 7,97 no mês de maio. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de março (0,23 e 2,87% respectivamente).

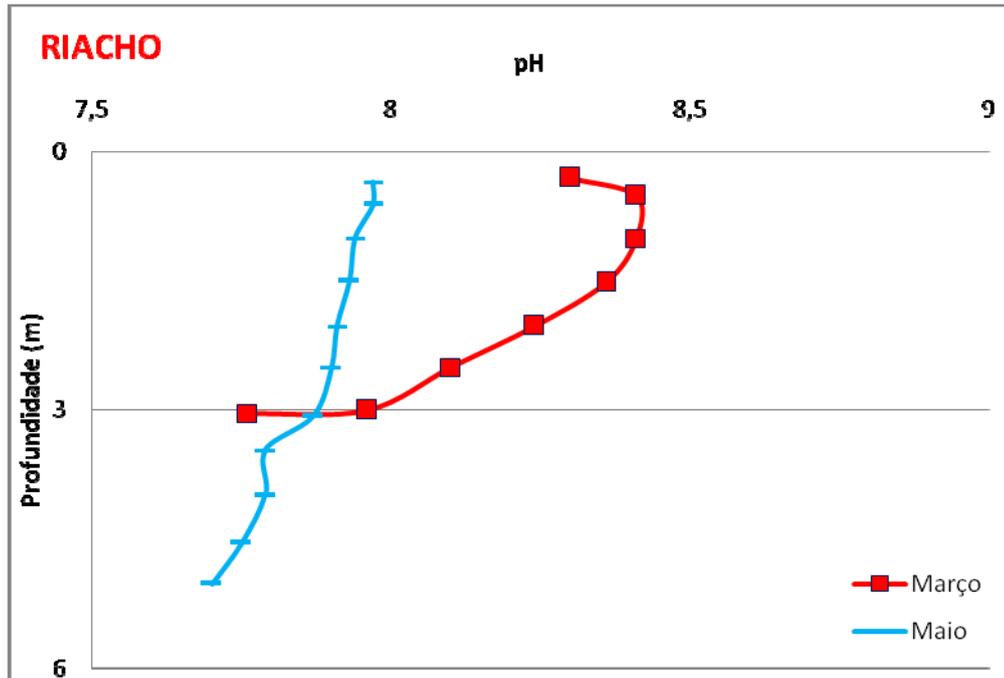


Figura 33 - Variação de pH no ponto de afluição RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Neste afluente, os valores de pH em março apresentaram-se ligeiramente maiores que os encontrados na campanha realizada em maio. Em geral, reservatórios eutrofizados caracterizam-se por apresentar uma elevada produtividade primária. A fotossíntese eleva o pH em função do maior consumo do gás carbônico e, por outro lado, a respiração e a decomposição da matéria orgânica tornam a água mais ácida, pois ocasionam maior produção desse gás, com consequente desequilíbrio no sistema carbônico.

5.1.4 Clorofila-a

A quantificação da comunidade fitoplanctônica se constitui em um instrumento de grande importância para o entendimento de sua distribuição espacial e temporal e as relações desta com as variáveis físicas e químicas do meio. Como a clorofila-a é o principal pigmento responsável pela fotossíntese e, de uma maneira geral, o mais abundante, a determinação de sua concentração é frequentemente usada para estimar a biomassa fitoplanctônica, que é o peso total de todos os indivíduos de uma população ou comunidade por unidade de área ou de volume num dado tempo (WETZEL, 2000). A clorofila-a é o pigmento responsável pela

retirada de elétrons da água para iniciar a reação luminosa para a fotossíntese. Sua determinação é muito importante em estudos ambientais (OLIVEIRA, 2001).

Os fatores abióticos que tem maior influência sobre a produção primária são: a radiação dentro do lago (radiação subaquática), a temperatura e as concentrações de nutrientes. A comunidade fitoplanctônica depende da incidência dos raios solares e seu poder de penetração na massa líquida, influenciando a profundidade da zona eufótica, agindo diretamente na capacidade de realizar a fotossíntese (ESTEVES, 1998).

A Tabela 24 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 34 apresenta a variação de clorofila-a ao longo da coluna d'água no ponto GAV05.

Tabela 24 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto GAV05.

CLOROFILA ($\mu\text{g/L}$)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ ($\mu\text{g/L}$)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	8,6	7,3	1,30	8,07	0,35	4,34
FEV	9,4	2,7	6,70	5,86	2,24	38,25
MAR	7,8	-0,4	8,20	5,95	1,69	28,36
MAI	6,9	5,8	1,10	6,24	0,31	4,89

O maior valor para concentração de clorofila-a encontrado durante as campanhas de amostragem foi em fevereiro (9,4 $\mu\text{g/L}$), enquanto que o menor valor observado foi de 2,7 $\mu\text{g/L}$ no mês de fevereiro. Uma possível descalibração da sonda para este parâmetro não foi descartada, já que concentrações negativas surgiram. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de fevereiro (2,24 $\mu\text{g/L}$ e 38,25%).

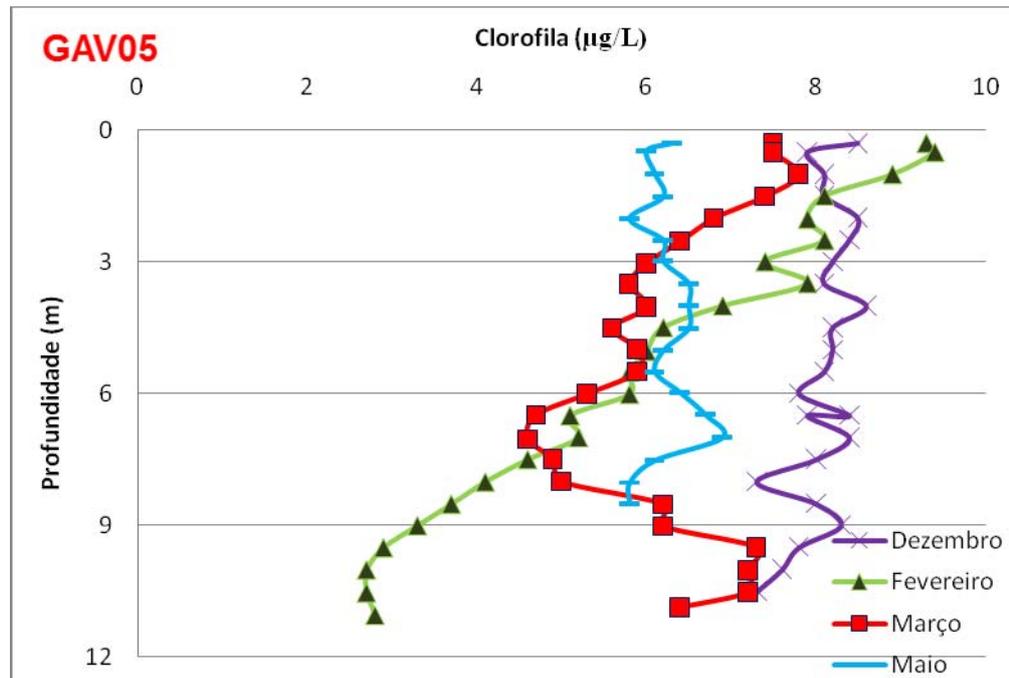


Figura 34 - Variação de clorofila-a no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV05, as maiores concentrações de clorofila-a encontradas variaram entre 6,3 (maio) e 9,3 $\mu\text{g/L}$ (fevereiro), sempre na superfície da água, já que é na zona eufótica que ocorre a maior produção primária fitoplanctônica. Os organismos fotoautotróficos planctônicos dependem da intensidade luminosa como fonte de energia para suas atividades metabólicas (TUNDISI, 2008).

Os valores de clorofila-a encontrados no açude Gavião apresentaram valores bem diferenciados tanto no perfil vertical da massa líquida quanto na distribuição horizontal. Em algumas campanhas de amostragem, as concentrações de clorofila-a apresentaram valores mais elevados em profundidades maiores que 3,0 m do que as concentrações encontradas na superfície. Em geral, espera-se que as concentrações de clorofila-a da água sejam as maiores na superfície, pois os organismos fotoautotróficos planctônicos dependem da intensidade luminosa como fonte de energia para suas atividades metabólicas.

A maior biomassa fitoplanctônica em maiores profundidades da coluna, pode estar relacionada às condições bem misturadas da água, que deve ter aumentado a disponibilidade de nutrientes para os produtores primários da coluna de água (ROTHLISBERG *et al.*, 1994) ou a ressuspensão de nutrientes e clorofila-a do fundo. As elevadas concentrações podem estar associadas a situações diversas,

como ressuspensão de detritos de macroalgas ou floração microalgal no fundo da coluna de água. Provavelmente, os tipos de substrato de fundo em associação com processos advectivos promoveram essas concentrações elevadas.

A Tabela 25 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 35 apresenta a variação de clorofila-a ao longo da coluna d'água no ponto GAV14.

Tabela 25 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto GAV14.

CLOROFILA (µg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	$\Delta(\mu\text{g/L})$	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	8,5	7,6	0,9	7,80	0,24	3,11
FEV	9	6,9	2,1	7,69	0,56	7,30
MAR	7,2	5,4	1,8	6,16	0,65	10,64
MAI	7	6,2	0,8	6,55	0,23	3,54

O maior valor para clorofila-a encontrado durante as campanhas de amostragem foi em fevereiro (9,0 µg/L), enquanto que o menor valor observado foi de 5,4 no mês de março. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de março (0,23 e 10,64%).

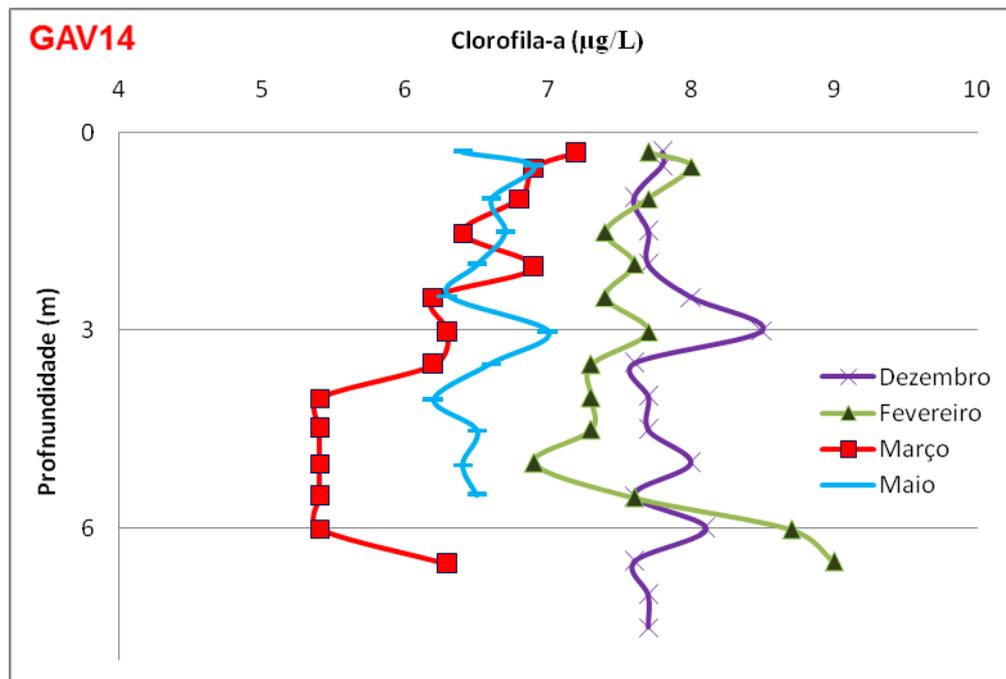


Figura 35 - Variação de clorofila-a no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV14, a clorofila apresentou o maior valor na campanha do mês de fevereiro 8,0 µg/L e menor valor em maio 6,4 µg/L, considerando o estrato da superfície. Em geral, as maiores concentrações foram registradas no mês de fevereiro, período em que também se registrou as maiores concentrações de oxigênio e maiores valores de pH do sistema.

As concentrações de clorofila estão diretamente relacionadas com a capacidade do feixe de luz atravessar a coluna d'água. Portanto, uma maior concentração de sólidos suspensos, aumenta a turbidez, dificultando a passagem de luz, diminuindo a taxa fotossintética. Além disso, maiores concentrações de nutrientes aumentam a taxa de produção fotossintética, pois quanto maior a disponibilidade, maior a taxa de crescimento dos organismos e conseqüentemente maior a quantidade de clorofila no ambiente aquático.

A Tabela 26 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 36 apresenta a variação de clorofila-a ao longo da coluna d'água no ponto GAV16.

Tabela 26 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto GAV16.

CLOROFILA (µg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ(µg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	8,24	7,74	0,5	8,07	0,16	2,02
FEV	8,21	7,32	0,89	7,90	0,33	4,23
MAR	7,87	7,25	0,62	7,48	0,18	2,50
ABR	8,18	7,38	0,8	7,78	0,23	2,97
MAI	8,18	7,72	0,46	7,93	0,13	1,62

Para este parâmetro, o maior valor encontrado durante as campanhas de amostragem foi em dezembro (8,24 µg/L), enquanto que o menor valor observado foi de 7,25 µg/L no mês de março. As amplitudes permaneceram com baixos valores em todas as amostragens. Desvio padrão e coeficiente de variação também permaneceram baixos, os maiores valores foram observados na amostragem de fevereiro (0,33 µg/L e 4,23%).

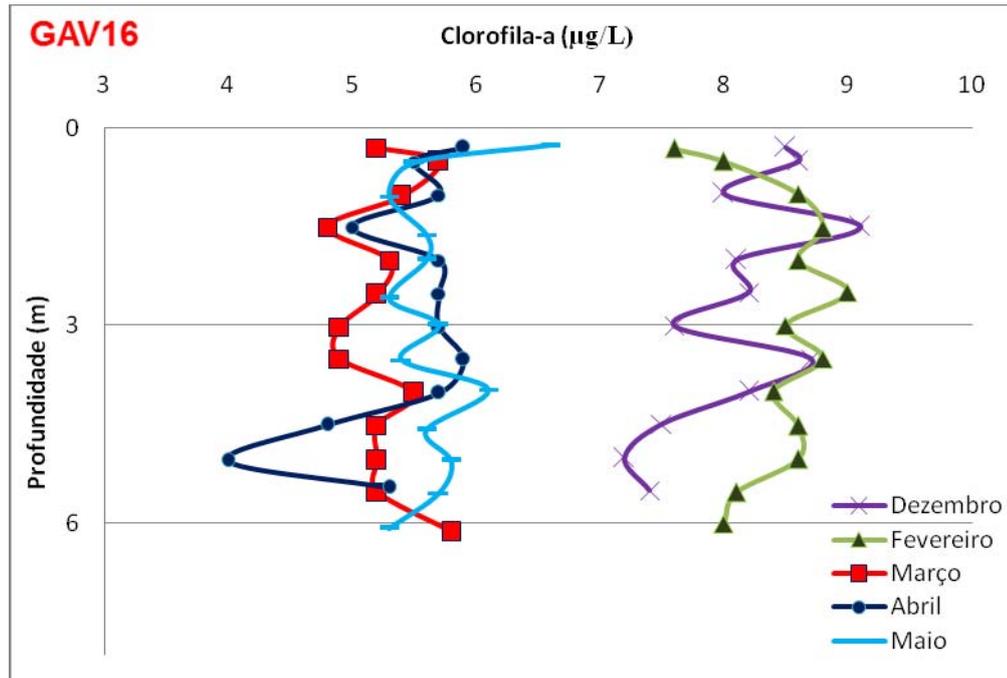


Figura 36 - Variação de clorofila-a no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV16, as maiores concentrações de clorofila-a encontradas na superfície da água variaram entre 5,2 (março) e 8,5 $\mu\text{g/L}$ (dezembro). Observou-se neste ponto, que as concentrações em março, abril e maio apresentaram-se numa mesma faixa de variação (em geral, entre 5 e 6 $\mu\text{g/L}$) e as campanhas realizadas em dezembro e fevereiro variaram numa outra faixa de concentração (7,5 e 8,5 $\mu\text{g/L}$), sendo estas superiores à outra faixa.

As Tabelas 27 e 28 mostramos dados de estatística descritiva e as Figuras 37 e 38 apresentam a variação de temperatura ao longo da coluna d'água nas zonas de entrada do açude: Canal Riachão-Gavião e Riacho Gavião, respectivamente.

Tabela 27 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto de afluência CANAL.

CLOROFILA ($\mu\text{g/L}$)	MÁXIMO	MÍNIMO	$\Delta(\mu\text{g/L})$	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	8,65	8,22	0,43	8,42	0,18	2,13
FEV	8,45	7,73	0,72	8,16	0,27	3,30
MAR	8,36	7,89	0,47	8,23	0,16	1,93
MAI	7,98	7,77	0,21	7,88	0,07	0,88

O maior valor de pH encontrado durante as campanhas de amostragem foi em dezembro (8,65 $\mu\text{g/L}$), enquanto que o menor valor observado foi de 7,73 $\mu\text{g/L}$ no mês de fevereiro. As amplitudes permaneceram com baixos valores em todas as amostragens. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados na perfilagem do mês de março (0,27 $\mu\text{g/L}$ e 3,30%).

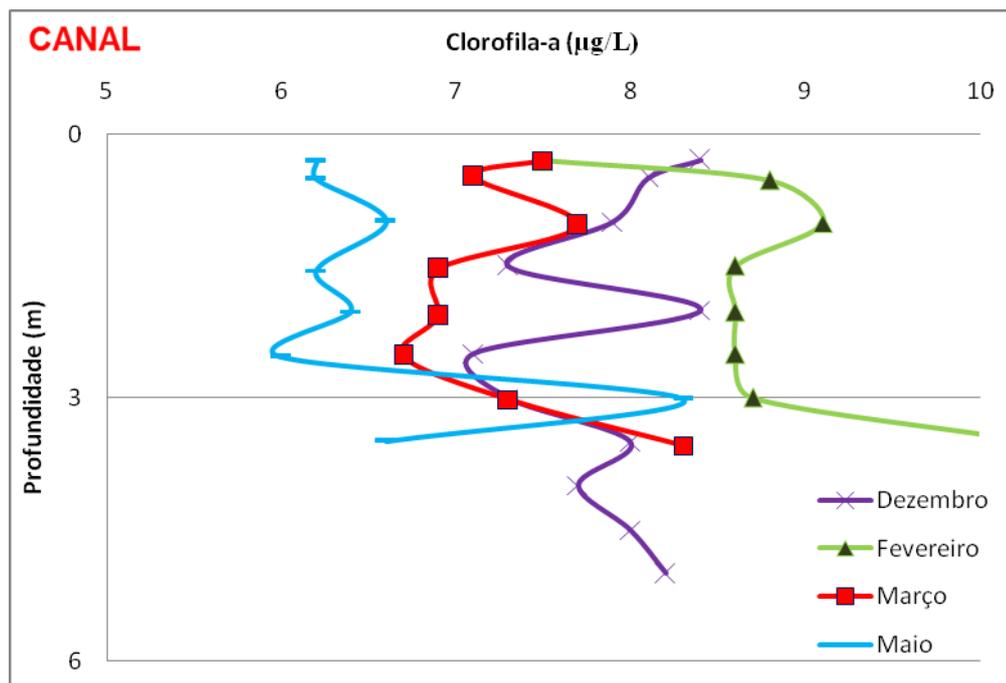


Figura 37 - Variação de clorofila-a no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

O CANAL apresentou variações entre 6 e 9 μg de clorofila-a/L, concentrações semelhantes as encontradas por Oliveira (2006) na Lagoa do Batoque (Aquiraz/CE), cujas concentrações de clorofila-a na superfície oscilaram com uma média de 6 $\mu\text{g/L}$, entre 1,34 e 10,55 $\mu\text{g/L}$. Porém, bem diferentes daquelas encontradas por Vilar (2009), que encontrou o valor máximo para clorofila-a em torno de 252,5 $\mu\text{g/L}$ no mês de jul/2007 no Luiz Heleno e mínimo 0,6 $\mu\text{g/L}$ nos meses de agosto-setembro/2007 no Namorados, ambos localizados na Bacia de São João do Cariri/PB. Em outro reservatório da Paraíba, o açude Bodocongó, a média de clorofila encontrada, durante o período de estudos de Barbosa *et al.* (2009), foi de 126,3 $\mu\text{g/L}$, indicando elevado índice de estado trófico para o corpo aquático, que se

encontra eutrofizado e se mantém desta forma durante o ano todo com apenas pequenas variações.

Tabela 28 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de clorofila-a no ponto de afluência RIACHO.

COLOROFILA (µg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ(µg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
MAR	8,41	7,76	0,65	8,19	0,23	2,87
MAI	7,97	7,70	0,27	7,87	0,09	1,18

Para a clorofila-a, o maior valor encontrado durante o período de estudo foi em março (8,41µg/L), enquanto que o menor valor observado foi de 7,70µg/L no mês de maio. As amplitudes permaneceram com baixos valores em todas as amostragens. Desvio padrão e coeficiente de variação foram maiores na perfilagem do mês de março (0,23 µg/L e 2,87%).

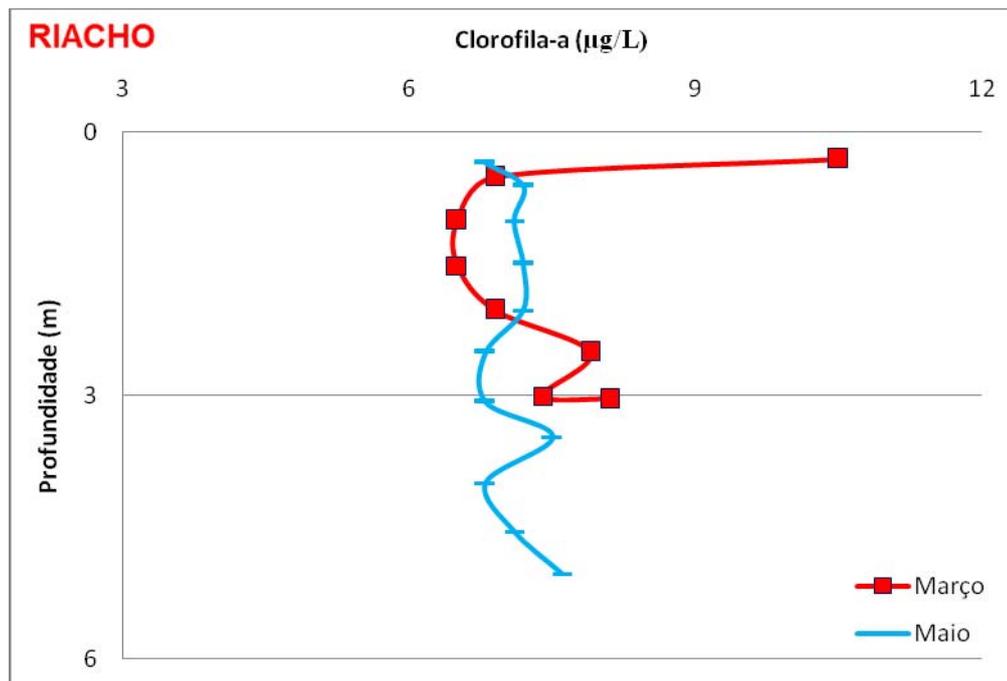


Figura 38 - Variação de clorofila-a no ponto de afluência RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

O ponto de afluência RIACHO apresentou o maior de valor clorofila-a verificado durante os meses de coleta no açude Gavião no mês de março, obtendo-se 10,5 µg/L do parâmetro. Exatamente neste mês, verificou-se a presença marcante de macrófitas aquáticas, sendo esta responsável pelo aumento da

clorofila-a na superfície do reservatório, principalmente na zona de entrada deste afluente (Figura39).



Figura 39 - Ponto de entrada ao açude Gavião (Riacho), na campanha do mês de março de 2011. Presença de muitas macrófitas nas margens.

5.1.5 Turbidez

A turbidez de uma amostra d'água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (e essa redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), em razão da presença de sólidos em suspensão. Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos domésticos, industriais e recreacionais de uma água (CETESB, 2001 apud ANA, 2005). A turbidez pode ser causada por uma ampla variedade de materiais alóctones, originados da bacia de drenagem, como argilas, siltes inorgânicos e matéria orgânica, e de fontes pontuais e difusas de poluição como estações de tratamento de esgoto e terras agrícolas. Além disso, a introdução de nutrientes inorgânicos em

corpos d'água estimula o crescimento de algas fitoplanctônicas, contribuindo para o aumento da turbidez (SAWYER *et al.*, 1994).

A Tabela 29 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 39 apresenta a variação de turbidez ao longo da coluna d'água no ponto GAV05.

Tabela 29 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de GAV05.

TURBIDEZ (NTU)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (NTU)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	27,9	23,9	4,00	25,87	0,82	3,18
FEV	24,2	-1,8	26,00	11,47	9,57	83,39
MAR	14,4	4,5	9,90	9,18	2,65	28,87
MAI	5,4	-4,2	9,60	4,66	2,21	47,54

O maior valor para turbidez encontrado durante as campanhas de amostragem foi em dezembro (27,9 NTU). É possível observar que os valores de turbidez diminuíram ao longo dos meses, sendo da presença de algas a maior contribuição para esse parâmetro. Uma possível descalibração pontual da sonda para este parâmetro não foi descartada, já que valores negativos de turbidez surgiram. Para melhor visualização, os valores negativos não foram mostrados no gráfico. As médias variaram entre 4,66 (maio) e 25,87 NTU (dezembro).

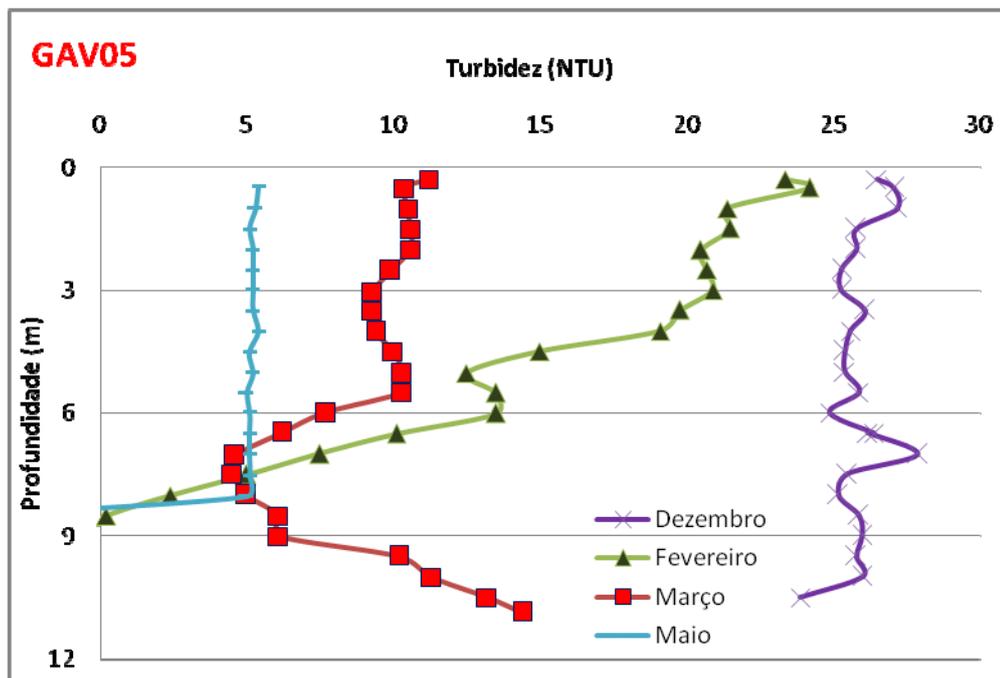


Figura 40 - Variação de turbidez no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os maiores valores de turbidez ocorreram em dezembro, com média de 25,87 NTU e menores turbidez no mês de maio com 9,60 NTU de média, sendo os as campanhas de fevereiro, março e abril com valores intermediários a estes dois extremos. Os perfis de turbidez demonstram que a coluna d'água se mostra bem homogênea em relação a esta variável em toda sua extensão, com aumento dos valores somente quando da chegada à interface água-sedimento, excetuando-se o mês de fevereiro, isto devido à ressuspensão do sedimento ou ainda pela presença de materiais orgânicos. Geralmente, em torno dos 6 m de profundidade, já se observa crescente aumento deste parâmetro na coluna. A turbidez diminuiu ao longo do período estudado provavelmente pela diminuição da produtividade das algas (concentração de algas).

A Tabela 30 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 40 apresenta a variação de turbidez ao longo da coluna d'água no ponto GAV14.

Tabela 30 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de GAV14.

TURBIDEZ (NTU)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (NTU)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	25,4	23,1	2,3	24,32	0,62	2,57
FEV	22,3	18,2	4,1	19,81	1,19	5,99
MAR	16,2	6,9	9,3	9,98	2,82	28,28
MAI	5,5	4,9	0,6	5,21	0,22	4,13

O maior valor encontrado para a turbidez durante o período de estudo foi em dezembro (25,4 NTU), enquanto que o menor valor observado foi de 4,9 NTU no mês de maio. As médias variaram entre 5,21 e 24,32 NTU. Desvio padrão e coeficiente de variação foram maiores na perfilagem do mês de março (respectivamente 2,82 NTU e 28,28%).

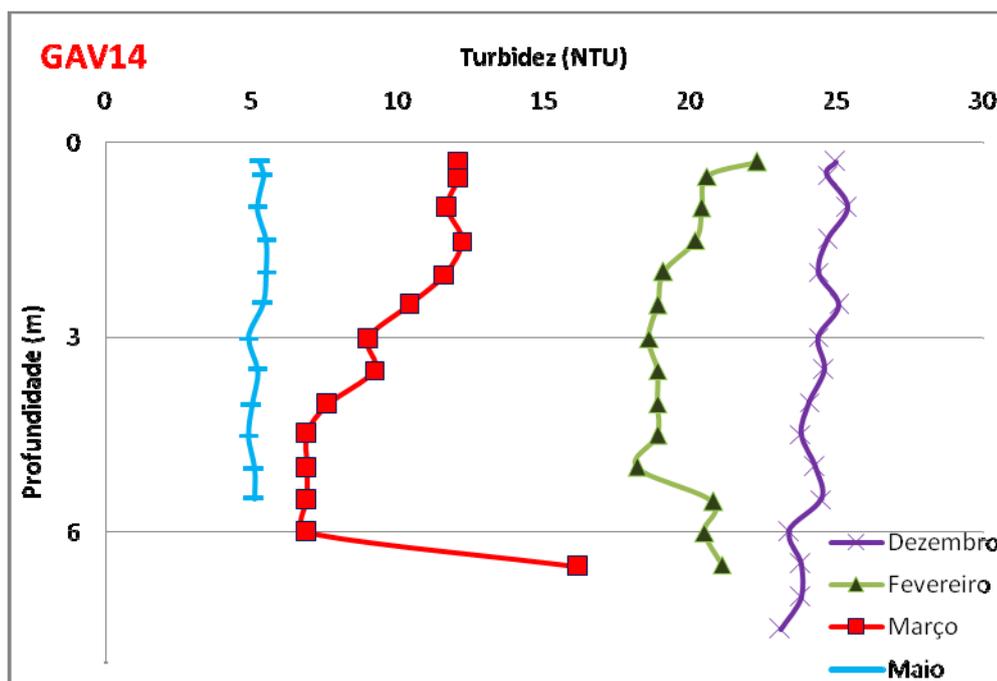


Figura 41 - Variação de turbidez no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Para o ponto GAV14, observou-se a mesma tendência do ponto anterior, a turbidez diminuiu ao longo do período estudado, apresentando valores máximos em dezembro e em maio apresentou valores reduzidos para este parâmetro, por provável diminuição da presença das algas ao longo dos meses. Almeida & Schwarzbald (2003) atentam para o fator sazonal, que interfere na análise da qualidade da água, conseqüentemente, na análise da turbidez, dada a ação de remoção de partículas pela chuva.

A Tabela 31 mostra os dados de estatística descritiva e a Figura 41 apresenta a variação de turbidez ao longo da coluna d'água no ponto GAV16.

Tabela 31 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de GAV16.

TURBIDEZ (NTU)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (NTU)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	26,1	21,5	4,6	23,82	1,23	5,16
FEV	23,2	17	6,2	20,14	1,74	8,64
MAR	6,3	5,5	0,8	5,88	0,28	4,72
ABR	5,9	4,0	1,9	5,41	0,56	10,35
MAI	5,7	5,0	0,7	5,23	0,19	3,67

O maior valor encontrado para a turbidez durante o período de estudo foi em dezembro (26,1 NTU), enquanto que o menor valor observado foi de 4,0 NTU no mês de abril. As amplitudes oscilaram entre 0,8 e 6,2 ao longo das campanhas de amostragem. As médias variaram entre 5,23 e 23,82 NTU.

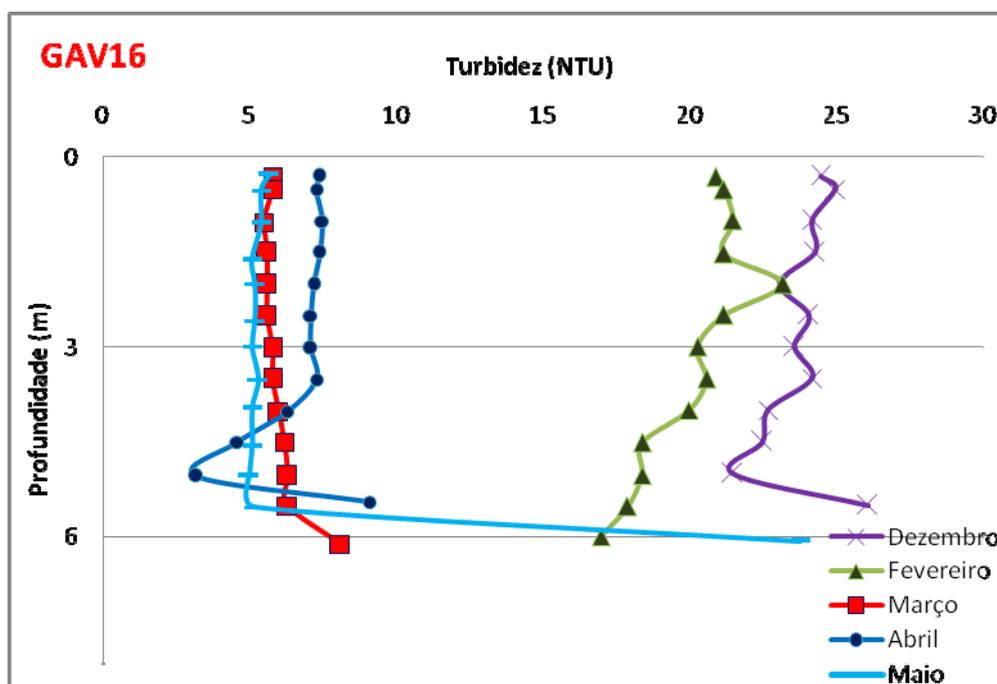


Figura 42 - Variação de turbidez no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os valores de turbidez variaram discretamente ao longo do perfil vertical, aumentando nas proximidades do sedimento. Raposo *et al.* (2009) monitorou a turbidez em 11 pontos do rio Maracujá, no Quadrilátero Ferrífero/MG, encontrando o valor máximo de 132,7 NTU durante a estação chuvosa. No período chuvoso, as águas dos rios trazem grande quantidade de sólido suspenso, havendo o aumento da turbidez e conseqüente diminuição da transparência. Sendo os valores encontrados pelo autor supracitado bem acima daqueles encontrados no atual estudo.

As Tabelas 32 e 33 mostramos dados de estatística descritiva e as Figuras 42 e 43 apresentam a variação de turbidez ao longo da coluna d'água nos pontos de afluência: CANAL e RIACHO.

Tabela 32 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de afluência CANAL.

TURBIDEZ (NTU)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (NTU)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
DEZ	27,4	24,1	3,3	25,20	1,07	4,26
FEV	27,8	17,1	10,7	19,89	3,51	17,66
MAR	20,1	11,2	8,9	13,29	3,17	23,87
MAI	16,6	3,9	12,7	5,79	4,37	75,54

O maior valor encontrado para a turbidez durante o período de estudo foi em fevereiro (27,8 NTU), enquanto que o menor valor observado foi de 3,9 NTU no mês de abril. As médias variaram entre 5,23 e 23,82 NTU. Os maiores desvio padrão e coeficiente de variação ocorreram em maio, apresentando 4,37 NTU e 75,54% respectivamente.

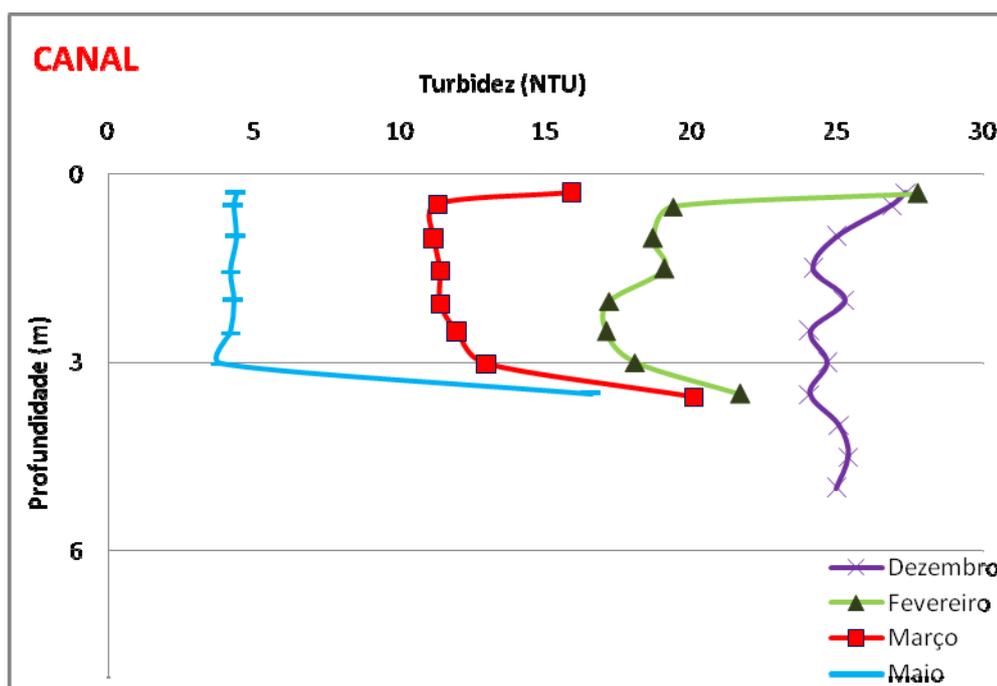


Figura 43 - Variação de turbidez no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Na zona de entrada do açude, o CANAL apresentou turbidez semelhante aos demais pontos de coleta no interior do açude, mantendo os valores de turbidez praticamente homogêneos ao longo do perfil vertical, porém maiores na superfície e à medida que se aproxima da interface água-sedimento. Houve presença de

turbidez mais elevada no mês de dezembro com média de 25,2 NTU e valor máximo de 27,8 NTU.

Tabela 33 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de turbidez no ponto de afluência RIACHO.

TURBIDEZ (NTU)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (NTU)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
MAR	16,3	12	4,3	13,70	1,64	11,97
MAI	7,6	6,8	0,8	7,10	0,28	3,98

Para a turbidez no RIACHO, o valor máximo ocorreu em março (16,3 NTU), enquanto que o menor valor foi de 6,8 NTU no mês de maio. As amplitudes oscilaram entre 0,8 e 4,3 ao longo das campanhas de amostragem. Desvio padrão e coeficiente de variação mais elevados foram encontrados em março (1,64 e 3,98%).

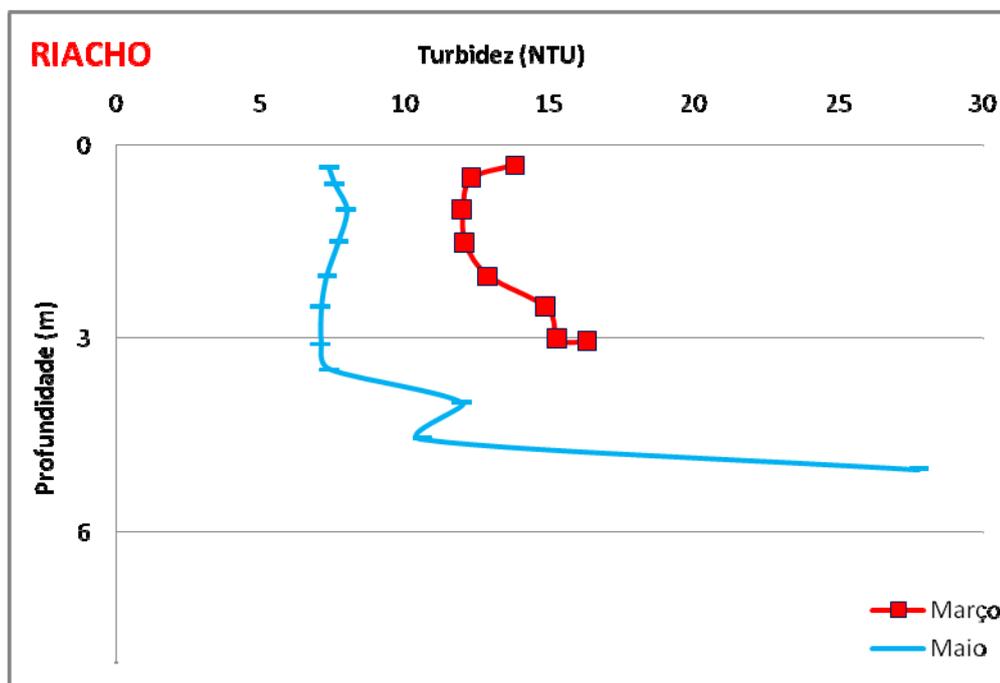


Figura 44 - Variação de turbidez no ponto de afluência CANAL ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No RIACHO, março é visivelmente o mês com maior contribuição da turbidez, principalmente devido à presença de macrófitas aquáticas nas proximidades deste ponto, como já mostrado nas Figuras 38 e 39.

5.2 Análises dos macronutrientes

Ao longo dos meses de janeiro a maio de 2011 foram realizados estudos da concentração dos macronutrientes (concentrações de nitrogênio e fósforo) no reservatório em estudo, seguindo os mesmos pontos de coleta da perfilagem mostrada no item 5.1.

Para a quantificação do nitrogênio no açude foram feitas análises das seguintes espécies nitrogenadas: nitrito, nitrato, amônia e nitrogênio orgânico. Para a quantificação do fósforo foram realizados ensaios a fim de se obter o fósforo total e o fósforo solúvel (ortofosfato). As profundidades de amostragem para cada ponto foram as mesmas mencionadas na seção Materiais e Métodos deste trabalho.

5.2.1 Nitrogênio

O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, por exemplo: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (NO_2), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas e aminoácidos), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos).

Além das formas inorgânicas de nitrogênio, os produtores primários podem assimilar formas orgânicas, como ureia, aminoácidos, peptídeos. Estes compostos, juntamente com outros (muitos deles quimicamente ainda não identificados), formam um grupo de compostos genericamente denominado de nitrogênio orgânico dissolvido.

As principais fontes de nitrogênio orgânico dissolvido são: lise celular, decomposição e excreção pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas. Sendo 10% do nitrogênio assimilado pelo fitoplâncton devolvidos ao meio como nitrogênio orgânico dissolvido (SCHELL, 1974 *apud* ESTEVES, 1998).

Tanto a amônia como o nitrogênio orgânico são relativamente imóveis nos solos e águas subterrâneas devido a adsorção e filtração, mas são suscetíveis a nitrificação em condições aeróbias (HEM, 1994).

O escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas as drenagens de águas pluviais associadas às deficiências do sistema de

limpeza pública constituem fonte difusa de difícil caracterização. Como visto, o nitrogênio pode ser encontrado em águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras chamam-se formas reduzidas, e as duas últimas, formas oxidadas.

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos. São tidos como macronutrientes, pois depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o mais fértil e possibilitam o crescimento em maior extensão dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas, o que é chamado de eutrofização.

5.2.1.1 Nitrito

O nitrito (NO_2^-) é um intermediário tanto no processo da nitrificação quanto no da desnitrificação. Em ambientes aquáticos tropicais com boa aeração, o processo de nitrificação ocorre de forma rápida. A concentração de nitrito, geralmente, é muito pequena e difícil de ser detectada (ESTEVES, 1998).

A Tabela 34 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 45 apresenta a distribuição vertical e espacial de nitrito em cada mês de coleta no ponto GAV05.

Tabela 34 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrito no ponto de GAV05.

NITRITO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,004	ND*	0,004	0,002	0,001	61,45
FEV	0,004	0,001	0,003	0,002	0,002	111,02
MAR	0,004	0,001	0,004	0,002	0,001	60,18
ABR	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	36,71
MAI	0,001	ND	0,001	0,001	0,000	60,01

*ND: Não-detectável pelo método utilizado.

A concentração máxima de nitrito ocorreu em janeiro e fevereiro (0,004 mg/L), enquanto que o mínimo foi menor que o limite de detecção para o método

utilizado ($< 0,001$ mg/L) no mês de maio. As amplitudes oscilaram entre 0,001 e 0,004 ao longo das campanhas de amostragem. Desvio padrão e coeficiente de variação mais elevados foram encontrados em fevereiro (0,002 mg/L e 111,02%).

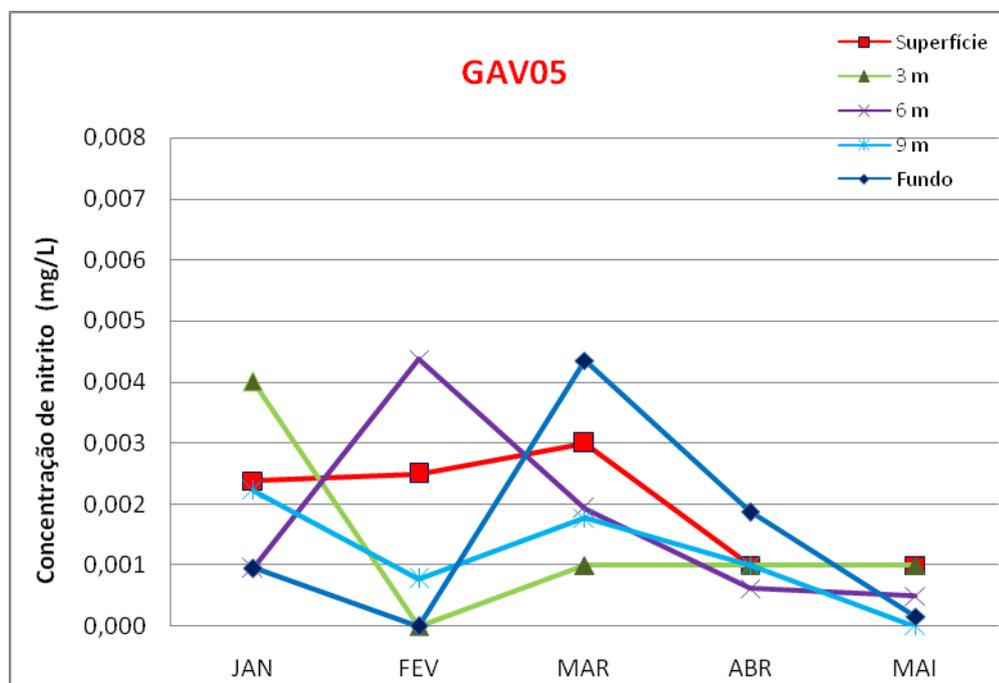


Figura 45 - Variação de nitrito no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os dados obtidos, durante o período de estudo, mostram valores de nitrito que variaram de menor que 0,001 mg/L (limite de detecção do método) a 0,004 mg/L, com média de 0,002 mg/L. Os valores menores que 0,001 mg/L foram representados no gráfico com o valor 0,000 mg/L para melhor visualização.

O parâmetro apresentou a concentração mínima nos meses de fevereiro e maio neste ponto GAV05. Geralmente, o nitrito está presente em quantidades mínimas em águas bem oxigenadas, pois é facilmente oxidado a nitrato, como acontece no açude em grande parte do período estudado. Estes resultados vão ao encontro daqueles observados por Hijo (2009), que em estudos no açude Castanhão nos meses de novembro de 2006 a junho de 2007, observou que as concentrações de nitrito ficaram abaixo do limite de detecção em todas as campanhas e em todos os três pontos de coleta estudados.

A Tabela 35 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 46 apresenta a distribuição vertical e espacial de nitrito em cada mês de coleta no ponto GAV14.

Tabela 35 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrito no ponto de GAV14.

NITRITO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,004	0,002	0,002	0,003	0,001	39,84
FEV	0,007	ND	0,007	0,005	0,004	83,67
MAR	0,004	0,003	0,001	0,004	0,001	16,39
ABR	0,004	0,002	0,002	0,003	0,001	30,31
MAI	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	24,74

*ND: Não-detectável pelo método utilizado.

O valor máximo ocorreu na campanha de fevereiro (0,007 mg/L), enquanto que o mínimo foi observado em fevereiro (< 0,001 mg/L). As médias permaneceram bem próximas, variando entre 0,001 e 0,005 mg/L. Os desvios encontrados foram baixos, pois as concentrações de nitrito se dispersaram pouco em relação à média.

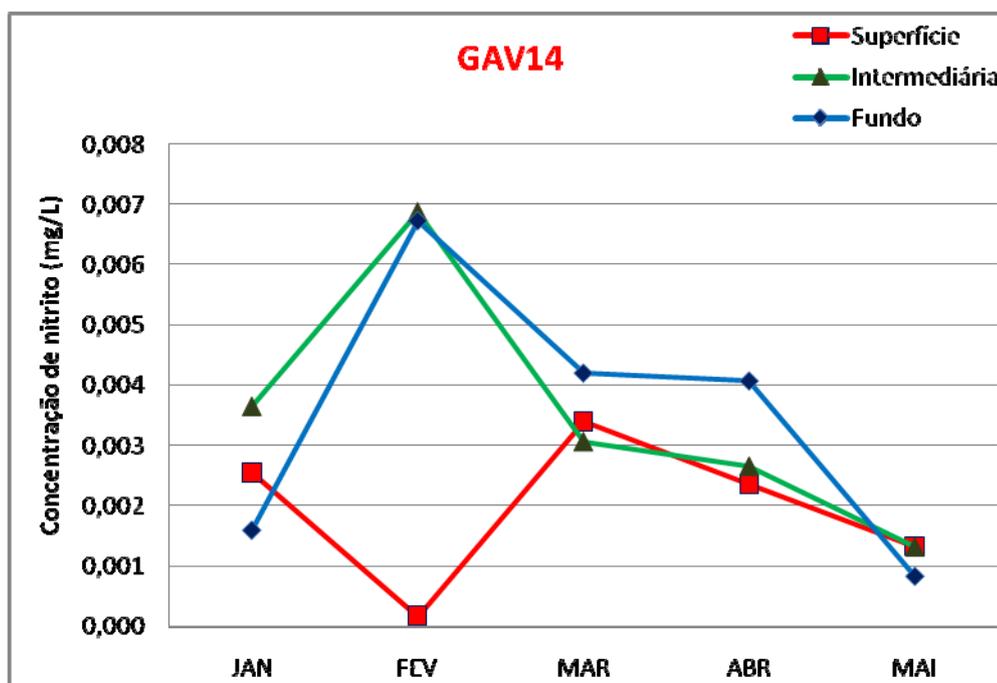


Figura 46 - Variação de nitrito no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

O maior pico verificado durante o tempo de estudo foi 0,007 mg N-NO₂/L no mês de janeiro, provavelmente, devido à existência de poluição orgânica recente neste ponto e neste período. Os valores obtidos no reservatório de Itaipu por Ribeiro (2006), vão ao encontro das concentrações da atual amostragem feita nas águas do açude Gavião. Em Itaipu, a concentração média de nitrito foi de 0,006 mg/L, com mínimo de 0,002 mg/L.

O açude Acarape do Meio, nos estudos de Pacheco (2009), apresentou concentrações de nitrito entre 0,055 e 0,441 mg/L no período seco e no período chuvoso, de 0,004 a 0,193 mg/L. Para o mesmo açude Gavião, Braga (2006) encontrou uma média de 0,047 mg/L durante o período chuvoso e 0,042 mg/L em estação seca. A autora concluiu que as concentrações médias mensais estavam dentro do limite permitido pela Resolução CONAMA nº 357 (Água Classe 2) e de acordo com a Portaria nº 518 que estabelece 1,0 mg N-NO₂/L. Sendo as concentrações encontradas por estes dois autores bem maiores do que os observados no atual estudo.

A Tabela 36 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 47 apresenta a distribuição vertical e espacial de nitrito em cada mês de coleta no ponto GAV16.

Tabela 36 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrito no ponto de GAV16.

NITRITO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	50,92
FEV	0,004	ND	0,003	0,002	0,002	119,90
MAR	0,001	ND	0,001	0,000	0,000	66,67
ABR	0,004	0,002	0,002	0,003	0,001	40,95
MAI	0,002	ND	0,001	0,001	0,001	51,63

*ND: Não-detectável pelo método utilizado.

Para o nitrito no GAV16, a máxima concentração ocorreu em fevereiro (0,004 mg/L), enquanto que o mínimo valor foi abaixo do limite de detecção nos meses de fevereiro, março e maio. As médias oscilaram entre 0,000 e 0,003 mg/L. Desvio padrão e coeficiente de variação mais elevados foram encontrados em fevereiro (0,002 mg/L e 119,90%, respectivamente).

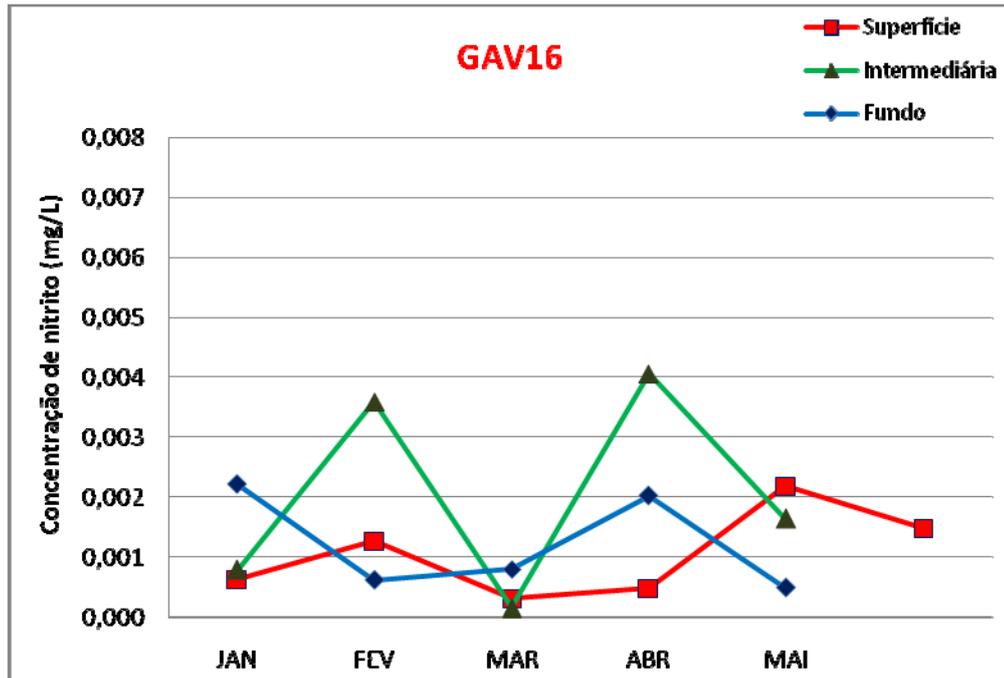


Figura 47 - Variação de nitrito no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Em geral, as concentrações na superfície foram discretamente menores que às encontradas na profundidade intermediária e no fundo do açude. Como as variações são pequenas, fica difícil estabelecer alguma relação ou tendência.

Em reservatórios de regiões tropicais, a concentração de nitrito é bem baixa comparada com as concentrações de nitrato e amônia. Pode-se concluir que o nitrito apresentou variação sazonal, onde os maiores valores foram observados no período chuvoso, uma vez que a chuva ao lavar a bacia de drenagem carrega nitrogênio para o açude.

A Figura 48 mostra a variação deste parâmetro nas principais entradas de água do açude em estudo, CANAL e RIACHO. A estatística descritiva não foi feita para estes pontos, já que amostras foram coletadas apenas na superfície.

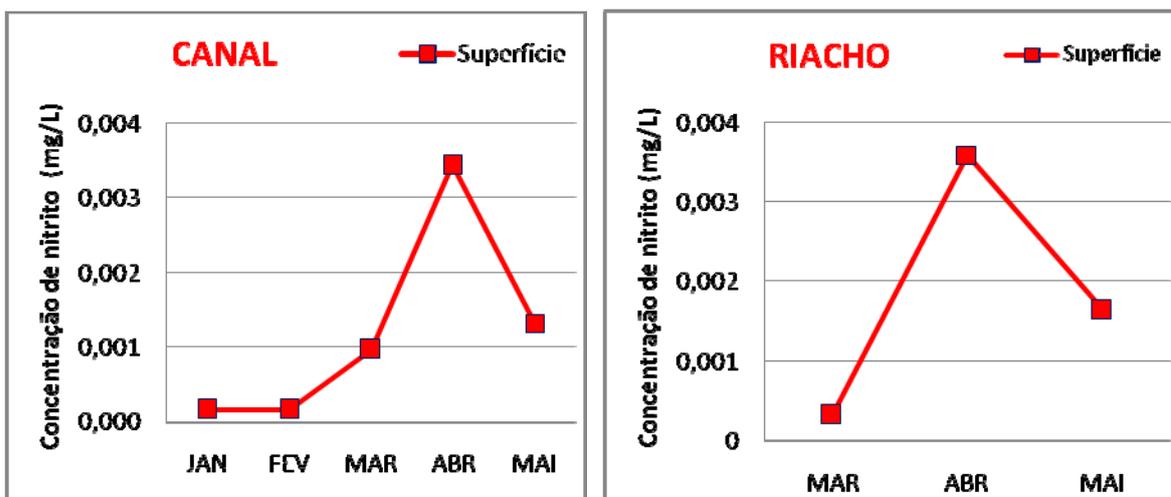


Figura 48 - Variação de nitrito nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Nos pontos afluentes ao açude, observa-se o mínimo nos meses de janeiro e fevereiro no CANAL e o máximo na campanha do mês de abril tanto no RIACHO, quanto no Canal, 0,003 mg N-NO₂⁻/L. Valores mais elevados de nitrito podem ser explicados pelo aporte de nutrientes carregados pelas chuvas e pelas reações de decomposição da matéria orgânica.

5.2.1.2 Nitrato

Dentre as formas de nitrogênio no ambiente aquático, o nitrato, juntamente com o íon amônio são os mais importantes, já que são as fontes de nitrogênio mais facilmente assimiladas pelos produtores primários.

De um modo geral, tem-se observado que durante o período de estratificação térmica da massa d'água, as concentrações de nitrato são mais baixas do que durante o período de circulação, tanto no epilímnio quanto no hipolímnio. Isto porque no epilímnio, que fica isolado das camadas inferiores, o nitrato é assimilado pelo fitoplâncton e no hipolímnio com baixas concentrações de oxigênio, ocorre a amonificação do nitrato (ESTEVES, 1998).

A Tabela 37 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 49 apresenta a distribuição vertical e espacial de nitrato em cada mês de coleta no ponto GAV05.

Tabela 37 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrato no ponto de GAV05.

NITRATO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,151	0,115	0,036	0,127	0,017	13,64
FEV	0,097	0,069	0,028	0,081	0,013	15,65
MAR	0,072	0,043	0,029	0,056	0,014	25,16
ABR	0,053	0,011	0,042	0,033	0,018	52,43
MAI	0,015	0,010	0,005	0,012	0,002	16,24

Para o nitrato no GAV05, a máxima concentração foi observada em janeiro (0,151 mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,010 mg/L no mês de maio. As médias oscilaram entre 0,012 e 0,127mg/L. Os maiores valores para desvio padrão e coeficiente de variação foram encontrados em abril (0,018 mg/L e 52,43%, respectivamente).

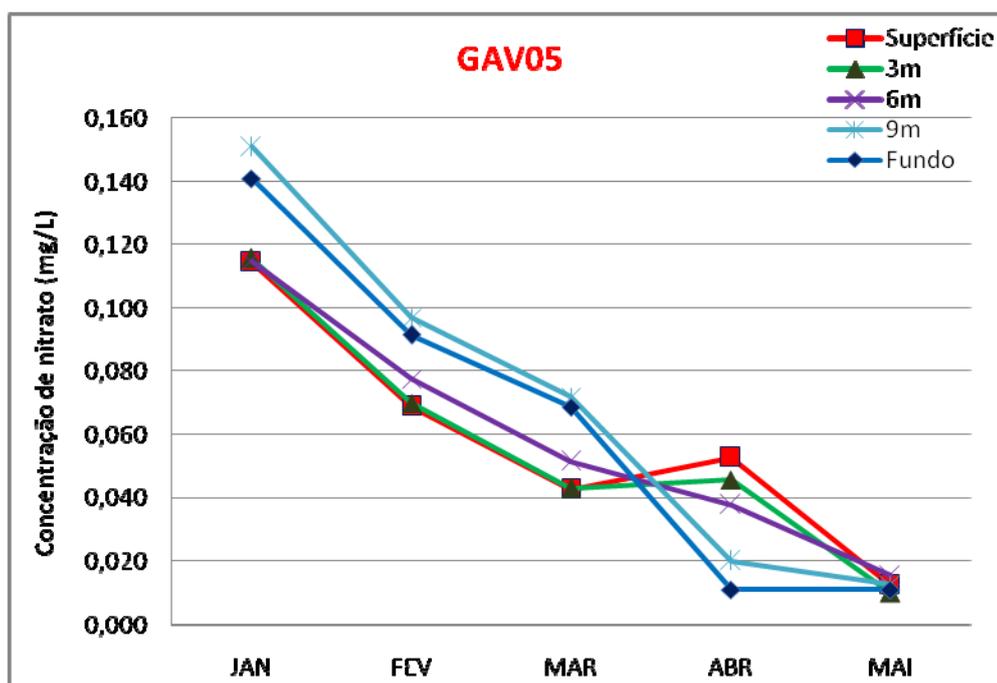


Figura 49 - Variação de nitrato no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV05, os resultados das análises mostram um comportamento frequente de decréscimo na concentração ao longo do ano. Em relação à profundidade, os pontos mais superficiais (superfície e 3 m) apresentaram

concentrações menores que nos pontos profundos (9 m e 12 m) até o mês de março, momento este em que esta relação se inverteu.

Observou-se certa uniformidade, oscilando discretamente ao longo do perfil vertical, excetuando-se o mês de abril, que apresentou um valor máximo de 0,053 mg/L e nas proximidades do fundo, 0,011 mg/L. O mês de maio, em especial, a concentração de nitrato apresentou-se como a mais baixa do período estudado e aproximadamente constante em toda a coluna d'água. Este decréscimo pode estar ligado à diminuição da oxigenação geral da massa líquida. Geralmente, ao longo da quadra chuvosa, tem-se um potencial redox menor e decrescente no período estudado.

A Tabela 38 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 50 apresenta a distribuição vertical e espacial de nitrato em cada mês de coleta no ponto GAV14.

Tabela 38 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrato no ponto de GAV14.

NITRATO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,110	0,095	0,015	0,105	0,008	7,80
FEV	0,130	0,054	0,075	0,094	0,038	40,19
MAR	0,081	0,065	0,016	0,075	0,009	11,55
ABR	0,086	0,084	0,002	0,085	0,001	1,09
MAI	0,044	0,012	0,032	0,024	0,018	73,65

Sobre as concentrações de nitrato no GAV14, temos que a máxima ocorreu em fevereiro (0,130mg/L), enquanto que a mínima de 0,012 mg/L ocorreu em maio. As amplitudes variaram entre 0,002 e 0,075 mg/L. As médias oscilaram de 0,024 a 0,105 mg/L. Desvio padrão mais elevado foi encontrado em fevereiro, 0,038 mg/L.

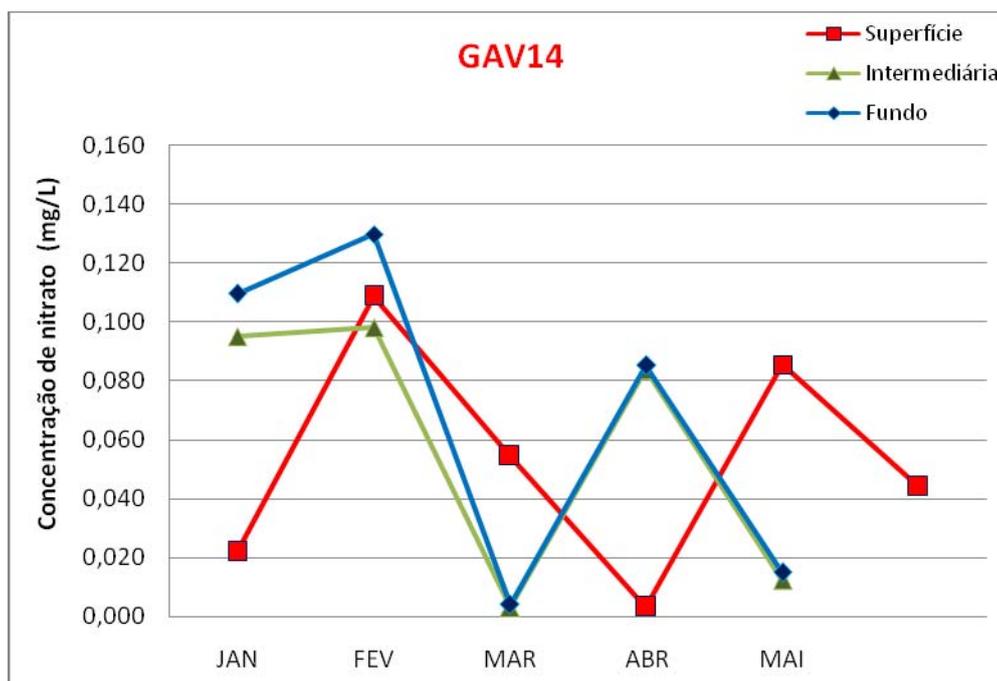


Figura 50 - Variação de nitrato no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV14, o maior valor encontrado foi durante a campanha do mês de fevereiro 0,130 mg/L no fundo. Observa-se um comportamento similar do ponto GAV05, com exceção dos meses de março e abril, quando a concentração de nitrato caiu em todas as profundidades a praticamente zero e depois subiu a 0,085 mg/L e 0,086 mg/L, respectivamente. Isso pode ter acontecido já que este ponto é mais raso que o GAV05 e, portanto, uma mistura da coluna d'água pode ocorrer com mais facilidade.

A Tabela 39 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 51 apresenta a distribuição vertical e espacial de nitrato em cada mês de coleta no ponto GAV16.

Tabela 39 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrato no ponto de GAV16.

NITRATO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,171	0,140	0,032	0,160	0,018	11,00
FEV	0,202	0,100	0,102	0,145	0,052	35,93
MAR	0,073	0,068	0,005	0,070	0,002	3,29
ABR	0,077	0,063	0,014	0,072	0,008	10,59
MAI	0,014	0,004	0,010	0,009	0,005	57,77

O maior valor da fração mais oxidada de nitrogênio, o nitrato, foi encontrado na campanha de amostragem realizada no mês de fevereiro (0,202 mg/L). O mínimo valor foi de 0,004 mg/L em maio. As médias oscilaram entre 0,009 e 0,160 mg/L., com desvio padrão variando entre 0,005 e 0,052 mg/L ao longo dos meses de estudo no açude.

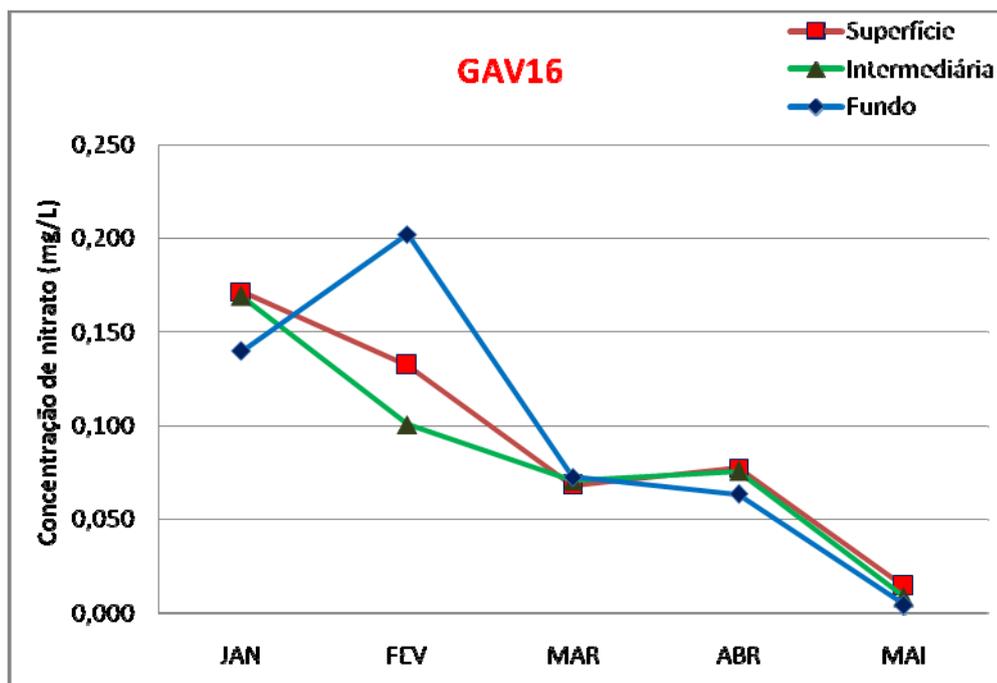


Figura 51 - Variação de nitrato no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV16 observou-se um decréscimo de nitrato ao longo do período de estudo similar ao encontrado no ponto GAV05. Em todas as campanhas observou-se uma concentração de nitrato constante ao longo do perfil vertical indicando uma desestratificação, excetuando-se o mês de fevereiro, no qual a concentração do fundo apresentou-se maior que as superiores (0,202 mg/L).

Apesar de se encontrar desestratificado para o nitrato ao longo do período de pesquisa, com exceção da campanha realizada em fevereiro, o potencial redox sofreu um decréscimo ao longo do período devido, provavelmente, à uma menor disponibilidade de oxigênio dissolvido na massa líquida.

O mês de fevereiro apresentou em todos os pontos amostrais concentrações de nitrato no fundo maior que na superfície. Uma explicação cabível seria que, devido à degradação da matéria orgânica no sedimento (havendo

liberação de amônia), a alta taxa e boa distribuição da oxigenação neste mês, fez com que a amônia produzida fosse prontamente oxidada a nitrato, aumentando os níveis de NO_3 no fundo do açude.

A Figura 52 mostra a variação deste parâmetro nas principais entradas de água do açude em estudo, CANAL e RIACHO.

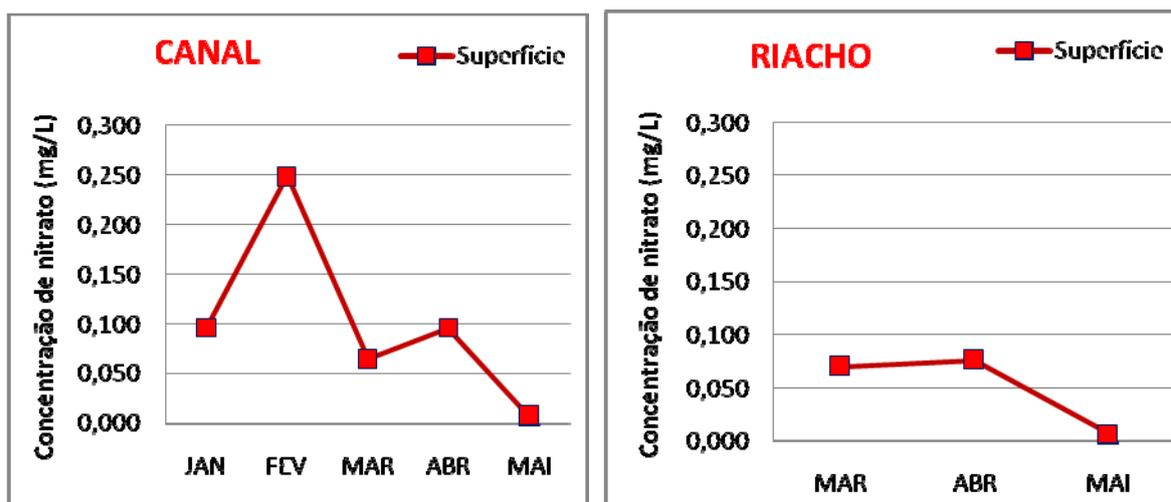


Figura 52 - Variação de nitrato nos pontos de afluição CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Em relação às afluições ao açude, percebe-se o mesmo pico de nitrato na campanha do mês de fevereiro, com o valor de 0,249 mg/L no CANAL. Tanto para o Canal quanto para o Riacho, a menor concentração verificada foi no mês de maio, com 0,007 mg/L na superfície. Observando-se as concentrações médias dos dois afluentes nos últimos três meses de coleta – Canal e Riacho, 0,102mg/L e 0,051 mg/L, respectivamente, percebe-se uma contribuição maior deste parâmetro vindo do Canal para o açude, incrementando consideravelmente o teor de nitrato no reservatório. Porém, estes resultados ainda são prematuros para se estabelecer qualquer conceito conclusivo na qualidade da água deste reservatório, tomando como base esses dois pontos.

Para o mesmo açude, Braga (2006) encontrou concentrações médias entre 0,015 e 0,142 mg/L, relativamente semelhantes as observadas neste atual trabalho (0,004 a 0,202 mg/L). No açude Acauã, localizado na Paraíba, verificou-se concentração média de nitrato de 0,251 mg/L, com valores entre 0,009 e 0,0352 mg/L. O autor observou que na extensão da zona fótica, as concentrações desta espécie eram maiores, devido a maior incidência de luz, onde há maior

concentração de oxigênio, predominando a espécie mais oxidada, NO_3^- (LUNA, 2008). Basso e Turcato (2008) estudou a bacia do rio Ibicuí/RS e verificou que o teor de nitrato das águas analisadas variaram de 0,446 a 0,981 mg/L. Ambos autores encontraram valores bem acima dos observados no açude Gavião atualmente.

5.2.1.3 Amônia

A concentração de nitrogênio amoniacal engloba as duas formas: íons de amônio NH_4^+ e amônia NH_3 . A amônia é o produto inicial da decomposição de nitrogênio orgânico e está frequentemente presente como indicador desta decomposição recente ou em ambientes com baixo potencial redox ou ambientes anóxicos. O aumento de amônia pode resultar na mortandade de seres vivos aquáticos, por ser um componente químico altamente tóxico à vida.

A Tabela 40 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 53 apresenta a distribuição de amônia em cada mês de coleta no ponto GAV05.

Tabela 40 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de amônia no ponto de GAV05.

AMÔNIA (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,112	0,056	0,056	0,078	0,031	39,12
FEV	0,728	0,056	0,672	0,235	0,284	120,70
MAR	0,728	0,504	0,224	0,605	0,083	13,73
ABR	1,624	0,952	0,672	1,400	0,260	18,55
MAI	1,624	0,616	1,008	1,198	0,393	32,81

Para a amônia no GAV05, a máxima concentração foi observada em abril e maio (1,624mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,056 mg/L nos meses de janeiro e fevereiro. É notável que as concentrações de nitrogênio amoniacal aumentaram significativamente a partir do período de chuva com maior intensidade, acarretando acréscimo na média mensal para o parâmetro (entre 0,078 e 1,198 mg/L).

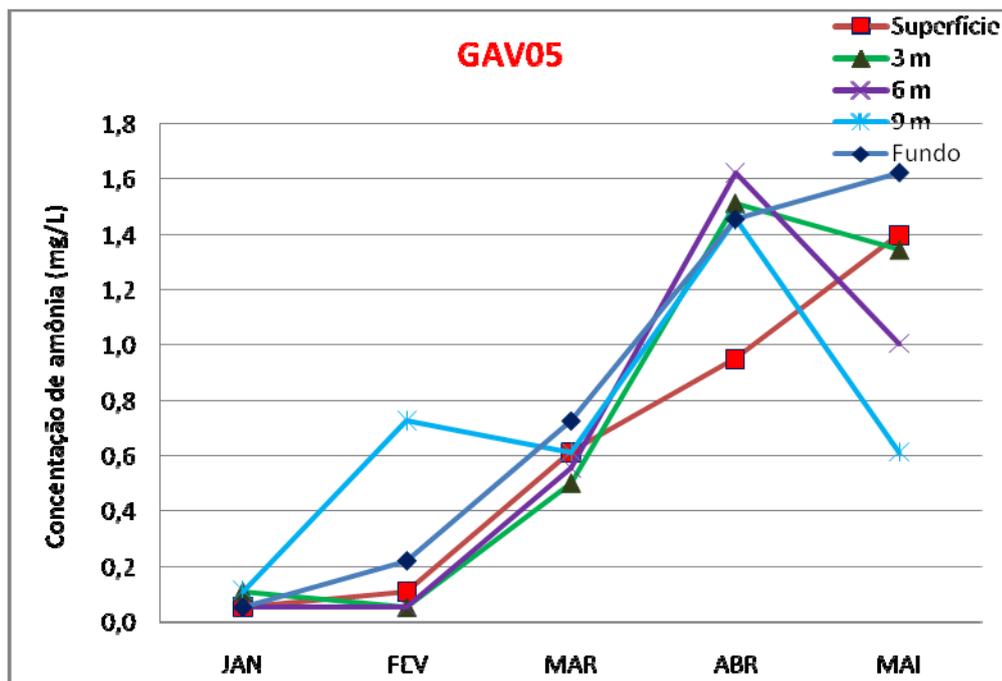


Figura 53 - Variação de amônia no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV05, observou-se um aumento na concentração de amônia até o mês de abril e depois uma diminuição no mês de maio com exceção dos pontos superfície e fundo que continuaram a subir neste mês. Este resultado reforça a hipótese de diminuição do potencial redox médio na massa líquida ao longo do período estudado já que se encontrou de acordo com o observado para o nitrato que, no geral diminuiu ao longo do período estudado.

As campanhas realizadas nos meses de janeiro e fevereiro apresentaram níveis de amônia bem baixos quando comparados aos demais, em torno de 0,056 mg/L, excetuando-se a profundidade 9 m no mês de fevereiro que apresentou-se acima (0,728 mg/L).

A Tabela 41 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação e a Figura 54 apresenta a distribuição de amônia em cada mês de coleta no ponto GAV14.

Tabela 41 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de amônia no ponto de GAV14.

(mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,056	0,022	0,034	0,045	0,019	43,30
FEV	0,056	0,011	0,045	0,026	0,026	98,97
MAR	0,952	0,056	0,896	0,467	0,453	96,99
ABR	1,344	0,090	1,254	0,907	0,709	78,11
MAI	0,672	0,078	0,594	0,437	0,315	72,21

A máxima concentração de amônia foi observada em abril (1,344mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,011 mg/L no mês de fevereiro. As amplitudes variaram entre 0,034 e 1,254mg/L e as médias apresentaram oscilação entre 0,026 e 0,907 mg/L. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação ocorreram em março, com 0,453 mg/L e 96,99% respectivamente.

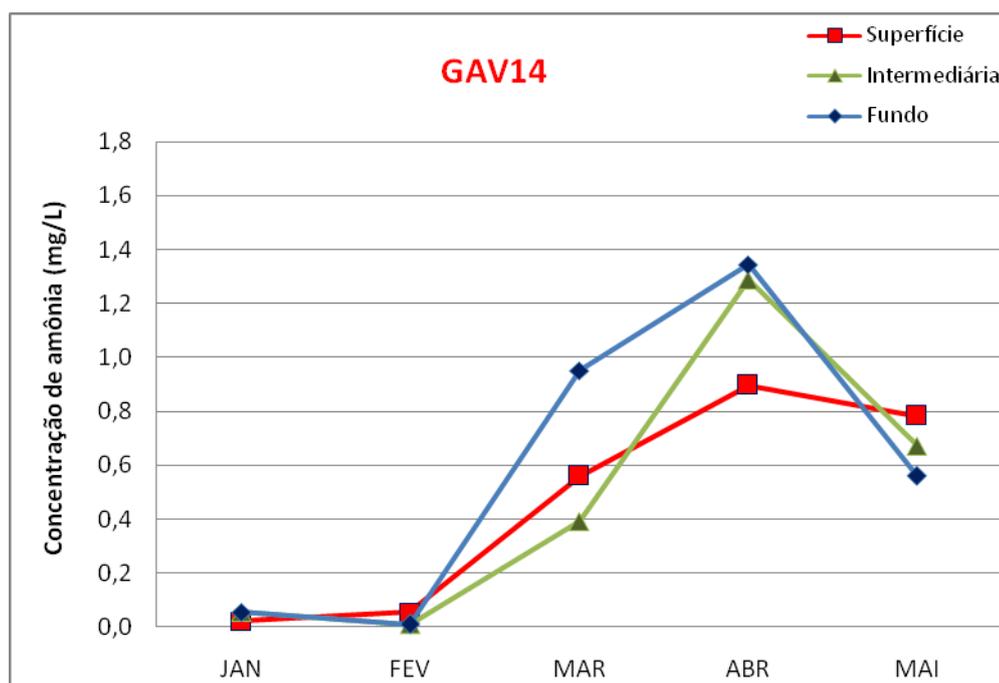


Figura 54 - Variação de amônia no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Em geral, no ponto GAV14 observou-se concentrações maiores de amônia nas proximidades do fundo (0,952 e 1,344 mg/L, em março e abril, respectivamente) e menores na superfície (0,112 e 0,056 mg/L, em fevereiro e

março, respectivos).Manteve-se o mesmo perfil de acréscimo a partir de março, assim como foi observado no GAV05.

Em análise temporal, observa-se que a concentração de amônia é maior durante os meses com fortes chuvas, ou seja, a partir do mês de março em diante, sendo observado também em outros pontos do açude, um incremento elevado de amônia. Este fato pode decorre da maior entrada deste nutriente no açude pelas chuvas e da amonificação, formando amônia durante o processo de decomposição da matéria orgânica particulada e dissolvida em ambiente de baixo potencial redox.

A Tabela 42 mostra os valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variaçãoe a Figura 55 apresenta a distribuição de amônia em cada mês de coleta no ponto GAV16.

Tabela 42 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de amônia no ponto de GAV16.

AMÔNIA (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,112	0,056	0,056	0,075	0,032	43,30
FEV	0,168	0,056	0,112	0,112	0,056	50,00
MAR	0,672	0,560	0,112	0,616	0,056	9,09
ABR	1,344	1,232	0,112	1,288	0,056	4,35
MAI	0,896	0,784	0,112	0,840	0,056	6,67

A máxima concentração de amônia para o ponto GAV16 foi observada em também em abril (1,344mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,056 mg/L nos meses de janeiro e fevereiro. As amplitudes variaram entre 0,056 e 0,112mg/L e as médias apresentaram oscilação entre 0,075 e 1,288 mg/L. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação ocorreram em fevereiro, com 0,056 mg/L e 50,00% respectivamente.

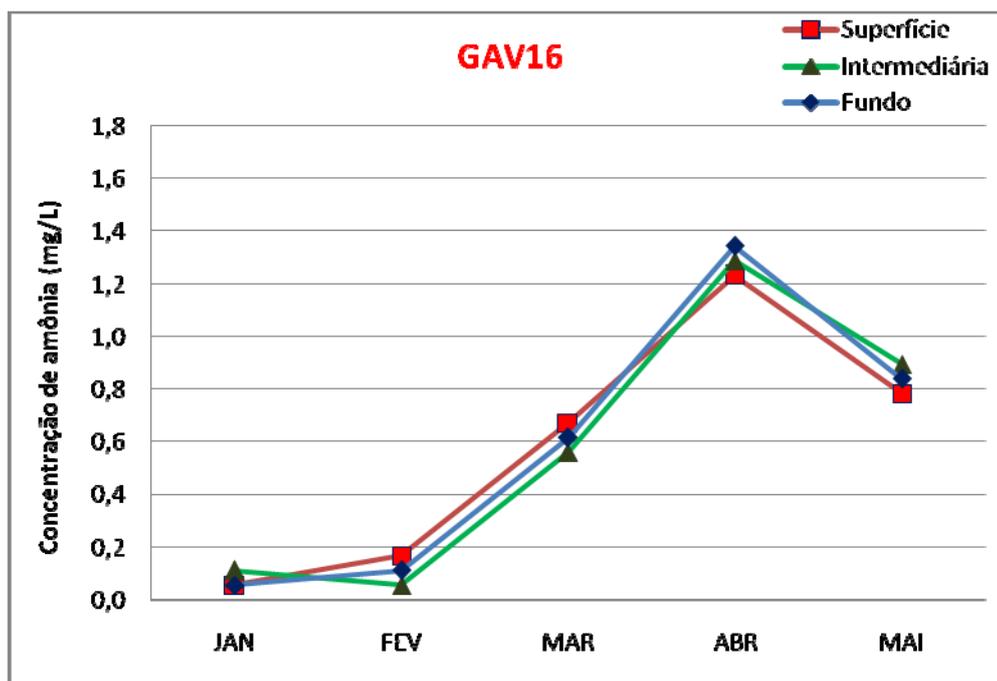


Figura 55 - Variação de amônia no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os dados obtidos no perfil vertical de todos os pontos demonstram que os valores mais elevados de amônia entre os meses estudados estão nas maiores profundidades do açude, visto que a amonificação prevalece com a escassez de oxigênio ou anoxia. Os maiores valores de amônia encontrados foi de 1,344 mg/L, no fundo do ponto GAV16.

O ponto GAV16 também apresentou o mesmo comportamento da concentração de amônia dos pontos anteriores. A diferença é que, este ponto apresentou concentrações bem próximas ao longo da coluna d'água, indicando que este ponto é bem misturado.

Segundo Esteves (1998), ambientes com baixa concentração de oxigênio dissolvido proporcionam um habitat com características adversas para a fauna e flora aquática. Nestas condições pode ocorrer mortandade de peixes e invertebrados, mesmo em lagos totalmente livres de poluição. Além disso, a amônia que se origina da atividade bacteriana, pode ser liberada dos sedimentos para a água sob condições de baixa concentração do oxigênio. Justificando a elevada presença do nitrogênio amoniacal mesmo na superfície da água.

Para o açude Gavião, Freire (2007) encontrou nos anos de 1998 e 1999 concentrações médias mínimas e máximas de amônia: 0,114 e

0,820mg/Lrespectivamente, sendo este parâmetro, o constituinte principal das frações de nitrogênio inorgânico dissolvido. Braga (2006), também para o açude Gavião, encontrou valores médios na superfície entre 0,226 e 0,229 mg/L, nos meses de janeiro a dezembro de 2005, permitindo concluir que, ao longo dos anos, o teor denitrogênio amoniacal nas águas do açude Gavião vem aumentandoconsideravelmente, visto que as concentrações atuais de amônia estão bem mais elevadas que as encontradas anteriormente.Hijo (2009) observou os níveis de amônia no açude Castanhão/CE tanto na entrada como na saída do reservatório, obtendo valores bem mais baixos do que os encontrados neste atual estudo, o autor verificou uma distribuição de amônia entre 0,080 e 0,690 mg/L.

A Figura 56 mostra a variação deste parâmetro nas principais entradas de água do açude em estudo, CANAL e RIACHO.

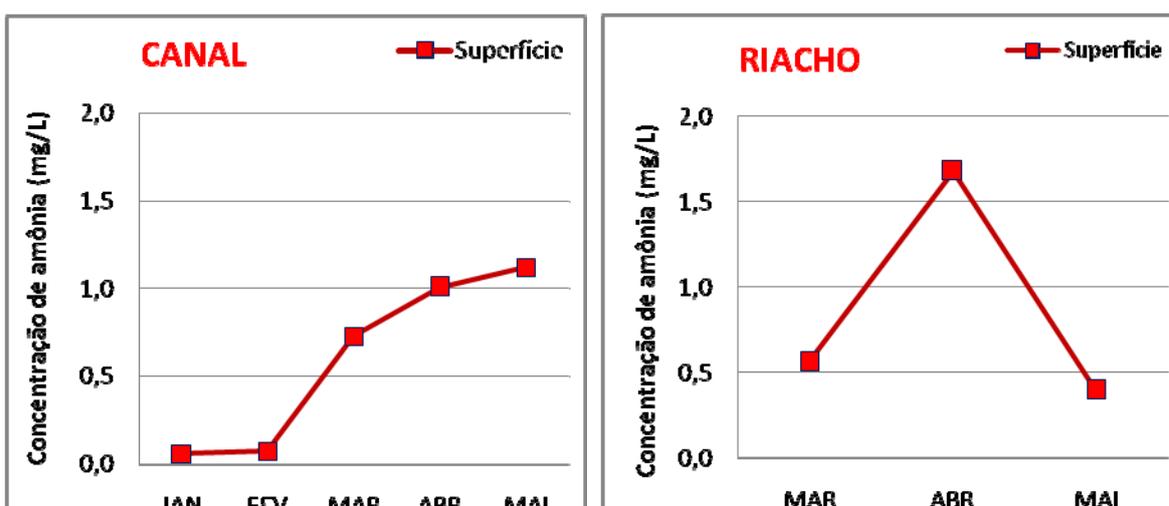


Figura 56 - Variação de amônia nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os resultados mostram uma forte mudança nos valores das concentrações para diferentes épocas do ano. Analisando as duas afluências do açude, observam-se picos de amônia na época das fortes chuvas com valor máximo de 1,680 mg/L no RIACHO e valores mínimos nos dois primeiros meses do ano (0,056 e 0,072 mg/L) no CANAL. É importante lembrar que, ao longo da extensão destas entradas, existem domicílios e indústrias, onde se presume que haja uma significativa contribuição deste parâmetro para o reservatório, principalmente durante o carreamento ocasionado pelos períodos de chuva.

Os teores de amônia no CANAL foram encontrados aos valores observados nos pontos do interior do açude, já que apresentou os mesmos incrementos a partir do mês de março. Já o RIACHO, (amostrado apenas a partir da 4ª campanha de coleta) apresentou 0,056 mg/L em março, chegando ao pico de 1,680 mg/L em abril e decrescendo em maio para 0,392 mg/L.

Observa-se que, de todas as formas nitrogenadas inorgânicas presentes nas águas do Gavião no período estudado, a espécie encontrada em maior quantidade foi o nitrogênio amoniacal. Este fato também foi observado por Gomes (1998), que verificou dentre os compostos nitrogenados da lagoa do Uruaú, que a maior parcela correspondeu à amônia, sendo que as concentrações de nitrito e nitrato apresentadas estiveram muitas vezes próximas do limite de detecção do método. Já Vilar (2009), em seus estudos nos reservatórios da Paraíba, encontrou que a forma nitrogenada de maior concentração nos quatro açudes por ele estudados foi o nitrato. Durante o período de estiagem, o valor máximo encontrado foi de 0,785mg/L em junho/2007 no açudeRoque e o mínimo de 0,001 mg/L em outubro/2007 no açudeBola I. Já no período chuvoso o valor máximo registrado foi de 0,367mg/L (dezembro/2007; Luiz Heleno) e o mínimo foi de 0,011 mg/L (maio/2007; Namorados).

5.2.1.4 Nitrogênio Orgânico

O nitrogênio orgânico pode ser encontrado em sua forma dissolvida (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos) e particulada (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton, detritos). No caso deste estudo, foi realizada a fração de nitrogênio orgânico total (dissolvida +particulada). Embora a fração inorgânica ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, NO_2^- e NO_3^-) normalmente seja mais importante, a fração orgânica pode não ser desprezada.

A Tabela 43 mostra a estatística descritiva para o nitrogênio orgânico em cada mês de coleta no ponto GAV05 e a Figura 57 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 43 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrogênio orgânico no ponto de GAV05.

N-ORGÂNICO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,793	0,420	0,373	0,607	0,158	26,09
FEV	1,260	0,653	0,607	1,008	0,259	25,69
MAR	1,027	0,467	0,560	0,672	0,265	39,47
ABR	0,980	0,607	0,373	0,765	0,167	21,82
MAI	1,167	0,560	0,607	0,784	0,246	31,33

O máximo valor encontrado para o nitrogênio orgânico no ponto GAV05 foi observado em fevereiro (1,260mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,420 mg/L no mês de janeiro. As amplitudes variaram entre 0,373 e 0,607mg/L e as médias apresentaram oscilação entre 0,672 e 1,008 mg/L. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação ocorreram em março, com 0,265 mg/L e 39,47% respectivamente.

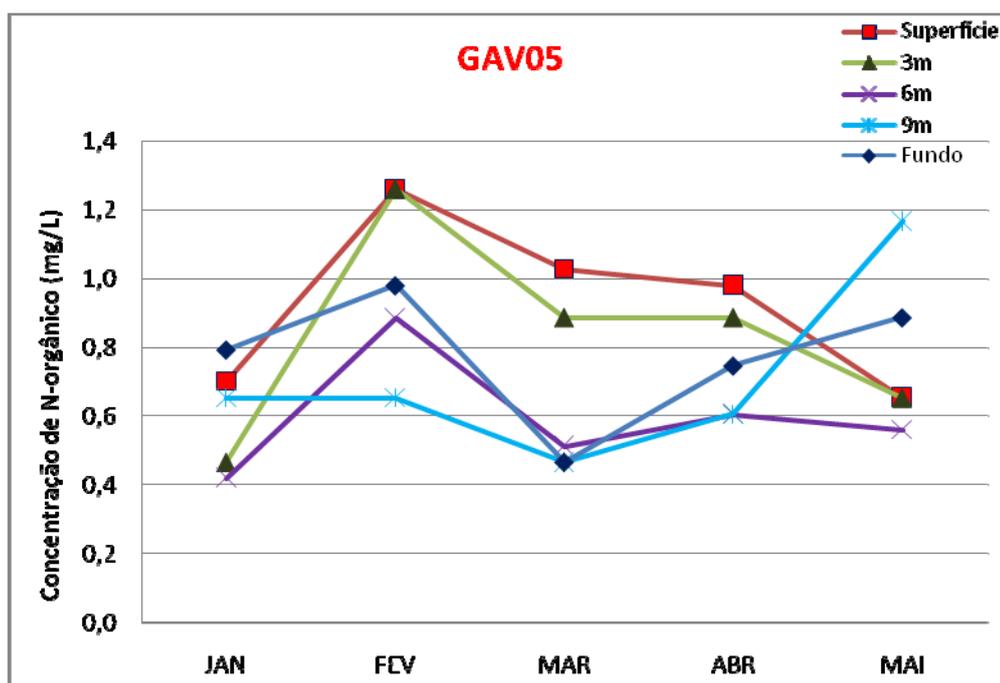


Figura 57 - Variação de nitrogênio orgânico no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os pontos apresentaram comportamentos bem diferenciados para o nitrogênio orgânico ao longo do tempo e ao longo da coluna d'água. Neste ponto GAV05, suas concentrações variaram entre 0,420 (janeiro) e 1,260 mg/L (fevereiro).

Valores mais elevados de nitrogênio orgânico estão, provavelmente, associados ao carreamento de material orgânico para o reservatório durante o período de chuva, refletindo-se na menor transparência da água. Altas concentrações de nitrogênio orgânico total também foram encontradas por Oliveira (2006) na Lagoa do Batoque durante todo o período de estudo, variando de 0,3 a 1,285 mg/L. O autor concluiu que 70-80% do nitrogênio orgânico total presente na água estava na forma dissolvida.

A Tabela 44 mostra a estatística descritiva para onitrogênio orgânico em cada mês de coleta no ponto GAV14 e a Figura 58 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 44 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrogênio orgânico no ponto de GAV14.

N-ORGÂNICO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,840	0,513	0,327	0,716	0,177	24,69
FEV	1,120	0,560	0,560	0,778	0,300	38,57
MAR	0,700	0,467	0,233	0,607	0,123	20,35
ABR	0,840	0,560	0,280	0,700	0,140	20,00
MAI	0,793	0,700	0,093	0,731	0,054	7,37

A máxima concentração de nitrogênio orgânico para o ponto GAV14 foi observada em também em fevereiro(1,120mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,513 mg/L no mês de janeiro. As amplitudes variaram entre 0,093 e 0,560mg/L e as médias apresentaram-se bem próximas ao longo dos meses, com valores entre 0,607 e 0,778 mg/L.

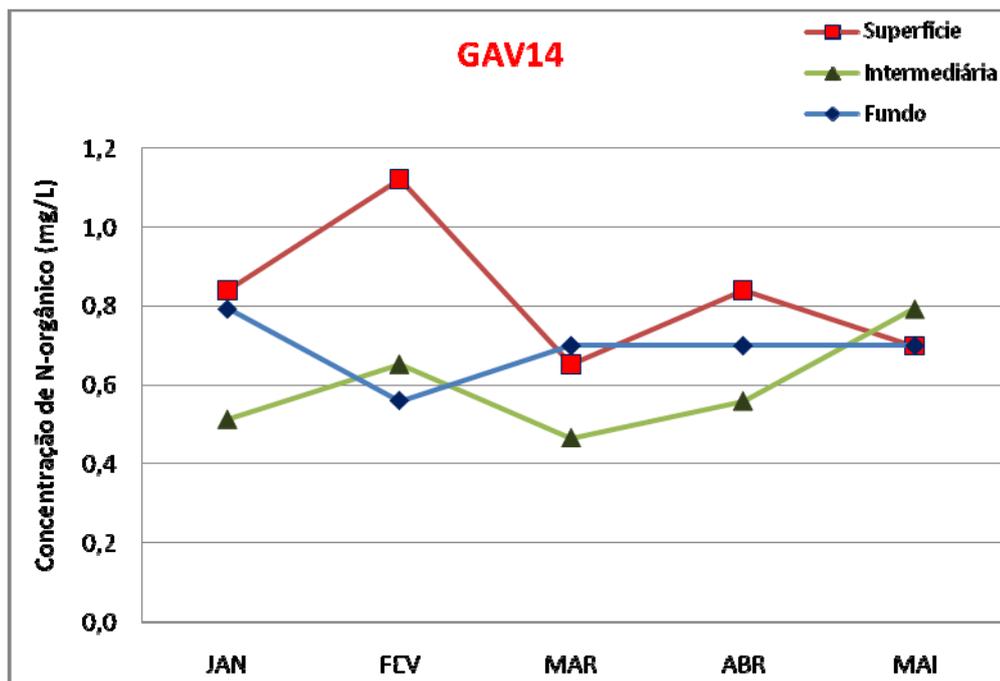


Figura 58 - Variação de nitrogênio orgânico no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Pacheco (2009) registrou que as maiores concentrações de nitrogênio orgânico variaram entre 1,12 a 1,80 mg/L no período chuvoso, em estudos no açude Acarape do Meio. O ponto GAV14 apresentou pico máximo de 1,120 mg/L de nitrogênio orgânico na amostragem de fevereiro, sendo este valor semelhante ao encontrado pelo autor citado.

A fração dissolvida dos compostos nitrogenados orgânicos pode ser remineralizada rapidamente, particularmente se exposta a alterações fotoquímicas pela exposição a raios ultravioletas provenientes da radiação solar natural. Deste modo, a alta concentração destes compostos na água se constitui em um forte indicativo de intensa atividade metabólica do sistema, haja visto que, as principais fontes de nitrogênio orgânico dissolvido num corpo d'água são a lise celular, a decomposição e a excreção pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas.

A Tabela 45 mostra a estatística descritiva para o nitrogênio orgânico em cada mês de coleta no ponto GAV16 e a Figura 59 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 45 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de nitrogênio orgânico no ponto de GAV16.

N-ORGÂNICO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,747	0,653	0,093	0,700	0,047	6,67
FEV	0,840	0,840	0,000	0,840	0,000	0,00
MAR	1,073	0,700	0,373	0,856	0,194	22,71
ABR	0,840	0,747	0,093	0,793	0,047	5,88
MAI	0,653	0,560	0,093	0,607	0,047	7,69

A máxima concentração de nitrogênio orgânico para o ponto GAV16 foi observada em março(1,073mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,560 mg/L no mês de janeiro. Neste ponto, os valores de desvio padrão e principalmente de coeficiente de variação apresentaram os valores mais baixos para o parâmetro, caracterizando um ambiente desestratificado para o nitrogênio orgânico neste ponto.

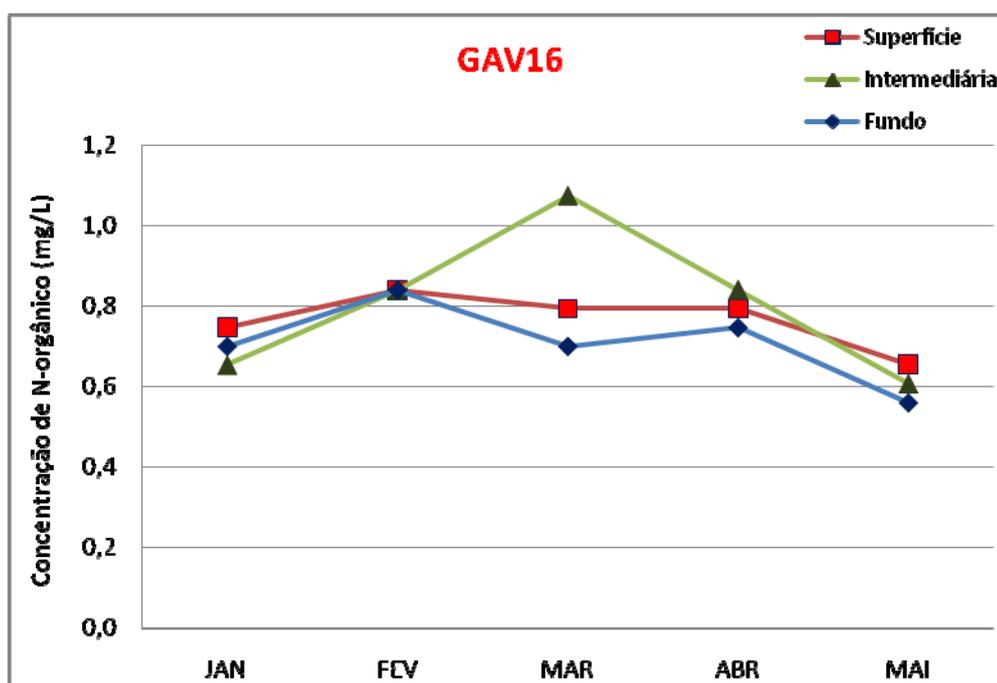


Figura 59 - Variação de nitrogênio orgânico no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV16, a variação de concentração de nitrogênio orgânico variou numa faixa mais estreita em comparação aos demais pontos, mantendo-se aproximadamente constante ao longo dos meses, excetuando-se o mês de março, no qual a concentração da profundidade intermediária apresentou-se mais elevada

(1,073 mg/L). É válido ressaltar a constância de concentrações de N-orgânico no mês de fevereiro, em superfície, profundidade intermediária e fundo do açude.

Lamparelli (2004), em estudos sobre os graus de trofia dos corpos d'água do estado de São Paulo, observou uma média de 0,880 mg/L para este parâmetro, com mínimos de 0,0 mg/L e máximos de 56,7 mg/L de nitrogênio orgânico, em média, nos reservatórios estudados. Já para os rios, representando os ecossistemas lóticos, onde há presença de velocidade de escoamento, as concentrações foram um pouco menores (média = 0,750 mg/L; mínimo = 0,0 mg/L e máximo = 22,0 mg/L). Tanto os reservatórios quanto os rios estudados pelo autor apresentaram concentrações mais elevadas que aquelas encontradas no atual estudo no Gavião.

A Figura 60 mostra a variação deste parâmetro nas principais entradas de água do açude em estudo, CANAL e RIACHO.

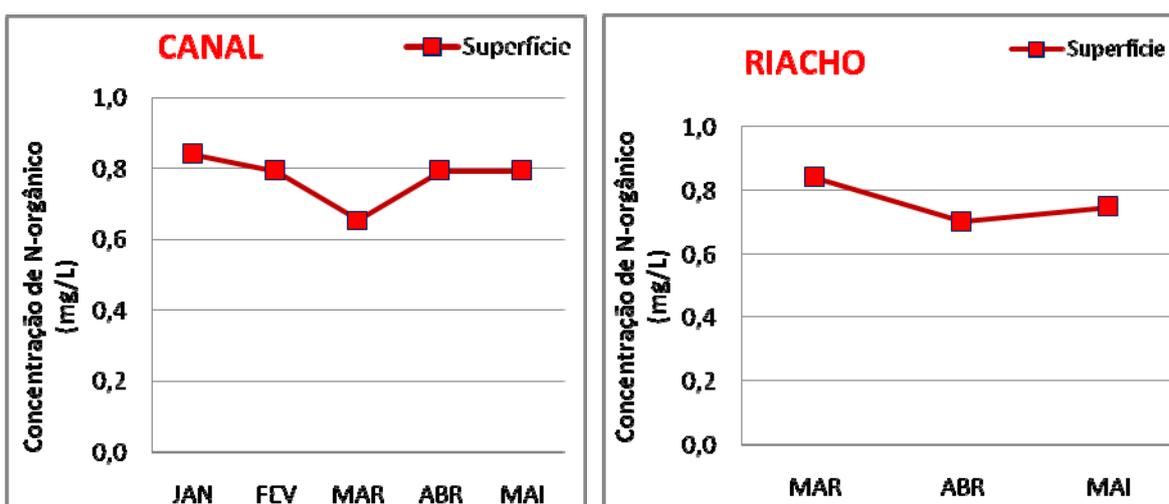


Figura 60 - Variação de nitrogênio orgânico nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Considerando os meses de campanha, obteve-se concentrações médias de nitrogênio orgânico de 0,774mg/L no CANAL e 0,762 mg/L no RIACHO. Sendo de forma geral, o nitrogênio orgânico proveniente das duas zonas de entrada de forma equitativa. Nos dois primeiros meses de coleta, o Canal apresentou as maiores concentrações da série, chegando em março com um pico mínimo de 0,653 mg/L, aumentando logo em seguida nos meses de abril e maio, para 0,793 mg/L. Provavelmente, devido ao carreamento de material orgânico para o reservatório durante o período de chuva.

Na afluência Riacho, obteve-se valores entre 0,700 e 0,840 mg/L, respectivamente em abril e março de 2011. Pode-se observar que, durante o mês de março, a maior contribuição de nitrogênio orgânico para o açude veio do Riacho.

5.2.2 Fósforo

O fósforo em ambientes aquáticos normalmente ocorre na forma oxidada como fosfato, podendo estar na fração inorgânica, geralmente como ortofosfato, ou orgânica. Em sistemas naturais, sem pressão antrópica, sua origem é da intemperização das rochas fosfáticas presentes nas bacias hidrográficas (REYNOLDS, 1978).

No entanto, o fósforo aparece em águas naturais por causa, principalmente, das descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais (CETESB, 2001 apud ANA, 2005).

O fósforo pode ainda encontrar-se adsorvido às argilas, que são de grande importância em águas continentais tropicais (ESTEVES, 1998). O fósforo precipita, concentrando-se nos sedimentos e pode ser remobilizado em baixas concentrações de oxigênio. Essa fonte interna também pode ter grande influência na produtividade primária de lagos e reservatórios (REYNOLDS, 1978).

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas. Os ortofosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de ortofosfatos. No entanto, essa terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque os polifosfatos sofrem hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

5.2.2.1 Fósforo Total

O fósforototal representa a soma de todas as frações de fosfato presentes na água.

A Tabela 46 mostra a estatística básica descritiva para o fósforo total em cada mês de coleta no ponto GAV05 e a Figura 61 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 46 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de fósforo total no ponto de GAV05.

P-TOTAL (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,465	0,218	0,248	0,376	0,103	27,47
FEV	0,505	0,284	0,221	0,433	0,090	20,70
MAR	0,372	0,145	0,227	0,294	0,087	29,73
ABR	0,386	0,319	0,067	0,354	0,027	7,57
MAI	0,458	0,211	0,247	0,295	0,098	33,26

A concentração máxima de fósforo total neste ponto foi de 0,505 mg/L na campanha realizada no mês de fevereiro, já a mínima foi de 0,145 mg/L no mês de março. As amplitudes variaram de 0,067 a 0,248 mg/L, com médias oscilando entre 0,294 a 0,433 mg/L. O maior CV foi observado em maio (CV = 33,26%), caracterizando uma alta dispersão das concentrações em torno da média.

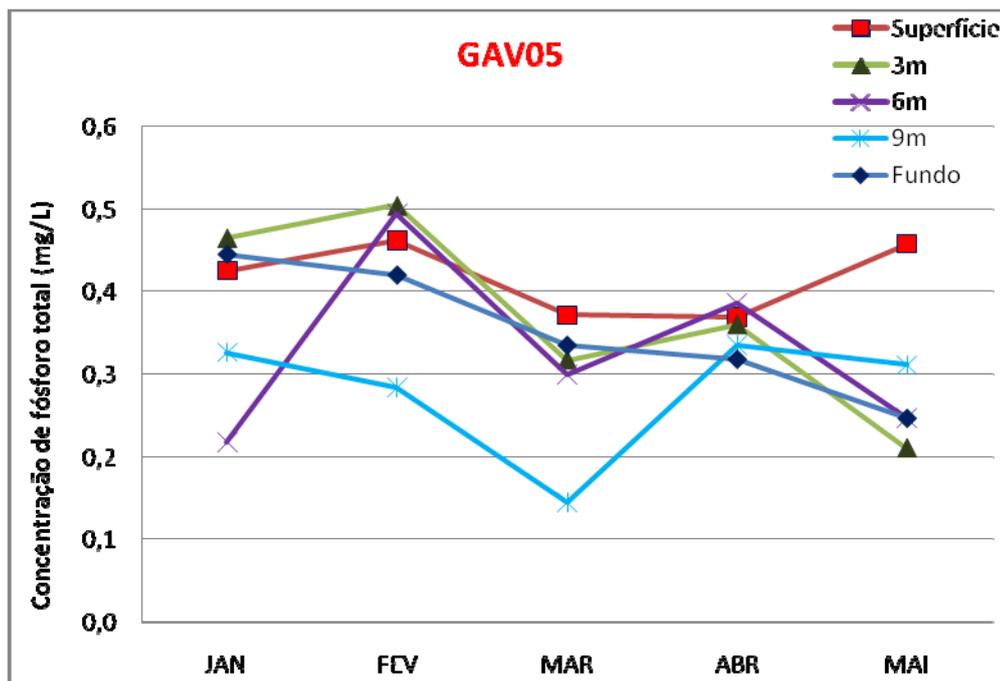


Figura 61 - Variação de fósforo total no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os valores de fósforo total nas águas superficiais variaram de 0,386 a 0,458mg/L. O maior valor mensal foi observado durante o mês de fevereiro (0,494 mg/L nos 3 m de profundidade), enquanto que o menor foi no mês de março (0,145 mg/L nos 9m de profundidade). As concentrações de fósforo total variaram discretamente, tanto com o tempo quanto em diferentes profundidades, em torno de 0,2 a 0,5 mg/L.

Os valores encontrados neste ponto são bem acima das concentrações de fósforo total observadas na superfície da Lagoa do Batoque/CE, estudado por Oliveira (2006), que apresentou distribuição espacial média mínima de 0,017 mg/L e máxima de 0,032 mg/L. Hijo (2009) em estudos no açude Castanhão, encontrou para o fósforo total, concentrações ainda menores que variaram entre 0,007 e 0,160 mg/L, na saída e na entrada do reservatório.

A Tabela 47 mostra a estatística descritiva para o fósforo total em cada mês de coleta no ponto GAV14 e a Figura 62 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 47 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de fósforo total no ponto de GAV14.

P-TOTAL (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,485	0,228	0,257	0,380	0,135	35,51
FEV	0,547	0,442	0,105	0,480	0,058	12,06
MAR	0,408	0,327	0,082	0,360	0,043	11,91
ABR	0,453	0,336	0,117	0,380	0,064	16,70
MAI	0,275	0,220	0,055	0,251	0,028	11,18

A máxima concentração de fósforo total para o ponto GAV14 foi observada em janeiro(0,547mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,220 mg/L no mês de maio. As médias oscilaram entre 0,251 e 0,480 mg/L ao longo das campanhas de amostragem. Neste ponto, os valores de desvio padrão e principalmente de coeficiente de variação apresentaram os valores mais baixos para este parâmetro, caracterizando um ponto mais homogêneo em relação à concentração de fósforo total.

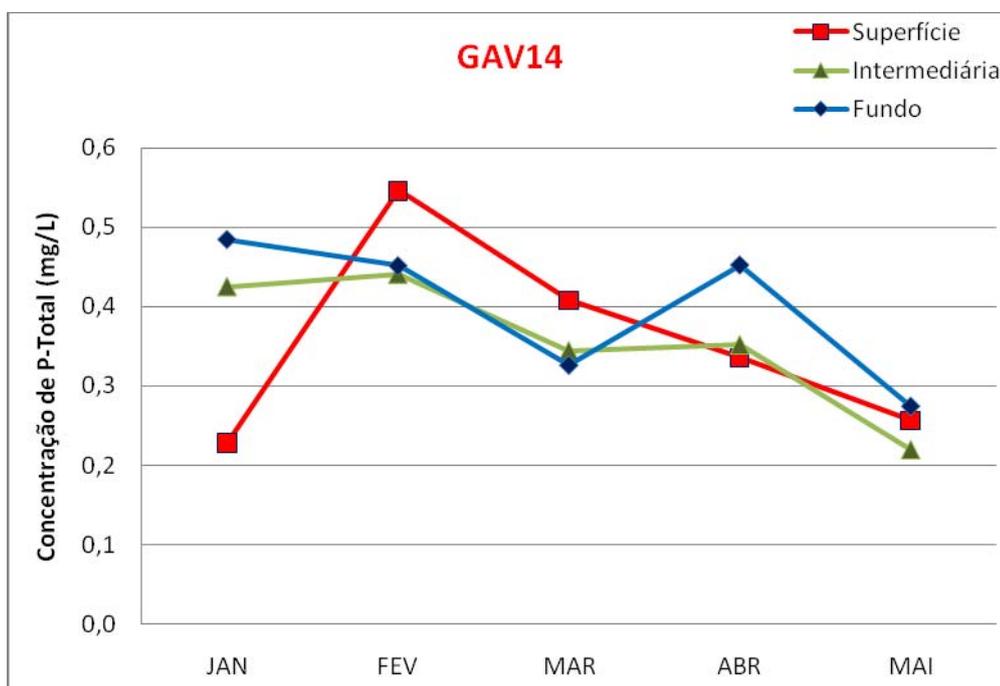


Figura 62 - Variação de fósforo total no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

O ponto GAV14 seguiu com concentrações médias aproximadas, variando entre 0,25 e 0,55 mg/L, permanecendo discretamente constante ao longo das campanhas. As concentrações na superfície variaram de 0,228 a 0,547 mg/L e as concentrações de fundo de 0,275 a 0,453 mg/L. Nos meses mais chuvosos de fevereiro e março, as concentrações da superfície foram maiores que as concentrações de compartimentos inferiores, refletindo um ambiente mais homogêneo, no qual o fósforo está disponível em toda a massa líquida.

A Tabela 48 mostra a estatística descritiva para o fósforo total em cada mês de coleta no ponto GAV16 e a Figura 63 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 48 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de fósforo total no ponto de GAV16.

P-TOTAL (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,475	0,366	0,109	0,409	0,058	14,18
FEV	0,673	0,252	0,421	0,452	0,211	46,69
MAR	0,762	0,118	0,644	0,433	0,322	74,54
ABR	0,369	0,344	0,025	0,358	0,013	3,58
MAI	0,321	0,211	0,110	0,263	0,055	21,03

Os valores máximos e mínimos para fósforo total foram observados na campanha de amostragem realizada em março, 0,762 e 0,211mg/L. As amplitudes oscilaram entre 0,025 e 0,644 mg/L, com médias variando de 0,263 a 0,452 mg/L. Os maiores desvio padrão e coeficiente de variação foram obtidos também no mês de março, com 0,322 mg//L e 74,54% respectivamente.

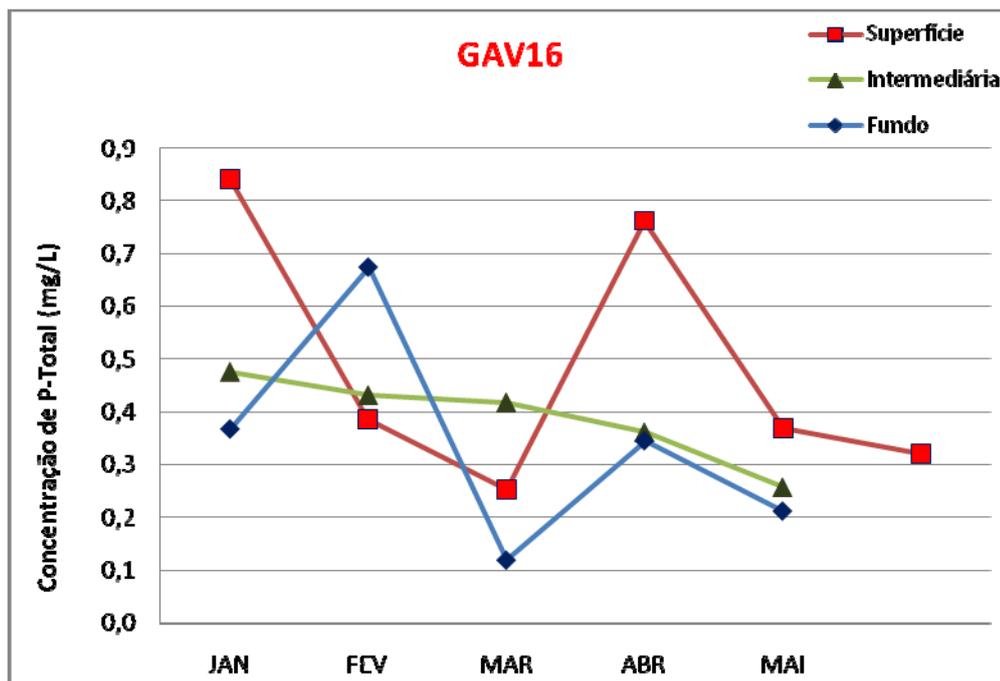


Figura 63 - Variação de fósforo total no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Considerando o ponto GAV16, observaram-se maiores variações deste parâmetro do que nos outros pontos de amostragem, com uma concentração média ao longo das campanhas de 0,383 mg/L. Verificou-se que para o mês de fevereiro, a concentração de fósforo total no fundo foi maior do que as da superfície e da intermediária, fato explicado pela maior proximidade com o sedimento, rico em fósforo imobilizado devido à sua possível precipitação com os compostos de ferro, face às condições de alta oxigenação da água do açude. Para os demais pontos e profundidades, o fósforo total encontra-se disponível em elevadas concentrações em toda a coluna d'água.

Segundo Sallas & Martino (1991), um reservatório é classificado como eutrófico em relação ao fósforo total, quando este reservatório atinge concentrações em torno de 0,119 mg/L. Observa-se que os valores de fósforo total encontrados no açude Gavião em 2011 estão bem acima do valor proposto pelos autores supracitados.

Para o açude Gavião, Freire (2007) obteve valores médios entre 0,086 e 2,421 mg/L de fósforo total e Braga (2006) encontrou para a distribuição temporal da concentração do mesmo parâmetro, valores em torno de 0,013 e 0,131 mg/L. Mais

uma vez, percebe-se elevados incrementos dos nutrientes no açude, principalmente fósforo de origem alóctone.

A Figura 64 mostra as concentrações do fósforo total ao longo das campanhas de coleta de água no açude em questão, considerando as suas afluências.

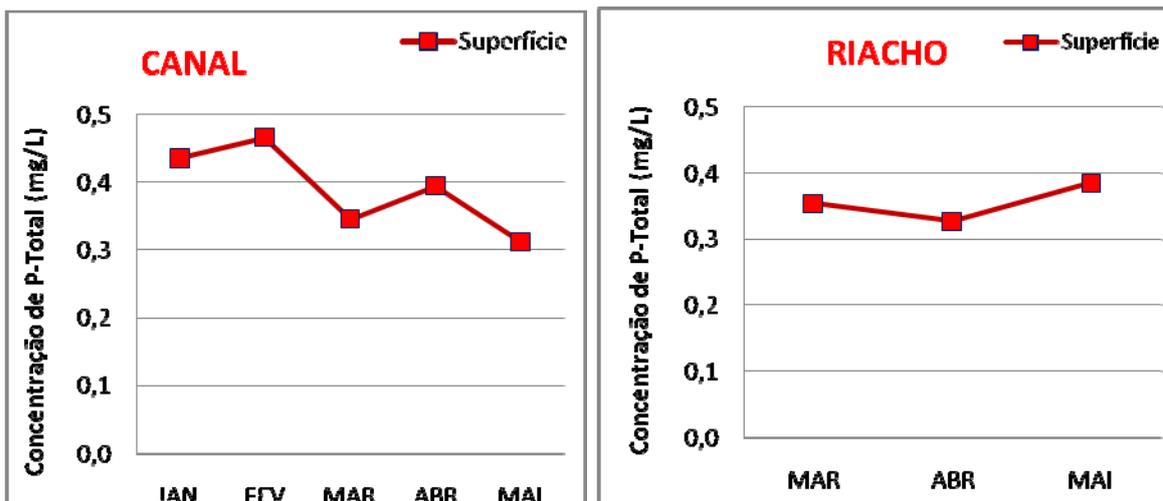


Figura 64 - Variação de fósforo total nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

A concentração de fósforo total no CANAL variou entre 0,312 e 0,466 mg/L, apresentando-se decrescente ao longo dos meses, enquanto que no RIACHO, a concentração oscilou de 0,354 mg/L em março, diminuindo para 0,327 mg/L em abril e em seguida, passando em abril para o valor máximo encontrado de 0,385 mg/L. O Canal apresentou um pico levemente maior do que aquele encontrado no Riacho, mas de um modo geral, pôde-se concluir que a carga de fósforo total que chega ao açude provém das duas afluências de forma equitativa.

5.2.2.2 Ortofosfato

O ortofosfato assume maior relevância em relação às outras formas de fosfato por ser a forma preferencial assimilada pelos vegetais aquáticos, muito embora muitas algas sejam capazes de assimilar outras frações de fosfato. Desta maneira, sua quantificação em pesquisas limnológicas torna-se indispensável. A

presença de ortofosfato na água depende da quantidade e do metabolismo dos organismos aquáticos, principalmente os fitoplâncton e as macrófitas aquáticas. O metabolismo desses organismos aumenta consideravelmente em lagos tropicais devido à temperatura. Dessa forma, o ortofosfato é rapidamente assimilado durante a fotossíntese e incorporado à sua biomassa, fazendo com que sua concentração na coluna d'água seja baixa (ESTEVES, 1998).

A Tabela 49 mostra a estatística descritiva para ortofosfato em cada mês de coleta no ponto GAV05 e a Figura 65 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 49 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de ortofosfato no ponto de GAV05.

ORTOFOSFATO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,245	0,025	0,221	0,147	0,080	54,57
FEV	0,407	0,068	0,339	0,207	0,127	61,71
MAR	0,269	ND*	0,269	0,136	0,122	89,65
ABR	0,309	0,084	0,225	0,137	0,097	70,95
MAI	0,063	0,036	0,027	0,046	0,012	25,07

*ND: Não-detectável pelo método utilizado.

A máxima concentração de ortofosfato (fósforo solúvel) para o ponto GAV05 foi observada em fevereiro (0,407mg/L), enquanto que o mínimo valor foi menor que o limite de detecção do método ($< 0,001$ mg/L). Neste ponto, os valores de desvio padrão e principalmente de coeficiente de variação apresentaram-se elevados, caracterizando grandes dispersões das concentrações em relação à média e em relação às profundidades.

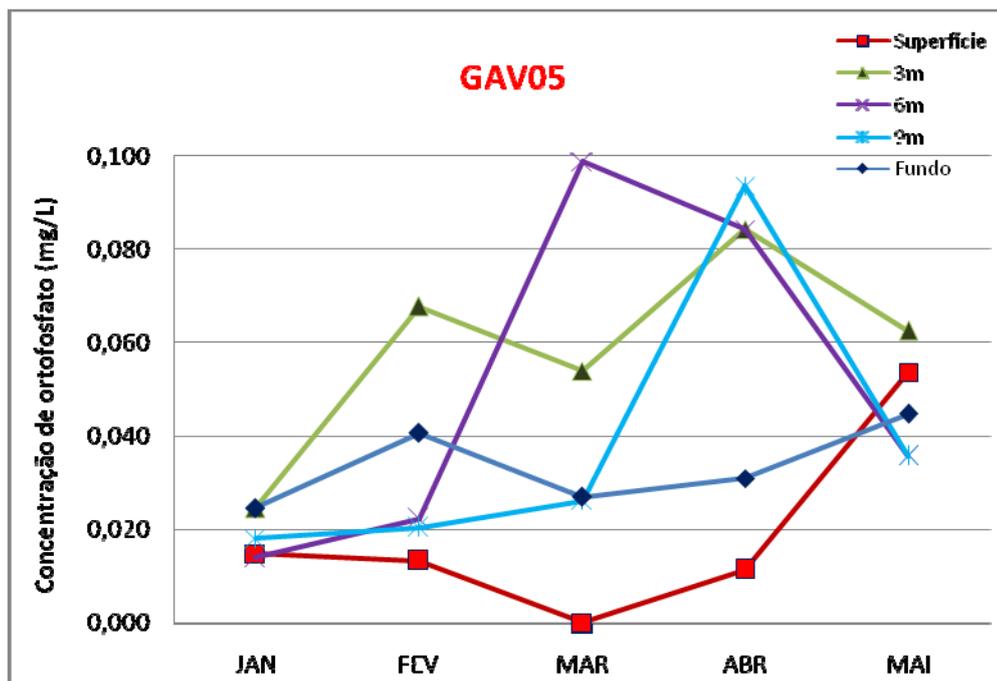


Figura 65 - Variação de ortofosfato no ponto GAV05 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Os dados obtidos mostraram concentrações de ortofosfato que variaram entre o limite de detecção do método ($<0,001$ mg/L) e 0,09 mg/L para as medições feitas na superfície da água e entre 0,025 e 0,041 mg/L para as concentrações de fundo. Neste ponto, de modo geral, o ortofosfato solúvel cresce com a profundidade e diminui com o período chuvoso. Apresentando valores mínimos e máximos no mês de março 0,000 e 0,099 mg/L (6 m de profundidade). Observou-se neste mês, um hipolímnio rico em ortofosfato solúvel, decorrente do fato de a liberação do íon fosfato para a coluna d'água ocorrer mais facilmente em condições de baixas concentrações de oxigênio, como já foi visto nos gráficos de perfilagem para OD, que a partir dos 6 m a concentração de oxigênio já era bem baixa.

A Tabela 50 mostra a estatística descritiva para ortofosfato em cada mês de coleta no ponto GAV14 e a Figura 66 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 50 - Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de ortofosfato no ponto de GAV14.

ORTOFOSFATO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,589	0,131	0,458	0,286	0,262	91,56
FEV	0,290	0,097	0,194	0,197	0,097	49,26
MAR	0,171	0,099	0,072	0,132	0,036	27,56
ABR	0,440	0,066	0,375	0,197	0,211	107,33
MAI	0,063	0,027	0,036	0,045	0,018	40,00

Para o ortofosfato no ponto GAV14, a máxima concentração foi observada em janeiro (0,589mg/L), enquanto que o mínimo valor foi de 0,027 mg/L no mês de maio. As médias oscilaram entre 0,045 e 0,286 mg/L. Desvios e coeficientes de variação altos foram predominantes neste ponto, o que revelou grande dispersão entre as concentrações de ortofosfato.

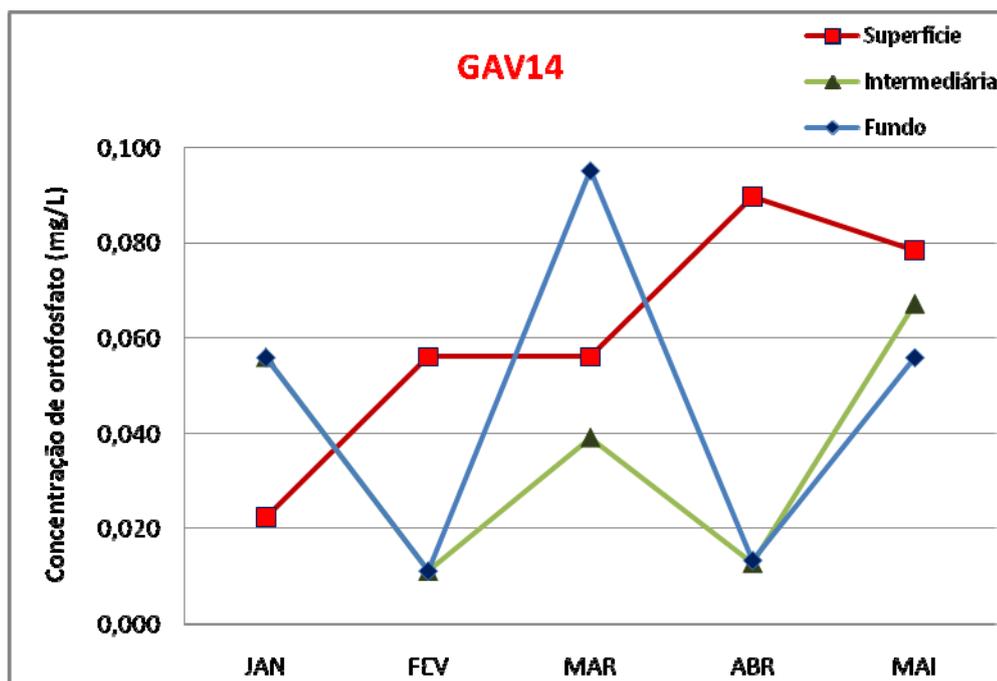


Figura 66 - Variação de ortofosfato no ponto GAV14 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

No ponto GAV14, a variação da concentração de ortofosfato na superfície oscilou entre 0,022 e 0,090 mg/L, apresentando-se crescente ao longo das campanhas, diminuindo apenas no mês de maio. As concentrações da profundidade intermediária e de fundo permaneceram praticamente constantes, com exceção no

mês de março, no qual a concentração de fundo apresentou-se maior (0,095 mg/L) que a intermediária (0,039 mg/L).

Nos meses de fevereiro e abril, as concentrações da superfície apresentaram-se maiores que as inferiores, devido, provavelmente, ao hipolímnio estar com pouco oxigênio, sendo os nutrientes liberados do sedimento para a coluna d'água. Característica frequentemente encontrada na parte inferior da coluna d'água, especialmente quando esta se encontra estratificada termicamente e o íon ferro encontra-se reduzido (Fe^{+2} , ferroso). Nestas condições não ocorre precipitação de fosfato pelo ferro, permanecendo, portanto, solúvel e distribuído na coluna (ESTEVES, 1998).

A Tabela 51 mostra a estatística descritiva para ortofosfato em cada mês de coleta no ponto GAV16 e a Figura 67 apresenta a distribuição do mesmo na coluna d'água.

Tabela 51- Valores máximos, mínimos, médios, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de ortofosfato no ponto de GAV16.

ORTOFOSFATO (mg/L)	MÁXIMO	MÍNIMO	Δ (mg/L)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV (%)
JAN	0,196	ND*	0,196	0,123	0,107	87,18
FEV	0,801	0,165	0,636	0,380	0,364	95,96
MAR	0,449	0,251	0,197	0,344	0,099	28,85
ABR	0,103	0,047	0,056	0,066	0,032	49,49
MAI	0,054	0,027	0,027	0,036	0,015	43,30

*ND: Não-detectável pelo método utilizado.

Neste ponto, o maior valor de concentração para o ortofosfato foi encontrado durante a campanha de amostragem de fevereiro (0,801 mg/L), enquanto que o menor valor observado foi em janeiro ($< 0,001$ mg/L). As médias oscilaram entre 0,036 e 0,380 mg/L. Os maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram observados no mês de fevereiro, respectivamente 0,364 mg/L e 95,96%.

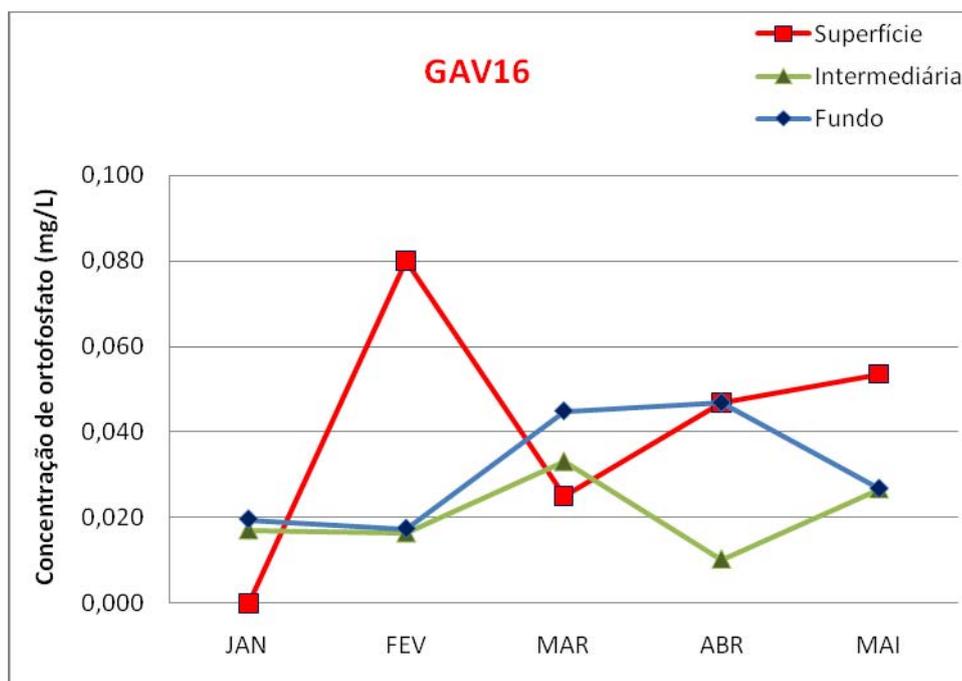


Figura 67 - Variação de ortofosfato no ponto GAV16 ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Na superfície ponto GAV16, é visível um pico durante a campanha realizada no mês de fevereiro (0,080 mg/L). Nos demais meses, as concentrações variaram, em média, de 0,02 a 0,05 mg/L, sendo as concentrações de fundo e intermediárias bem próximas em janeiro e fevereiro. Valores muito baixos de ortofosfato no mês de janeiro (abaixo do limite de detecção - referenciado no gráfico como 0,000 mg/L) e de março (0,017 mg/L), também foram encontrados por Silva *et al.* (2008) no açude Gavião, no qual o ortofosfato dissolvido apresentou resultados menores que 0,007 mg/L, atribuindo este fato às altas temperaturas do estado do Ceará (média anual de 30°C), onde o metabolismo dos organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o ortofosfato seja ainda mais rapidamente assimilado e incorporado à biomassa.

A Figura 68 mostra a distribuição do ortofosfato na coluna d'água para os pontos de coleta na zona de afluência ao açude.

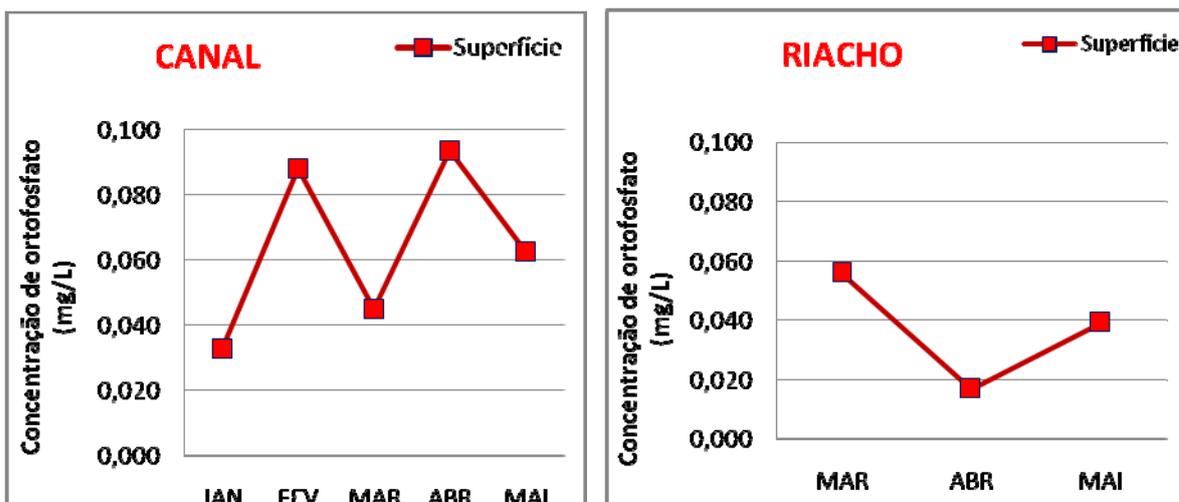


Figura 68 - Variação de ortofosfato nos pontos de afluência CANAL e RIACHO ao longo da coluna d'água, nos meses de amostragem.

Na superfície dos afluentes, as concentrações de ortofosfato seguem a mesma médidos pontos do interior do açude, variando de 0,017 até quase 0,1 mg/L. A média das concentrações no CANAL (0,067 mg/L) é um pouco acima da média obtida no RIACHO (0,037 mg/L), indicando que a maior contribuição de ortofosfato solúvel para o açude vem do Canal Riachão-Gavião.

5.3 Série Histórica (2005-2009)

A existência de séries históricas de dados e sua interpretação permitem uma melhor compreensão da evolução temporal da qualidade da água e sua correlação com outros fenômenos, indicando prioridades para a elaboração de ações de controle, que levem à proteção e/ou melhoria da qualidade ambiental. Com outras palavras, séries históricas podem ser analisadas a fim de se estabelecer padrões de distribuição sazonais e espaciais para indicadores bióticos e abióticos. O conhecimento destas variações pode ser manipulado e utilizado para a previsão da qualidade de água durante o ano hidrológico, além de subsidiar parâmetros de operação dos reservatórios.

Os dados da série histórica da qualidade de água no açude Gavião foram disponibilizados pela COGERH. Os parâmetros presentes nos dados históricos fornecidos são: nitrito, nitrato, amônia e ortofosfato para os anos de 2005 a 2009 e

os dados de fósforos totais referentes somente a 2008 e 2009. O ano de 2010 não esteve presente nos dados fornecidos para nenhum parâmetro estudado.

Os valores apresentados na Tabela 52 são médias simples de todos os pontos amostrados para o nitrito, durante os anos de 2005 a 2009, adicionados da média obtida com o presente estudo (2011).

Tabela 52 - Série histórica denitrito (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.

Nitrito	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Média (mg/L)	0,114	0,035	0,137	0,003	0,006	-	0,002

A Figura 69 mostra de maneira mais clara como este parâmetro variou ao longo dos anos.

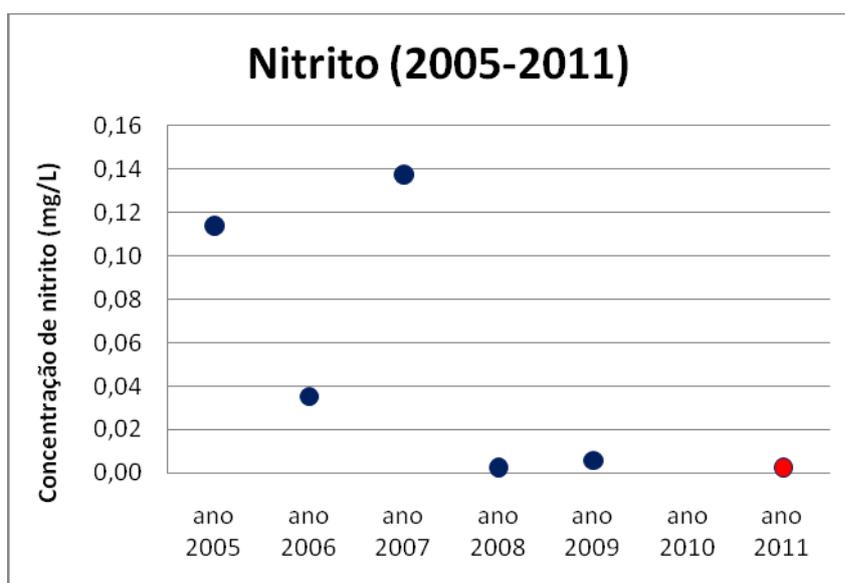


Figura 69 - Variação da concentração de nitrito nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.

Os anos de 2008 e 2009 apresentaram concentrações mínimas de nitrito, enquanto que os anos de 2005 e 2007 foram caracterizados por apresentarem índices mais elevados, respectivamente 0,114 e 0,137 mg/L. Com este trabalho, a média para o primeiro semestre de 2011 foi de 0,002 mg/L. Desta forma, percebe-se que a partir do ano de 2008 até os dias atuais, a concentração de nitrito nas águas do açude Gavião vem diminuindo em comparação ao pico máximo encontrado em

2007, não existindo grandes incrementos na concentração deste parâmetro na água ao longo dos últimos anos.

Os dados históricos para o nitrato no açude Gavião são mostrados na Tabela 53, levando em conta todos os pontos amostrados durante os anos de 2005 a 2009.

Tabela 53 – Série histórica de nitrato (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.

Nitrato	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Média (mg/L)	0,106	0,129	0,134	0,054	0,082	-	0,184

A partir da Figura 70, observa-se a distribuição temporal de nitrato nas águas do açude Gavião. Durante o ano de 2007, observa-se o maior valor encontrado nos últimos cinco anos, 0,134mg/L. No atual trabalho, referente ao primeiro semestre de 2011, a média de nitrato foi de 0,184 mg/L, maior valor encontrado desde 2005, indicando uma crescente contribuição deste parâmetro ao açude.

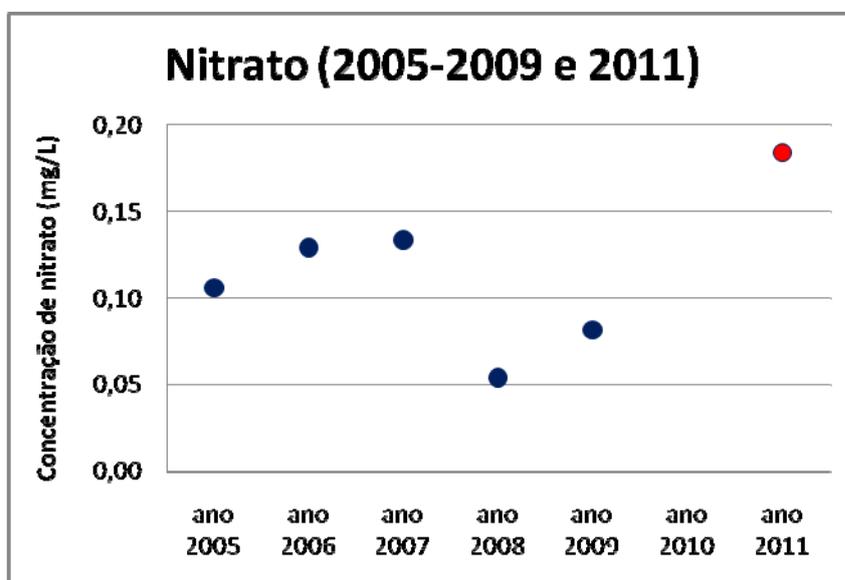


Figura 70 - Variação da concentração de nitrato nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.

A Tabela 54 mostra os dados históricos para a concentração de amônia quantificada no açude Gavião nos anos de 2005 a 2009 e 2011.

Tabela 54 – Série histórica de amônia (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.

Amônia	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Média (mg/L)	0,306	0,087	0,040	0,101	0,101	-	0,635

Observa-se ao longo da série temporal, que o maior valor encontrado para a amônia foi no ano de 2005, sendo a concentração média 0,306 mg/L. Ainda sim, este valor foi menor do que o encontrado no presente estudo no açude Gavião, que apresentou concentração média para o primeiro semestre de 2011, 0,635 mg/L de nitrogênio amoniacal. Com isso, pode-se assumir que está havendo acréscimo de amônia no açude ao longo dos anos (Figura 71).

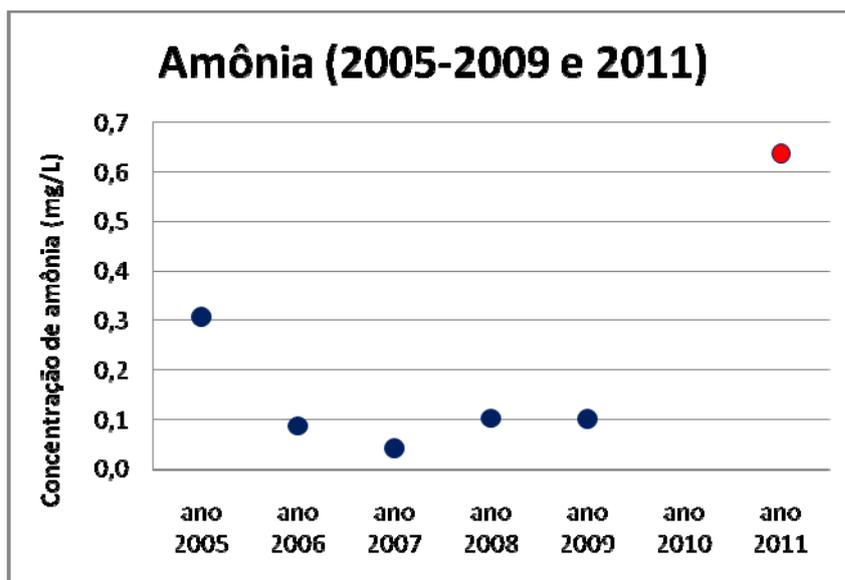


Figura 71 - Variação da concentração de amônia nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.

A concentração média de ortofosfato durante os anos de 2005 a 2009 é mostrada na Tabela 55.

Tabela 55 - Série histórica para o ortofosfato (mg/L) de 2005 a 2009 e 2011, no açude Gavião.

Ortofosfato	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Média (mg/L)	0,004	0,039	0,061	0,004	0,018	-	0,073

As médias anuais seguem crescente de 2005 (0,004 mg/L) a 2007 (0,061 mg/L), já em 2008 (0,004 mg/L) houve uma diminuição da concentração de fósforo solúvel no açude Gavião e no ano seguinte, a concentração média já volta a aumentar, chegando em 2011 à uma concentração média de 0,073 mg/L, um pouco acima da maior média observada nos demais dados (Figura 72).

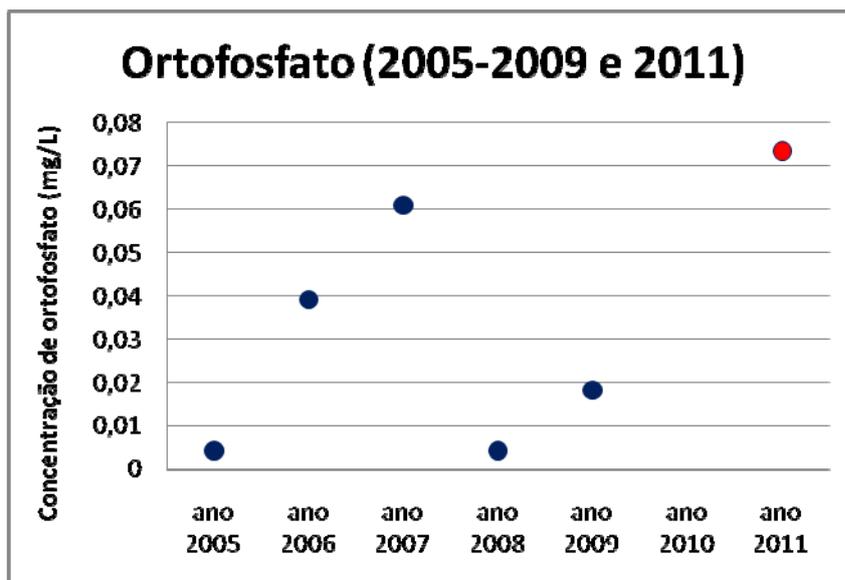


Figura 72 - Variação da concentração de ortofosfato nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.

Para o fósforo total foi disponibilizado apenas os dados históricos de 2008 e 2009, sendo a concentração encontrada nestes anos, bem inferior a média atual de 0,369 mg/L de 2011.

Tabela 56 – Série histórica para o fósforo total (mg/L) de 2008, 2009 e 2011, no açude Gavião.

Fósforo Total	2008	2009	2010	2011
Média(mg/L)	0,084	0,077	-	0,369

Com a Figura 73, pode-se visualizar melhor a evolução deste parâmetro ao longo do tempo. A concentração média atual chega a quase cinco vezes a encontrada nos anos anteriores, indicando um grande incremento de fósforo total a cada ano, contribuindo ainda mais para a deterioração da qualidade da água do açude Gavião.

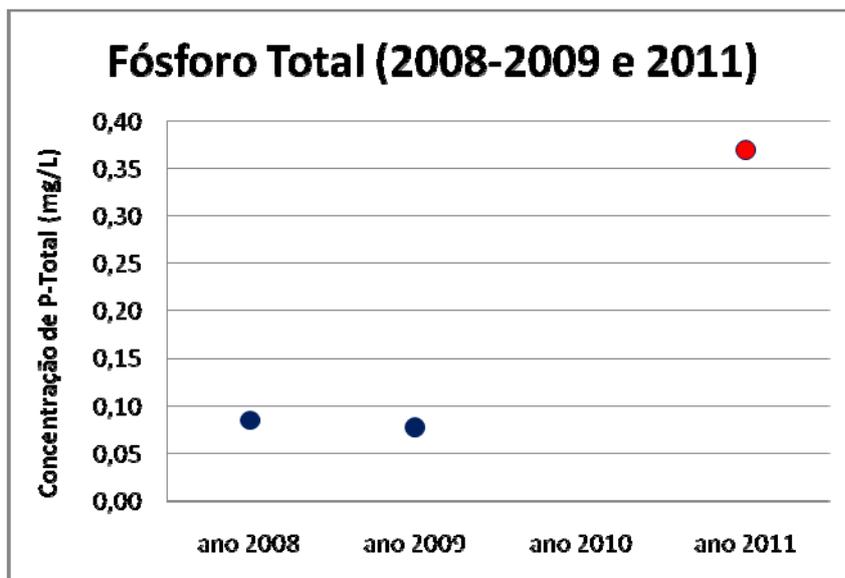


Figura 73 - Variação da concentração de fósforo total nos anos de 2005 a 2009 e 2011 no açude Gavião, Pacatuba/CE.

De acordo com a classificação de Salas & Martino (2001), a concentração de fósforo total presente na água pode caracterizar os corpos hídricos em diferentes categorias tróficas (Tabela 57).

Tabela 57 - Limites para classes de estado trófico baseados em SALAS e MARTINO (2001).

Categorias Tróficas	PT ($\mu\text{g/L}$)
Oligotrófico	≤ 28
Mesotrófico	28 - 72
Eutrófico	≥ 72

PT = média anual da concentração de fósforo total

Sendo a concentração média de fósforo obtida com o atual trabalho 0,369 mg/L, pode-se classificar o reservatório Gavião como eutrofizado, por sua média da concentração de fósforo total apresentar-se superior ao limite de 72 $\mu\text{g/L}$ estabelecido pelos autores supracitados.

É válido ressaltar, que o açude Gavião é responsável pelo abastecimento da Estação de Tratamento de Água (ETA-Gavião) que trata a água bruta e

disponibiliza água potável para toda a região metropolitana de Fortaleza. Sendo assim, modificações na qualidade da água deste reservatório pode comprometer a tecnologia utilizada para o tratamento de água.

5.4 Balanço de Massa para os Nutrientes

As concentrações de nutrientes foram determinadas em amostras de águas coletadas em janeiro, fevereiro, março, abril e maio de 2011 nos pontos de coleta ao longo do açudee em diferentes profundidades, conforme já mencionado. As concentrações dos nutrientes (em mg/L) e o vazão que entra e sai (m³/s) do açude determinam os fluxos de nutrientes ao longo do açude, bem como o balanço de massa que indica a retenção ou exportação dos nutrientes em um dado período.

De acordo com todas as considerações já descritas em Materiais e Métodos, são apresentadas a seguir as Tabelas e seus respectivos Gráficos para a evolução do balanço de Fósforo total e de Nitrogênio total.

5.4.1 Fósforo Total

A Tabela 58 mostra a carga de entrada, saída e acúmulo de fósforo total que ocorreram no açude Gavião para cada mês separadamente. Pode-se observar que todos os balanços foram positivos, sugerindo que este corpo d'água está retendo fósforo total (APÊNDICE B)

Tabela 58—Fluxos de entradas, saída e balanços para o fósforo total em cada mês de estudo.

	Entradas (ton/mês)	Saída (ton/mês)	Balanço (ton/mês)
JAN	9,259	7,436	1,823
FEV	8,817	8,204	0,613
MAR	14,905	6,209	8,696
ABR	15,877	7,436	8,441
MAI	14,355	5,868	8,487

Soma do Balanço = 28,06 ton

De acordo com esta primeira metodologia para estimativa de balanço para o fósforo total, observou-se que as cargas de entrada foram superiores as cargas de saída, apresentando desta forma, um balanço positivo para este nutriente. Para os fluxos de entrada, os valores ficaram entre 8,817 (fevereiro) e 15,877 toneladas de fósforo (abril), geralmente, aumentando ao longo do período estudado. Este comportamento foi esperado, já que com o aumento das vazões afluentes, principalmente a do Riacho Gavião, o fluxo de nutrientes aumentou, devido ao arraste de material alóctone. Para os fluxos de saída, os valores oscilaram entre 5,868 e 8,204 toneladas de fósforo.

Para o balanço no açude, as massas de fósforo total variaram entre 0,613 ton no mês de fevereiro e 8,696 ton no mês de março. Houve neste caso, em geral, uma diminuição da carga de saída ao longo do tempo indicando que, em associação com o incremento da carga afluente, houve um aumento da retenção de fósforo, representado pelo aumento do balanço até níveis de 8,696ton/mês nos períodos com maior precipitação (março, abril e maio). O balanço nesta primeira abordagem resultou em uma retenção de 28,06 toneladas de fósforo depois dos cinco meses de estudo.

Vários fatores físicos, químicos e físico-químicos interferem na imobilização dos íons fosfato no ambiente aquático, como a concentração dos íons de ferro, alumínio, sulfeto, compostos orgânicos e carbonatos, pH e condições de oxi-redução. Uma explicação para esta elevada retenção de fósforo no açude seria a precipitação do fósforo através de vários processos. Em lagos onde predominam condições de oxidação, grande parte dos íons de ferro presentes, encontra-se na forma oxidada (Fe^{3+}). Desta maneira, a maior parte deste íon pode encontra-se precipitado ou complexado na forma de hidróxido de ferro hidratado $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} \rightarrow [\text{Fe}(\text{OH})\text{H}_2\text{O}_5]^{2+} + \text{H}^+$, podendo adsorver espécies fosfatadas (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) em sua superfície, precipitando-as principalmente no sedimento. As argilas, principais constituintes dos minerais secundários, também apresentam grande capacidade de adsorção de fosfato, podendo haver ligação entre a carga negativa do fosfato com a positiva das bordas das argilas ou substituição do fosfato por silicatos da argila, sendo esta adsorção maior em pH ligeiramente ácido (ESTEVES, 1998).

A Tabela 59 apresenta outra metodologia para o balanço de macronutrientes. Mostra as diferenças entre o valor do fósforo total medido no mês atual e o valor calculado no mês imediatamente anterior. A primeira coluna apresenta

os conteúdos medidos através das concentrações obtidas nas análises laboratoriais e os volumes de água em cada estrato (como mostrados em 4.4) e a segunda coluna representa o conteúdo calculado através da equação (5) mostrada anteriormente:

$$B = C_R + C_A - R$$

Tabela 59 - Conteúdo medido e calculado de fósforo total para cada mês de estudo no açude Gavião.

	Conteúdo Medido (ton/mês)	Conteúdo Calculado (ton/mês)	Fenômeno Adicional (ton/mês)
JAN	10,063	11,886	
FEV	11,750	12,363	-0,136
MAR	9,289	17,985	-3,074
ABR	9,293	17,734	-8,692
MAI	7,028	15,515	-10,706

Soma do Balanço = 22,608 ton

Este fenômeno adicional mostrado na Tabela 59 é a diferença entre o conteúdo medido em um determinado mês e o conteúdo calculado no mês anterior. Por exemplo, se para o mês de janeiro, o conteúdo calculado foi 11,886 toneladas, o conteúdo medido no mês imediatamente posterior, fevereiro, deveria ter aproximadamente o mesmo valor, para que o balanço fosse fechado de forma exata. Desta maneira, confirma-se o fenômeno de retenção de fósforo total de um mês para o outro, através de algumas das formas de precipitação já citadas.

De janeiro para fevereiro houve imobilização de 0,136 toneladas de fosfato, de fevereiro para março, 3,074 toneladas, de março para abril, 8,692 toneladas e de abril para maio, 10,706 toneladas (máximo valor encontrado) de fósforo total acumulado.

Hijo (2009) verificou que o balanço entre os fluxos de entrada e saída no açude Castanhão indicou uma retenção de 135 toneladas de fosfato (PO_4^{3-}) durante

o período chuvoso amostrado. No caso deste estudo, observou-se um acúmulo de 28,06 toneladas no primeiro método e de 22,608 toneladas no segundo método utilizado.

5.4.2 Nitrogênio Total

A Tabela 60 mostra a carga de entrada, saída e acúmulo de fósforo total que ocorreram no açude Gavião para cada mês separadamente (APÊNDICE C).

Tabela 60 – Fluxos de entradas, saída e balanços para o Nitrogênio Total em cada mês de estudo.

	Entradas (ton/mês)	Saída (ton/mês)	Balanço (ton/mês)
JAN	21,086	16,156	4,930
FEV	21,082	25,021	-3,939
MAR	88,105	45,013	43,093
ABR	95,949	46,402	49,548
MAI	63,243	35,466	27,777

Soma do Balanço = 121,409 ton

De acordo com a Tabela 60, a relação entre as concentrações e as vazões de entrada indicou fluxos de nitrogênio total (soma de todas as frações quantificadas: nitrato, nitrito, amônia e nitrogênio orgânico), variando entre 21,082 (fevereiro) e 95,949 ton/mês (abril), com média de 57,893 ton/mês. A carga de saída do açude apresentou variações entre 16,156 (janeiro) e 46,402 ton/mês (também em abril). Verificou-se para o balanço de fevereiro, único mês no qual o balanço ficou negativo (fluxo de saída superior ao fluxo de aporte), para o nitrogênio houve exportação de 3,939 toneladas de nitrogênio, podendo o açude ter exportado nitrogênio tanto na massa efluente quanto na forma de gás. No Rio Grande do Sul, Basso e Turcato (2008) verificou que uma carga de quase 900 kg de nitrogênio total foi exportada ao rio Ibicuí durante o período chuvoso.

Nos demais meses, o balanço apresentou-se positivo, indicando possível retenção do macronutriente no açude (sedimentação/desnitrificação), resultando numa soma de 121,409 toneladas de nitrogênio. Em geral, os índices de retenção

ficaram maiores quando a precipitação na bacia se elevou, pois as cargas nas entradas tornaram-se ainda maiores com o aporte de nutriente às águas do açude Gavião.

O balanço para o nitrogênio é mais susceptível a erros, pois perdas positivas podem ocorrer devido à sedimentação, bem como pelo balanço da nitrificação-desnitrificação. Valores negativos podem ser resultantes de carreamento interno, ressuspensão ou do balanço nitrificação-desnitrificação.

A Tabela 61 mostra os resultados para a outra metodologia utilizada para estimar o balanço de massa de nitrogênio. É válido ressaltar que, o valor encontrado para o conteúdo calculado em um determinado mês deveria ser, aproximadamente, o conteúdo medido no açude no mês posterior.

Tabela 61 - Conteúdo medido e calculado de Nitrogênio Total para cada mês de estudo no açude Gavião.

	Conteúdo Medido (ton/mês)	Conteúdo Calculado (ton/mês)	Fenômeno Adicional (ton/mês)
JAN	21,060	25,990	
FEV	30,172	26,233	4,182
MAR	46,314	89,407	20,081
ABR	54,886	104,434	-34,521
MAI	40,707	68,484	-63,727

Soma do Balanço = -73,985ton

Nos meses de fevereiro e março, observa-se que houve aumento do conteúdo de nitrogênio de uma campanha para outra, havendo um fenômeno adicional de 4,182 e 20,081 toneladas, respectivamente. A ocorrência deste fenômeno de aumento da massa nitrogenada pode ser explicada pela possível ocorrência de fixação do nitrogênio pelas cianobactérias durante as duas amostragens. Neste processo, o nitrogênio é captado direto da atmosfera e em seguida transformado em outros compostos nitrogenados, tais como amônia solúvel e nitrato, contribuindo assim, para o aumento da concentração do nitrogênio na água.

A fixação biológica do nitrogênio pode ser realizada por determinados procariontes, denominados organismos fixadores de nitrogênio, que possuem a

enzima nitrogenase. Os organismos fixadores podem ser de vida livre ou viver em associações. No grupo de fixadores de vida livre, encontram-se bactérias autotróficas e heterotróficas (Tabela 62), as quais se distinguem quanto à eficiência do processo de fixação. Destacam-se as cianobactérias ou cianofíceas (*Gloeotheca*, *Oscillatoria*, *Plectonema*, *Anabaena*, *Nostoc*) que realizam a fotossíntese de uma maneira muito semelhante aos vegetais superiores, havendo a liberação de O₂ (MORGANTE, 199-).

Tabela 62 - Exemplos de organismos de vida livre fixadores de nitrogênio.

Bactérias Autotróficas
<i>Thiobacillusferrooxidans</i> <i>Rhodospirillumrubrum</i> <i>Gloeotheca</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Plectonema</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Nostoc</i>
Bactérias Heterotróficas
<i>Clostridium pasteurianum</i> <i>Klebsiellapneumoniae</i> <i>Azotobactervinelandii</i>

A autora verificou que as quantidades de nitrogênio fixado por bactérias não fotossintéticas de vida livre podem atingir um máximo aproximado de 15 kg por hectare por ano. Sendo a fixação de nitrogênio mais representativa em ambientes com solos tropicais, onde fatores como disponibilidade de substrato, temperatura e umidade são mais favoráveis para a manutenção e atividade de uma grande população bacteriana. Desta forma, uma parte do acréscimo de nitrogênio de uma campanha para outra, pode ser devido à fixação do nitrogênio ou ainda, por erros de medição acumulados.

Nos meses de abril e maio, percebeu-se que o conteúdo medido foi menor que o conteúdo calculado no mês anterior, provavelmente devido à sedimentação ou desnitrificação do nitrogênio presente, pois a massa de nitrogênio diminuiu de uma campanha para a outra. Observou-se um acúmulo total de 73,985 toneladas ao longo dos cinco meses estudados para este segundo método utilizado.

Podem-se citar como algumas das limitações da modelagem utilizada: imprecisão do balanço devido ao grande número de variáveis estimadas como a vazão do riacho, a concentração de entrada.

5.5 Nutriente Limitante e Relação Nitrogênio/Fósforo (N/P)

Outra discussão relevante nos processos de eutrofização diz respeito à relação nitrogênio total/fósforo total. Neste caso, pretende-se calcular esta relação de modo a se estabelecer o fator limitante no processo de eutrofização.

O nitrogênio e o fósforo podem se tornar nutrientes limitantes dos corpos d'água, já que são consumidos pelo fitoplâncton em uma relação molar média N:P de 10:1 (OVERBECK, 2000; THOMANN & MUELLER, 1987 e KRATZER & BREZONIK, 1991). É importante notar que mesmo em cenários no qual o nitrogênio é um fator limitante, há grandes possibilidades de a produção primária permanecer elevada, uma vez que este nutriente é muito abundante na atmosfera podendo ser fixado pelo fitoplâncton.

A razão N/P foi calculada tomando as frações totais de nitrogênio e fósforo para cada mês de estudo e para cada porção do reservatório: interior do açude, entradas e saída. As concentrações médias no interior do açude foram calculadas usando a mesma média ponderada utilizada para o balanço de massa.

As Tabelas 63, 64 e 65 mostram as respectivas relações N/P em cada mês individualmente, para os pontos localizados no interior do açude (média das concentrações em GAV05, GAV14 e GAV16) para as zonas de entradas e para a saída.

Tabela 63 - Relação N/P para os pontos localizados no interior do açude, em cada mês estudado.

Acúmulo (ton)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
Nitrogênio	21,060	30,172	46,314	54,886	40,707
Fósforo	10,063	11,750	9,289	9,293	7,028
Razão N/P	2,093	2,568	4,986	5,906	5,792

Tabela 64 - Relação N/P para as aflúncias do açude, em cada mês estudado.

Acúmulo (ton)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
Nitrogênio	21,086	21,082	88,105	95,949	63,243
Fósforo	9,259	8,817	14,905	15,877	14,355

Razão N/P	2,277	2,391	5,911	6,043	4,406
------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabela 65 - Relação N/P para o ponto de saída do açude, em cada mês estudado.

Acúmulo (ton)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
Nitrogênio	16,156	25,021	45,013	46,402	35,466
Fósforo	7,436	8,204	6,209	7,436	5,868
Razão N/P	2,173	3,050	7,250	6,240	6,044

Como observado nas Tabelas 63-65 e na Figura 74, para todos os meses de estudo, a limitação sempre foi da fração nitrogenada ($N/P < 10$). Para os pontos localizados no interior do açude e para as entradas, a razão N/P foi obtida no mês de abril, respectivamente 5,096 e 6,043 e para a saída do açude, o maior valor encontrado para a razão N/P foi de 7,250 no mês de março.

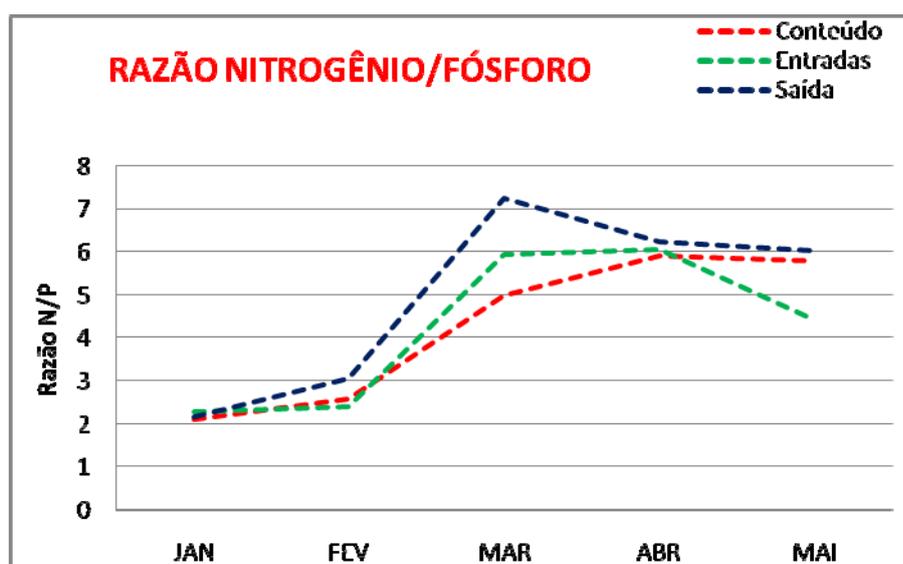


Figura 74 - Relação N/P para todas as porções estudadas no açude Gavião, Pacatuba/CE.

Ambientes com razões N/P baixas são indicativos de eutrofização, podendo favorecer a florações de cianobactérias, já que o crescimento do fitoplâncton passa a ser limitado pela disponibilidade relativa do nitrogênio, que favorece o aparecimento de espécies capazes de fixar o nitrogênio atmosférico (IETC-UNEP, 2001). Para o açude Gavião, Braga (2006) obteve razões para as concentrações médias de nitrogênio e fósforo de 4,48 (período chuvoso) e 8,55 (período seco) e Silva *et al.* (2008) encontrou razões para $N/P \ll 8$, concluindo

os dois autores que o crescimento algal estava sendo controlado pelo nitrogênio, indo o encontro dos resultados obtidos atualmente.

Vários estudos verificaram a dominância de cianobactérias sob baixas razões N:P, próximos a 15:1 (SCHINDLER 1977; HAVENS et al. 2003). De acordo com estes estudos esta dominância ocorre devido à capacidade que muitas espécies possuem de fixar nitrogênio atmosférico. Deve-se ressaltar que as cianobactérias possuem outros mecanismos adaptativos utilizados para sua sobrevivência, conferindo assim maior capacidade de dominância e persistência em ambientes aquáticos.

Pode ainda haver diferenças dentro de uma mesma classe, como é o caso das cianobactérias. Cianobactérias não-fixadoras de N parecem dominar ambientes com alta razão N:P, enquanto que as espécies fixadoras dominam ambientes que sejam limitados por este nutriente, ou seja, ambientes com baixa razão N:P = 10:1. (SMITH, 1983).

6 Conclusão e Recomendações

- Os dados obtidos com este estudo permitiram verificar a qualidade das águas do açude Gavião, por meio de determinações das concentrações médias mensais dos macronutrientes, NITROGÊNIO (nitrito, nitrato, amônia e nitrogênio orgânico) e FÓSFORO (fósforo total e ortofosfato), nos meses de dezembro de 2010 a maio de 2011. Os resultados configuraram um processo de degradação ambiental potencializado durante o período chuvoso, quando o aporte de nutrientes é carregado pelas chuvas, aumentando consideravelmente, sobretudo, as concentrações de amônia e fósforo no reservatório. Os dois afluentes que alimentam o açude, o Canal Riachão-Gavião e o Riacho Gavião, são fontes contínuas de carreamento de poluentes ao açude. Para alguns parâmetros como nitrato e fósforo solúvel, o Canal apresentou as maiores concentrações, já para os demais nutrientes, as contribuições ocorreram de forma equitativa nos dois afluentes.
- Com as perfilagens realizadas ao longo do eixo vertical no açude, pôde-se concluir que, a temperatura influenciou vários parâmetros da qualidade da água, principalmente oxigênio dissolvido e pH. Quando o ambiente permaneceu estratificado termicamente, as concentrações de OD decresceram ao longo da coluna d'água, caracterizando um perfil do tipo clinogrado com baixíssimos valores de OD ($< 2,0$ mg/L) a partir dos 3,0 m de profundidade e zonas de anoxia abaixo dos 6,0m de profundidade. Durante a estratificação, os valores de pH no hipolímnio apresentaram-se menores que na superfície, pois o acúmulo de matéria orgânica no sedimento dá origem a processos de decomposição, baixando o pH com a liberação de CO_2 . Quando o ambiente permaneceu desestratificado termicamente, as concentrações de OD apresentaram-se homogêneas ao longo do perfil vertical. Neste momento, o pH também permaneceu constante na coluna.
- Comparando-se os resultados obtidos com a série histórica disponibilizada pela COGERH para os anos de 2005 a 2009, observou-se uma situação de crescente aumento das concentrações dos parâmetros estudados, principalmente nitrato, amônia e fósforo total, nas quais as médias apresentaram-se nitidamente superiores às médias históricas, indicando um alerta, para que sejam realizadas medidas preventivas/corretivas, a fim de

que não sejam necessárias medidas repadoras mais onerosas, pois como já se sabe, o açude Gavião é responsável por alimentar a ETA-Gavião e esta por sua vez, tem por responsabilidade abastecer toda a região metropolitana de Fortaleza com água potável. Desta forma, significativas modificações na qualidade da água, principalmente devido à presença excessiva de algas, podem acarretar dificuldades no tratamento da água, comprometendo a tecnologia utilizada na estação e também possíveis problemas de saúde pública, devido à toxicidade de algumas algas.

- A determinação da relação Nitrogênio/Fósforo (N/P) permitiu investigar o nutriente limitante do açude. Com os valores médios das concentrações, para todos os meses de estudo, a limitação sempre foi da fração nitrogenada, com razões menores que 10:1 ($N/P < 10$), sendo este mais um indicador da eutrofização do açude Gavião, podendo favorecer florações de cianobactérias, já que o crescimento do fitoplâncton passa a ser limitado pela disponibilidade relativa do nitrogênio, que favorece o aparecimento de espécies capazes de fixar o nitrogênio atmosférico.
- As cargas dos nutrientes foram quantificadas, relacionando-se a concentração das espécies químicas com as vazões do açude(entrada e saída), obtendo-se para a maioria os casos analisados, retenção de nitrogênio (121,42 toneladas) e de fósforo (28,06 toneladas) durante o período de amostragem. A única campanha que apresentou exportação de nutriente foi em fevereiro, no qual, o açude exportou 3,939 toneladas de nitrogênio na forma mássica ou gasosa. A partir da quantificação de cargas poluidoras afluentes, pode-se avaliar o impacto da poluição local e conseqüentemente, elaborar medidas de controle eficazes, a fim de conservar a qualidade da água do manancial.

Para um processo de continuidade deste estudo, recomenda-se: acompanhamento mais completo, incorporando um maior número de campanhas, variando periodicidade, profundidades e pontos, de modo que novos perfis físicos e/ou químicos possam ser traçados de forma mais representativa; determinação da vazão do Riacho Gavião; validação da metodologia dos pesos que cada ponto de coleta apresenta; utilização de programas computacionais para qualidade de água, a fim de se reduzir os erros ocasionados por cálculos estimados.

7Bibliografia

ALMEIDA, M. A. B., SCHWARZBOLD, A., **Avaliação Sazonal da Qualidade das Águas do Arroio da Cria Montenegro, RS, com Aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA).**RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos,2003.p.81-97.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for theexamination of water and wastewater.** 21 ed. Washington: APHA, 2005.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil.**Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, 2005.

BARBOSA, J. E. L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictimeral/sazonal) e de espaço (vertical/horizontal) no açude Taperoá II. Trópico semiárido paraibano.**Tese de Doutorado em Recursos Naturais – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

BARICA, J. **SeasonalvariabilityofN:P ratios in eutrophiclakes.**Hydrobiol,1990. p. 97-103.

BASSO, L.A.; TURCATO, K. **Contaminação por nitrogênio das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Ibicuí, RS.** 2008.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.**Rede de monitoramento da qualidade de água operada pela COGERH.** Fortaleza, 2000.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.**Rede de monitoramento de qualidade de água para o gerenciamento dos recursos hídricos.**Fortaleza, 2004.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Programa de gerenciamento de águas territoriais.** Fortaleza, 2006.

CHORUS, I.; MUR, L. R. Preventive measures. In: Chorus, I. & J. Bartram. **Toxic Cyanobacteria in Water: a guide line to public health significance, monitoring and management.** World Health Organization, London and New York, 1999. p. 235-274.

COSTA, I. A. S; CUNHA, S.R.S; PANOSSO, R.; ARAÚJO, M.F.F.; MELO, J.L.S.; SANT'ANNA, E.M.E. **Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semiárido do Rio Grande do Norte.** Oecologia Brasiliensis, v. 13, 2009. p.382-401.

CUNHA, L. V. **Perspectivas da gestão da água para o século XXI: Desafios e oportunidades.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.7, n.4, 2002. p.65-73.

DATSENKO, I. S. **Peculiaridades do Processo de Eutrofização dos Açudes da Região Semiárida.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2000. p. 2220-2226.

DI BERNARDO, L; SABOGAL, L.D. **Seleção de tecnologias de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe Editora, 2008.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência /FINEP, 1998.

FREIRE, R. H. F. **Aspectos limnológicos de três reservatórios que abastecem a Região Metropolitana de Fortaleza – açudes Pacajus, Pacoti e Gavião.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

FREIRE, R. H. F. **Contribuição ao conhecimento limnológico de reservatórios do semiárido brasileiro que abastecem a Região Metropolitana de Fortaleza:**

açudes Pacajus e Gavião (Ceará, Brasil) – Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

FUNCEME – SRH/FUNCEME/PROURB-RH. **Projeto estudo da qualidade das águas em reservatórios superficiais da Bacia Metropolitana.** Relatório Final. Fortaleza, 2002.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Volume armazenado – Reservatórios. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/>>. Acesso em: 23 ago. 2011a.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Boletim diagnóstico de chuva para os meses de janeiro a abril de 2011.** Fortaleza, 2011b.

GRAF, A. C. B. **Água bem mais precioso do milênio o papel dos Estados.** Revista Centro de Estudos Jurídicos. Brasília, nº 12, 2000. p.30-39.

GORAYEB, A.; GOMES, R. B.; ARAÚJO, L. F. P.; SOUZA, M. J. N.; ROSA, M. F.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. **Aspectos ambientais e qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Curu – Ceará – Brasil.** HOLOS Environment, v.7, n.2, 2007.

HAVENS, K. E.; THOMAS JAMES, R.; EAST, T.L.; SMITH, V. H. **N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution.** Environ. Pollution. n.122, 2003.p. 379-390.

HECKY, R.E. **A biogeochemical comparison of Lakes Superior and Malawi and the limnological consequences of an endless summer.** Aqua.Ecosys. Health Mangent..n.3, 2000.p. 23- 33.

HEM, L. J.; RUSTEN, B.; ODEGARRD, H. **Nitrification in a moving bed biofilm reactor.** Water Reseach, n. 28, 1994.

HENRY, R.; TUNDISI, J. G. **Efeitos do enriquecimento artificial por nitrato de fosfato no crescimento da comunidade fitoplanctônica da represa do Lobo (“Broa”, Brotas – Itirapina, SP).** São Paulo: Ciência e Cultura, v.34, n.4, 1983.p.518-524.

HIJO, C. A. G. **Quantificação do efeito do açude Castanhão sobre o fluxo fluvial de material particulado em suspensão e nutrientes para o estuário do rio Jaguaribe, Ceará – Brasil.** Dissertação de Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais – Instituto Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

HUSZAR, V. L. M.; BICUDO, D. C.; GIANI, A.; FERRAGUT, C.; MARTINELLI, L. A.; HENRY, R. **Subsídios para a compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e do perifíton em ecossistemas continentais lênticos do Brasil.** In: Roland, F.; D. César & M. Marinho. Lições de Limnologia. São Paulo: Rima Editora, 2005. p.243-260.

IETC – UNEP. **Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uUma abordagem integrada ao problema da eutrofização.**2001. 385p.

KRATZER, C. R.; BREZONIK, P. L.A **Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes.** In: TUNDISI J. G. 2003. Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez. São Carlos, 1991.

KURODA, E. K. **Remoção de células e subprodutos de *Microcystis spp.* por dupla filtração, oxidação e adsorção.** Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2006.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** Tese de Doutorado Ecossistemas Aquáticos e Terrestres - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LUNA, B. J. C. **Características espaço-temporais do sistema do açude Acauã-PB e seu atual índice de estado trófico.** Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2008.

MARGALEFF, R. **Limnologia.** Barcelona: Omega, 1983.

MASON, C.F. **Biology of freshwater pollution.** Longman Ed., 3rded, 1998.

MOISEENKO, T. I. **Ecotoxicological approach to water quality assessment.** Water Resources, Vol. 32, N^o. 2, 2005.p.163-174.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana.** Revista Saúde Pública, v.36, n^o3, 2002. p.370-374.

MORGANTE, P. G. **Fixação biológica e assimilação de nitrogênio.** Universidade de São Paulo: Química 10,199-.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

MUR L. R.; SKULBERG, O. M.; UTKILEN, H. **Cyanobacterial in the environment.** In: Chorus, I. & J. Bartram. Toxic Cyanobacteria in Water: a guide line to public health significance, monitoring and management. London and New York: World Health Organization, 1999. p. 15-40.

ODUM, P. E. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OLIVEIRA, M. A. **Eutrofização antrópica: Aspectos ecológicos e uma nova abordagem para modelagem da cadeia trófica pelágica em reservatórios**

tropicais de pequena profundidade. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

OLIVEIRA, E.C. **Aspectos limnológicos e sanitários de uma lagoa costeira no litoral leste do Ceará – Lagoa do Batoque.** Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

O'NEILL, P. **Environmental chemistry.** 2 ed. London:Chapman & Hall, 1993. 267p.

OVERBECK, J. **Conceitos de ecossistemas.** In: JØRGENSEN, S. E.; WOLLENWEIDER, R. A. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. São Carlos: ILEC, IEE, UNEP, 2000. v1, p. 9-25.

PACHECO, C. H. A. **Dinâmica espacial e temporal de variáveis limnológicas e sua influência sobre as cianobactérias em um reservatório eutrofizado: açude Acarape do Meio-CE.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

PAERL, H.W. **Nutrient and Other Environmental Controls of Harmful Cyanobacterial Florações along the freshwater-marine continuum.**In: Hudnell, H.K. Cyanobacterial harmful algal florations: state of science and research needs. advances in experimental Medicine andBiology. 2008.p. 217-237.

QUEIROZ, A. M. de; **Caracterização limnológica do lagamar do Cauípe – Planície costeira do município de Caucaia-CE.** Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. de P.; MAGALHÃES Jr, A. P. **O parâmetro de turbidez das águas como indicador de impactos humanos na dinâmica fluvial da bacia do rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG.** Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

REDFIELD, A. C. **The biological control of chemical factors in the environment.** *American Scientist*. 1958, v. 46, p. 205-221.

REYNOLDS, C. S. **Phosphorus and the eutrophication of lakes – A personal view.** 1978.

RIBEIRO, I. V. A. de S. **Estudo do estado trófico do reservatório Acarape do Meio mediante a determinação de indicadores de qualidade de água.** Tese de Doutorado em Recursos Hídricos – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, 2007.

ROTHLISBERG, P. C.; POLLARD, P. C.; NICHOLS, P. C.; MORIARTY, P. D.; FORBES, D. J. W.; JACKSON, C. J.; VAUDREY, D. **Phytoplankton community structure and productivity in relation to the hydrological regime of the Gulf of Carpentaria,** Australia: *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 1994.p. 265–282.

SALES, M. do V., AVELINO, F. F., ARAÚJO, C. M. e PÁDUA, V. L. de, **Conversão, em escala real, do tratamento convencional para a filtração direta descendente.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

SALLAS, H.J.; MARTINO, P. **A simplified phosphorus trophic state model for warmwater tropical lakes.** *Water Research*, 1991, vol. 25, N°3.

SALAS, H. J; MARTINO, P. **Metodologias simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales.** Programa Regional CEPIS/HPE/IOPS, Versão revisada, 2001, 52p.

SAWYER, C.N.; McCARTY, P.L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering.** 4º ed. New York. McGraw-Hill Book Company. 1994. 658p.

SCHINDLER, D. W. **Evolution of phosphorus limitation in lakes.** *Science*, 1977.p. 260-262.

SILVA, R. O.; SILVA, R. S.; BECKER, H. **Avaliação preliminar de nitrogênio e fósforo e grau de trofia do açude Gavião-CE.** 2008.

SMITH, V. H. **The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis.** Limnol. Oceanogr. 1983. p.1101-1112.

SOUZA, D.A. **Bacia do Ribeirão e represa do Lobo: Bases ecológicas para o planejamento regional, manejo e conservação.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas.** In: JØRGENSEN, S. E.; WOLLENWEIDER, R. A. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. São Carlos: ILEC, IEE, UNEP, 2000, v.9.

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control.** New York: Harper & Row, Publishers, 1987.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da água no Brasil.** Brasília: UNESCO, 2001. 156 p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Eutrophication of lakes and reservoirs: A comparative analysis, case studies, perspectives.** In: Algae and environment: a general approach. Sociedade Brasileira de Ficologia, 1992. 131p.

VILAR, M. S. de A. **Condições ambientais e da qualidade da água no processo de eutrofização de açudes em cascata no semiárido paraibano.** Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2009.

VOLLENWEIDER, R. A. **Avaliação do balanço de massa**. In: JØRGENSEN, S. E.; WOLLENWEIDER, R. A. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. São Carlos: ILEC, IEE, UNEP, 2000. v1, 43-57p.

VON SPERLING, M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3ª ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

WETZEL, R. G. 1975. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.919p.

WETZEL, R.G. **Limnology: lake and river ecosystems**. 3ª ed. San Diego: Academic, 2001.

NID_DATA_PK	COTA	Volume (m³)	ΔV	S	Evap (m³/dia)	Retrada (m³/dia)	Aflu. Total (m³/dia)	Aflu. Total (m³/s)	Aflu. Total Corrig. (m³/s)
01/01/2011	35,58	30060812,00			22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
02/01/2011	35,58	30060812,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
03/01/2011	35,57	29993198,00	-67614,00	0,00	22298,41	659891,32	614575,73	7,11	7,11
04/01/2011	35,56	29925610,00	-67588,00	0,00	22298,41	659891,32	614601,73	7,11	7,11
05/01/2011	35,58	30060812,00	135202,00	0,00	22298,41	659891,32	817391,73	9,46	9,46
06/01/2011	35,58	30060812,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
07/01/2011	35,56	29925610,00	-135202,00	0,00	22298,41	659891,32	546987,73	6,33	6,33
08/01/2011	35,56	29925610,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
09/01/2011	35,55	29857994,00	-67616,00	0,00	22298,41	659891,32	614573,73	7,11	7,11
10/01/2011	35,58	30060812,00	202818,00	0,00	22298,41	659891,32	885007,73	10,24	10,24
11/01/2011	35,62	30331192,00	270380,00	0,00	22298,41	659891,32	952569,73	11,03	11,03
12/01/2011	35,62	30331192,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
13/01/2011	35,62	30331192,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
14/01/2011	35,62	30331192,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
15/01/2011	35,60	30195990,00	-135202,00	0,00	22298,41	659891,32	546987,73	6,33	6,33
16/01/2011	35,60	30195990,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
17/01/2011	35,60	30195990,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90
18/01/2011	35,59	30128402,00	-67588,00	0,00	22298,41	659891,32	614601,73	7,11	7,11
19/01/2011	35,61	30263604,00	135202,00	0,00	22298,41	659891,32	817391,73	9,46	9,46
20/01/2011	35,71	30939594,00	675990,00	0,00	22298,41	659891,32	1358179,73	15,72	15,72
21/01/2011	35,64	30466396,00	-473198,00	0,00	22298,41	659891,32	208991,73	2,42	2,42
22/01/2011	35,59	30128402,00	-337994,00	0,00	22298,41	659891,32	344195,73	3,98	3,98
23/01/2011	35,56	29925610,00	-202792,00	0,00	22298,41	659891,32	479397,73	5,55	5,55
24/01/2011	35,54	29790406,00	-135204,00	0,00	22298,41	659891,32	546985,73	6,33	6,33
25/01/2011	35,67	30669188,00	878782,00	0,00	22298,41	659891,32	1560971,73	18,07	18,07
26/01/2011	35,64	30466396,00	-202792,00	0,00	22298,41	659891,32	479397,73	5,55	5,55
27/01/2011	35,58	30060812,00	-405584,00	0,00	22298,41	659891,32	276605,73	3,20	3,20
28/01/2011	35,57	29993198,00	-67614,00	0,00	22298,41	659891,32	614575,73	7,11	7,11
29/01/2011	35,65	30534010,00	540812,00	0,00	22298,41	659891,32	1223001,73	14,16	14,16
30/01/2011	35,70	30872006,00	337996,00	0,00	22298,41	659891,32	1020185,73	11,81	11,81
31/01/2011	35,70	30872006,00	0,00	0,00	22298,41	659891,32	682189,73	7,90	7,90

APÊNDICE A (cont.) – Balanço hídrico (FEVEREIRO)

NID DATA_PK	COTA	Volume (m³)	ΔV	S	Evap (m³/dia)	Retirada (m³/dia)	Aflu. Total (m³/dia)	Aflu. Total (m³/s)	Aflu. Total Corrig. (m³/s)
01/02/2011	35,66	30601598,00	30601598,00	0,00	19471,59	608108,22	31229177,81	361,45	361,45
02/02/2011	35,56	29925610,00	-675988,00	0,00	19471,59	608108,22	-48408,19	-0,56	0,00
03/02/2011	35,51	29587588,00	-338022,00	0,00	19471,59	608108,22	289557,81	3,35	3,35
04/02/2011	35,52	29655204,00	67616,00	0,00	19471,59	608108,22	695195,81	8,05	8,05
05/02/2011	35,59	30128402,00	473198,00	0,00	19471,59	608108,22	1100777,81	12,74	12,74
06/02/2011	35,63	30398808,00	270406,00	0,00	19471,59	608108,22	897985,81	10,39	10,39
07/02/2011	35,64	30466396,00	67588,00	0,00	19471,59	608108,22	695167,81	8,05	8,05
08/02/2011	35,64	30466396,00	0,00	0,00	19471,59	608108,22	627579,81	7,26	7,26
09/02/2011	35,65	30534010,00	67614,00	0,00	19471,59	608108,22	695193,81	8,05	8,05
10/02/2011	35,67	30669188,00	135178,00	0,00	19471,59	608108,22	762757,81	8,83	8,83
11/02/2011	35,59	30128402,00	-540786,00	0,00	19471,59	608108,22	86793,81	1,00	1,00
12/02/2011	35,49	29462810,00	-665592,00	0,00	19471,59	608108,22	-38012,19	-0,44	0,00
13/02/2011	35,51	29587588,00	124778,00	0,00	19471,59	608108,22	752357,81	8,71	8,71
14/02/2011	35,58	30060812,00	473224,00	0,00	19471,59	608108,22	1100803,81	12,74	12,74
15/02/2011	35,70	30872006,00	811194,00	0,00	19471,59	608108,22	1438773,81	16,65	16,65
16/02/2011	35,75	31210000,00	337994,00	0,00	19471,59	608108,22	965573,81	11,18	11,18
17/02/2011	35,66	30601598,00	-608402,00	0,00	19471,59	608108,22	19177,81	0,22	0,22
18/02/2011	35,59	30128402,00	-473196,00	0,00	19471,59	608108,22	154383,81	1,79	1,79
19/02/2011	35,50	29520000,00	-608402,00	0,00	19471,59	608108,22	19177,81	0,22	0,22
20/02/2011	35,42	29062390,00	-457610,00	0,00	19471,59	608108,22	169969,81	1,97	1,97
21/02/2011	35,41	29005200,00	-57190,00	0,00	19471,59	608108,22	570389,81	6,60	6,60
22/02/2011	35,45	29234004,00	228804,00	0,00	19471,59	608108,22	856383,81	9,91	9,91
23/02/2011	35,52	29655204,00	421200,00	0,00	19471,59	608108,22	104879,81	12,14	12,14
24/02/2011	35,59	30128402,00	473198,00	0,00	19471,59	608108,22	1100777,81	12,74	12,74
25/02/2011	35,66	30601598,00	473196,00	0,00	19471,59	608108,22	1100775,81	12,74	12,74
26/02/2011	35,85	31885990,00	1284392,00	0,00	19471,59	608108,22	1911971,81	22,13	22,13
27/02/2011	35,79	31480406,00	-405584,00	0,00	19471,59	608108,22	221995,81	2,57	2,57
28/02/2011	35,70	30872006,00	-608400,00	0,00	19471,59	608108,22	19179,81	0,22	0,22

APÊNDICE A (cont.) – Balanço hídrico (MARÇO)

NID_DATA_PK	COTA	Volume (m³)	ΔV	S	Evap (m³/dia)	Retirada (m³/dia)	Aflu. Total (m³/dia)	Aflu. Total (m³/s)	Aflu. Total Corrig. (m³/s)
01/03/2011	35,60	3019590,00	-676016,00	0,00	13634,64	716254,40	53873,04	0,62	0,62
02/03/2011	35,50	2952000,00	-675990,00	0,00	13634,64	716254,40	53899,04	0,62	0,62
03/03/2011	35,44	29176792,00	-343208,00	0,00	13634,64	716254,40	386681,04	4,48	4,48
04/03/2011	35,56	29925610,00	748818,00	0,00	13634,64	716254,40	1478707,04	17,11	17,11
05/03/2011	35,59	30128402,00	202792,00	0,00	13634,64	716254,40	932681,04	10,79	10,79
06/03/2011	35,58	30060812,00	-67590,00	0,00	13634,64	716254,40	662299,04	7,67	7,67
07/03/2011	35,58	30060812,00	0,00	0,00	13634,64	716254,40	729899,04	8,45	8,45
08/03/2011	35,59	30128402,00	67590,00	0,00	13634,64	716254,40	797479,04	9,23	9,23
09/03/2011	35,72	31007208,00	878806,00	0,00	13634,64	716254,40	1608695,04	18,62	18,62
10/03/2011	35,90	32224010,00	1216802,00	0,00	13634,64	716254,40	1946691,04	22,53	22,53
11/03/2011	35,94	32494390,00	270380,00	0,00	13634,64	716254,40	1000269,04	11,58	11,58
12/03/2011	36,07	32900000,00	405610,00	0,66	13634,64	716254,40	1135499,69	13,14	13,14
13/03/2011	36,12	32900000,00	0,00	1,47	13634,64	716254,40	729890,51	8,45	8,45
14/03/2011	36,04	32900000,00	0,00	0,28	13634,64	716254,40	729899,32	8,45	8,45
15/03/2011	35,97	32697208,00	-202792,00	0,00	13634,64	716254,40	527097,04	6,10	6,10
16/03/2011	35,90	32224010,00	-473198,00	0,00	13634,64	716254,40	256691,04	2,97	2,97
17/03/2011	35,80	31547994,00	-676016,00	0,00	13634,64	716254,40	53873,04	0,62	0,62
18/03/2011	35,72	31007208,00	-540786,00	0,00	13634,64	716254,40	189103,04	2,19	2,19
19/03/2011	35,62	30331192,00	-676016,00	0,00	13634,64	716254,40	53873,04	0,62	0,62
20/03/2011	35,52	29655204,00	-675988,00	0,00	13634,64	716254,40	53901,04	0,62	0,62
21/03/2011	35,46	29291194,00	-364010,00	0,00	13634,64	716254,40	365879,04	4,23	4,23
22/03/2011	35,42	29062390,00	-228804,00	0,00	13634,64	716254,40	501085,04	5,80	5,80
23/03/2011	35,58	30060812,00	998422,00	0,00	13634,64	716254,40	1728311,04	20,00	20,00
24/03/2011	35,75	31210000,00	1149188,00	0,00	13634,64	716254,40	1879077,04	21,75	21,75
25/03/2011	35,72	31007208,00	-202792,00	0,00	13634,64	716254,40	527097,04	6,10	6,10
26/03/2011	35,64	30466396,00	-540812,00	0,00	13634,64	716254,40	189077,04	2,19	2,19
27/03/2011	35,51	29587588,00	-878808,00	0,00	13634,64	716254,40	-148918,96	-1,72	0,00
28/03/2011	35,55	29857994,00	270406,00	0,00	13634,64	716254,40	1000295,04	11,58	11,58
29/03/2011	35,63	30398808,00	540814,00	0,00	13634,64	716254,40	1270703,04	14,71	14,71
30/03/2011	35,62	30331192,00	-676016,00	0,00	13634,64	716254,40	662273,04	7,67	7,67
31/03/2011	35,59	30128402,00	-202790,00	0,00	13634,64	716254,40	527099,04	6,10	6,10

APÊNDICE A (cont.) – Balanço hídrico (ABRIL)

MID_DATA_PK	COTA	Volume (m³)	ΔV	S	Evap (m³/dia)	Retirada (m³/dia)	Aflu. Total (m³/dia)	Aflu. Total (m³/s)	Aflu. Total Corrig. (m³/s)
01/04/2011	35,56	29925610,00	-202792,00	0,00	14207,34	670628,02	482043,35	5,58	5,58
02/04/2011	35,52	29655204,00	-270406,00	0,00	14207,34	670628,02	414429,35	4,80	4,80
03/04/2011	35,55	29857994,00	202790,00	0,00	14207,34	670628,02	887625,35	10,27	10,27
04/04/2011	35,54	29790406,00	-67588,00	0,00	14207,34	670628,02	617247,35	7,14	7,14
05/04/2011	35,57	29993198,00	202792,00	0,00	14207,34	670628,02	887627,35	10,27	10,27
06/04/2011	35,62	30331192,00	337994,00	0,00	14207,34	670628,02	1022829,35	11,84	11,84
07/04/2011	35,62	30331192,00	0,00	0,00	14207,34	670628,02	684835,35	7,93	7,93
08/04/2011	35,61	30263604,00	-67588,00	0,00	14207,34	670628,02	617247,35	7,14	7,14
09/04/2011	35,58	30060812,00	-202792,00	0,00	14207,34	670628,02	482043,35	5,58	5,58
10/04/2011	35,60	30195990,00	135178,00	0,00	14207,34	670628,02	820013,35	9,49	9,49
11/04/2011	35,68	30736802,00	540812,00	0,00	14207,34	670628,02	12256647,35	14,19	14,19
12/04/2011	35,64	30466396,00	-270406,00	0,00	14207,34	670628,02	414429,35	4,80	4,80
13/04/2011	35,88	32088808,00	1622412,00	0,00	14207,34	670628,02	2307247,35	26,70	26,70
14/04/2011	35,89	32156396,00	67588,00	0,00	14207,34	670628,02	752423,35	8,71	8,71
15/04/2011	35,84	31818402,00	-337994,00	0,00	14207,34	670628,02	346841,35	4,01	4,01
16/04/2011	35,78	31412792,00	-405610,00	0,00	14207,34	670628,02	279225,35	3,23	3,23
17/04/2011	35,72	31007208,00	-405684,00	0,00	14207,34	670628,02	279251,35	3,23	3,23
18/04/2011	35,66	30601598,00	-405610,00	0,00	14207,34	670628,02	279225,35	3,23	3,23
19/04/2011	35,80	31547994,00	946396,00	0,00	14207,34	670628,02	1631231,35	18,88	18,88
20/04/2011	35,78	31412792,00	-135202,00	0,00	14207,34	670628,02	549633,35	6,36	6,36
21/04/2011	35,72	31007208,00	-405684,00	0,00	14207,34	670628,02	279251,35	3,23	3,23
23/04/2011	35,94	32494390,00	1487182,00	0,00	14207,34	670628,02	2172017,35	25,14	25,14
24/04/2011	35,93	32426802,00	-67588,00	0,00	14207,34	670628,02	617247,35	7,14	7,14
25/04/2011	35,94	32494390,00	67588,00	0,00	14207,34	670628,02	752423,35	8,71	8,71
26/04/2011	35,87	32021192,00	-473198,00	0,00	14207,34	670628,02	211637,35	2,45	2,45
27/04/2011	35,86	31953604,00	-67588,00	0,00	14207,34	670628,02	617247,35	7,14	7,14
28/04/2011	35,80	31547994,00	-405610,00	0,00	14207,34	670628,02	279225,35	3,23	3,23
30/04/2011	35,79	31480406,00	-67588,00	0,00	14207,34	670628,02	617247,35	7,14	7,14

APÊNDICE A (cont.) – Balanço hídrico (MAIO)

NID_DATA_PK	COTA	Volume (m³)	ΔV	S	Evap (m³/dia)	Retirada (m³/dia)	Aflu. Total (m³/dia)	Aflu. Total (m³/s)	Aflu. Total Corrig. (m³/s)
01/05/2011	35,68	30736802,00	-743604,00	0,00	12943,14	671637,90	-59022,96	-0,68	0,00
02/05/2011	35,64	30466396,00	-270406,00	0,00	12943,14	671637,90	414175,04	4,79	4,79
03/05/2011	35,62	30331192,00	-135204,00	0,00	12943,14	671637,90	549377,04	6,36	6,36
04/05/2011	35,54	29790406,00	-540786,00	0,00	12943,14	671637,90	143795,04	1,66	1,66
05/05/2011	35,58	30060812,00	270406,00	0,00	12943,14	671637,90	954987,04	11,05	11,05
06/05/2011	35,52	29655204,00	-405608,00	0,00	12943,14	671637,90	278973,04	3,23	3,23
08/05/2011	35,52	29655204,00	0,00	0,00	12943,14	671637,90	684581,04	7,92	7,92
09/05/2011	35,60	30195990,00	540786,00	0,00	12943,14	671637,90	1225367,04	14,18	14,18
10/05/2011	35,58	30060812,00	-135178,00	0,00	12943,14	671637,90	549403,04	6,36	6,36
11/05/2011	35,64	30466396,00	405584,00	0,00	12943,14	671637,90	1090165,04	12,62	12,62
12/05/2011	35,62	30331192,00	-135204,00	0,00	12943,14	671637,90	549377,04	6,36	6,36
13/05/2011	35,64	30466396,00	135204,00	0,00	12943,14	671637,90	819785,04	9,49	9,49
14/05/2011	35,43	29119602,00	-1346794,00	0,00	12943,14	671637,90	-662212,96	-7,66	0,00
15/05/2011	35,57	29993198,00	873596,00	0,00	12943,14	671637,90	1558177,04	18,03	18,03
16/05/2011	35,66	30601598,00	608400,00	0,00	12943,14	671637,90	1292981,04	14,97	14,97
17/05/2011	35,77	31345204,00	743606,00	0,00	12943,14	671637,90	1428187,04	16,53	16,53
18/05/2011	35,69	30804390,00	-540814,00	0,00	12943,14	671637,90	143767,04	1,66	1,66

APÊNDICE B – Balanço de massa para o fósforo (JANEIRO)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	0,446	0,342	0,272	0,386
GAV14	0,327	0,455		
GAV16	0,431	0,421		

Média ponderada: $C = ((B6*2389,23)+(B7*1379,58)+(B8*1259,74))/(2389,23+1379,58+1259,74)$

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de P
1	15,17	0,409	6,208
2	8,23	0,393	3,232
3	3,57	0,129	0,462
4	0,88	0,183	0,161
SOMA	27,850	1,115	10,063

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de P
JAN	20577380240,00	1	0,446	
		2	0,342	
		3	0,272	
		4	0,386	
		MÉDIA	0,361	7,436

Entrada

Pontos	Superfície (mg/L)	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de P
CANAL+RIACHO	0,436	8,200	21254400000	9,259

APÊNDICE B(cont.) – Balanço de massa para o fósforo (FEVEREIRO)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	0,484	0,499	0,389	0,352
GAV14	0,494	0,447		
GAV16	0,342	0,552		
MÉDIA PONDERADA	0,451	0,498	0,185	0,167

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de P
1	15,17	0,451	6,842
2	8,23	0,498	4,100
3	3,57	0,185	0,660
4	0,88	0,167	0,147
SOMA	27,850	1,302	11,750

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de P
JAN	19029384171,80	1	0,484	
		2	0,499	
		3	0,389	
		4	0,352	
		MÉDIA	0,431	8,204

Entrada

Pontos	Superfície (mg/L)	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de P
CANAL+RIACHO	0,466	7,30	18921600000	8,817

APÊNDICE B(cont.) – Balanço de massa para o fósforo (MARÇO)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	0,345	0,309	0,222	0,240
GAV14	0,377	0,336		
GAV16	0,590	0,268		
MÉDIA PONDERADA	0,415	0,306	0,106	0,114

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	0,415	6,294
2	8,23	0,306	2,516
3	3,57	0,106	0,377
4	0,88	0,114	0,101
SOMA	27,850	0,941	9,289

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
JAN	22253211790,00	1	0,345	
		2	0,309	
		3	0,222	
		4	0,240	
		MÉDIA	0,279	6,209

Entrada

Pontos	Superfície	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de N
CANAL+RIACHO	0,699	8,23	21332160000	14,905

APÊNDICE B(cont.) – Balanço de massa para o fósforo (ABRIL)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	0,365	0,373	0,361	0,327
GAV14	0,344	0,403		
GAV16	0,365	0,352		
MÉDIA PONDERADA	0,359	0,376	0,171	0,155

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	0,359	5,449
2	8,23	0,376	3,095
3	3,57	0,171	0,612
4	0,88	0,155	0,137
SOMA	27,850	1,062	9,293

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
JAN	20856804660,00	1	0,365	
		2	0,373	
		3	0,361	
		4	0,327	
		MÉDIA	0,357	7,436

Entrada

Pontos	Superfície	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de N
CANAL+RIACHO	0,721	8,49	22006080000,00	15,877

APÊNDICE B(cont.) – Balanço de massa para o fósforo (MAIO)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	0,335	0,229	0,280	0,280
GAV14	0,238	0,247		
GAV16	0,289	0,234		
MÉDIA PONDERADA	0,297	0,235	0,133	0,133

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	0,297	4,501
2	8,23	0,235	1,937
3	3,57	0,133	0,474
4	0,88	0,133	0,117
SOMA	27,850	0,798	7,028

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
JAN	20904383740,00	1	0,335	
		2	0,229	
		3	0,280	
		4	0,280	
		MÉDIA	0,281	5,868

Entrada

Pontos	Superfície	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de N
CANAL+RIACHO	0,697	7,95	20606400000	14,355

APÊNDICE C – Balanço de massa para o nitrogênio (JANEIRO)

Conteúdo do açude

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	0,786	0,645	0,755	0,955
GAV14	0,922	0,814		
GAV16	0,955	0,917		
MÉDIA PONDERADA	0,865	0,760	0,359	0,454

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	0,865	13,129
2	8,23	0,760	6,251
3	3,57	0,359	1,281
4	0,88	0,454	0,399
SOMA	27,85		21,060

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
JAN	20577380240,00	1	0,786	
		2	0,645	
		3	0,755	
		4	0,955	
		MÉDIA	0,785	16,156

Entrada

Pontos	Superfície (mg/L)	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	Entrada
				ton de N
CANAL+RIACHO	0,992	8,200	21254400000,00	21,086

APÊNDICE C(cont.) – Balanço de massa para o nitrogênio (FEVEREIRO)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	1,415	1,205	1,252	1,387
GAV14	1,051	0,839		
GAV16	1,070	1,077		
MÉDIA PONDERADA	1,229	1,073	0,595	0,659

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	1,229	18,638
2	8,23	1,073	8,831
3	3,57	0,595	2,124
4	0,88	0,659	0,580
SOMA	27,850	3,556	30,172

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
FEV	19029384171,80	1	1,415	
		2	1,205	
		3	1,252	
		4	1,387	
		MÉDIA	1,315	25,021

Entrada

Pontos	Superfície (mg/L)	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de N
CANAL+RIACHO	1,114	7,3	18921600000,00	21,082

APÊNDICE C(cont.) – Balanço de massa para o nitrogênio (MARÇO)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	1,947	1,930	1,921	2,293
GAV14	0,930	1,403		
GAV16	2,297	2,302		
MÉDIA PONDERADA		1,878	0,913	1,090

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	0,000	0,000
2	8,23	1,878	15,459
3	3,57	0,913	3,259
4	0,88	1,090	0,959
SOMA	27,850	3,881	19,677

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
MAR	22253211790,00	1	1,947	
		2	1,930	
		3	1,921	
		4	2,293	
		MÉDIA	2,023	45,013

Entrada

Pontos	Superfície (mg/L)	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de N
CANAL+RIACHO	4,130	8,23	21332160000,00	88,105

APÊNDICE C(cont.) – Balanço de massa para o nitrogênio (ABRIL)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	2,216	2,357	2,176	2,150
GAV14	1,879	2,034		
GAV16	2,156	2,182		
MÉDIA PONDERADA	2,109	2,225	1,034	1,022

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	2,109	31,986
2	8,23	2,225	18,308
3	3,57	1,034	3,692
4	0,88	1,022	0,899
SOMA	27,850	6,389	54,886

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
ABR	20856804660,00	1	2,216	
		2	2,357	
		3	2,176	
		4	2,150	
		MÉDIA	2,225	46,402

Entrada

Pontos	Superfície (mg/L)	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de N
CANAL+RIACHO	4,360	8,49	22006080000,00	95,949

APÊNDICE C(cont.) – Balanço de massa para o nitrogênio (MAIO)

Conteúdo do lago

Pontos	0-3 m (mg/L)	3-6 m (mg/L)	6-9 m (mg/L)	9-12 m (mg/L)
GAV05	2,037	1,572	1,466	1,711
GAV14	1,364	1,237		
GAV16	1,427	1,347		
MÉDIA PONDERADA	1,700	1,424	0,697	0,813

Estratos (m)	Volume (10 ⁹ L)	Conteúdo do açude	
		mg/L	ton de N
1	15,17	1,700	25,787
2	8,23	1,424	11,718
3	3,57	0,697	2,487
4	0,88	0,813	0,715
SOMA	27,850	4,633	40,707

Saída

Mês	Vazão (L/mês)	Saída		
		Estratos (m)	mg/L	ton de N
MAI	20904383740,00	1	2,037	
		2	1,572	
		3	1,466	
		4	1,711	
		MÉDIA	1,697	35,466

Entrada

Pontos	Superfície (mg/L)	Vazão média do mês (m ³ /s)	Vazão média do mês (L/mês)	ton de N
CANAL+RIACHO	3,069	7,95	20606400000	63,243

ANEXO A – Ficha técnica resumida do açude Gavião

	Governo do Estado do Ceará Secretaria dos Recursos Hídricos Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos												
	FICHA TÉCNICA												
Açude: Gavião													
LOCALIZAÇÃO													
LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA										
9568733	549.534	Pacatuba	Metropolitanas										
INFORMAÇÕES GERAIS													
CAPAC. (m ³)	V. MORTO (m ³)	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. (km ²)	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)							
32.900.000	21.230.000	618	97,12	36,00	20,00	34,00							
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES													
CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR										
1974	ESTADO	GEMET	AGIR										
EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE												Fortaleza	
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	120,1	95,5	72,4	72,4	68,1	94,7	118,3	151,8	167,8	173,5	168,1	154,3	1.457,0
MÉDIA	3,87	3,41	2,34	2,41	2,20	3,16	3,82	4,90	5,59	5,60	5,60	4,98	3,99
TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.													

Fonte: COGERH, dados não-publicados.

ANEXO B – Vazão da estação de bombeamento do Gavião (EB-Gavião)

DEMANDA DA EB GAVIÃO ANO 2010							
CLIENTES	ANO	Jan(L/s)	Fev(L/s)	Mar(L/s)	Abr(L/s)	Mai(L/s)	Jun(L/s)
DI MARACANAÚ	2010	107,85	109,66	108,45	88,09	89,96	107,32
KAISER	2010	34,03	28,99	31,80	27,19	34,87	33,54
MARISOL	2010	1,21	1,00	1,53	0,85	1,28	1,75
ETA MARANGUAPE	2010	94,00	99,69	94,17	113,14	98,42	115,72
ETA PACATUBA	2010	25,70	26,76	23,39	24,28	28,28	25,00
ETA GUAÍUBA	2010	21,55	22,63	22,23	19,27	21,83	20,87
ETA PAVUNA	2010	16,83	14,56	13,79	11,89	13,92	12,25
DANONE	2010	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82	3,21
OUTROS MENOR PORTE	2010	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
TOTAL MENSAL VAZÃO EB GAVIÃO	2010	301,1730363	303,293831	295,3625733	284,7083873	291,3760417	319,662396

DEMANDA DA EB GAVIAO ANO 2010						
CLIENTES	Jul(L/s)	Ago(L/s)	Set(L/s)	Out(L/s)	Nov(L/s)	Dez(L/s)
DI MARACANAÚ	108,54	137,33	118,08	117,34	127,36	94,25
KAISER	33,54	32,90	33,60	28,38	33,22	35,11
MARISOL	1,70	2,06	2,14	2,28	1,80	1,13
ETA MARANGUAPE	98,69	115,08	101,71	99,29	118,18	113,69
ETA PACATUBA	27,33	27,51	19,30	33,23	52,41	33,78
ETA GUAÍUBA	20,83	22,63	16,60	25,04	22,01	25,25
ETA PAVUNA	13,53	13,33	9,52	14,27	14,42	16,05
DANONE	4,28	7,13	6,48	6,17	6,27	5,53
OUTROS MENOR PORTE	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
TOTAL MENSAL VAZÃO EB GAVIÃO	308,442785	357,9667901	307,430841	326,00	375,665243	324,792118

Fonte: COGERH, dados não-publicados.

ANEXO C – Evaporação no açude Gavião em 2010

Data	Vazão evaporada (m³/s)												Média (m³/dia)
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Média	
Janeiro	0,232	0,258	0,257	0,261	0,261	0,258	0,259	0,264	0,262	0,262	0,264	0,258	22298,4
Fevereiro	0,197	0,226	0,225	0,228	0,230	0,228	0,229	0,231	0,222	0,231	0,232	0,225	19471,6
Março	0,143	0,156	0,156	0,168	0,165	0,156	0,157	0,158	0,158	0,160	0,160	0,158	13634,6
Abril	0,151	0,166	0,166	0,172	0,162	0,161	0,163	0,164	0,165	0,173	0,165	0,164	14207,3
Maior	0,136	0,147	0,151	0,153	0,148	0,148	0,155	0,150	0,150	0,158	0,150	0,150	12943,1
Junho	0,192	0,211	0,211	0,213	0,214	0,211	0,218	0,215	0,214	0,217	0,215	0,212	18319,7
Julho	0,244	0,256	0,253	0,265	0,258	0,256	0,261	0,260	0,259	0,259	0,262	0,258	22250,3
Agosto	0,325	0,327	0,324	0,341	0,328	0,328	0,334	0,330	0,332	0,332	0,333	0,330	28541,7
Setembro	0,372	0,374	0,373	0,385	0,376	0,374	0,383	0,377	0,379	0,381	0,380	0,378	32627,9
Outubro	0,373	0,375	0,383	0,376	0,379	0,373	0,381	0,377	0,379	0,385	0,380	0,378	32677,8
Novembro	0,371	0,374	0,387	0,381	0,377	0,375	0,381	0,376	0,379	0,382	0,381	0,378	32702,0
Dezembro	0,332	0,332	0,336	0,342	0,334	0,333	0,338	0,336	0,336	0,340	0,338	0,336	29036,3

Fonte: COGERH, dados não-publicados.

ANEXO D – Volumes de água captados pela ETA-Gavião

Mês-ano	ETA Gavião		Volume captado (m ³ /dia)
	Volume captado (m ³ /mês)		
janeiro-10	19346000,00		644866,67
fevereiro-10	17608826,50		586960,88
março-10	19838135,18		661271,17
abril-10	18602867,77		620095,59
maio-10	19115936,84		637197,89
junho-10	18540766,50		618025,55
julho-10	19473818,40		649127,28
agosto-10	19984610,07		666153,67
setembro-10	19552488,00		651749,60
outubro-10	20377039,17		679234,64
novembro-10	19977233,30		665907,78
dezembro-10	20571152,19		685705,07
janeiro-11	19796739,73		659891,32
fevereiro-11	18243246,56		608108,22
março-11	21487632,00		716254,40
abril-11	20118840,52		670628,02
maio-11	20149137,04		671637,90

Fonte: CAGECE, dados não-publicados.