



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

MATEUS SALES MEDEIROS DE ALMEIDA COSTA

AVALIAÇÃO DO GRAU DE TROFIA DO AÇUDE GAVIÃO

FORTALEZA

2017

MATEUS SALES MEDEIROS DE ALMEIDA COSTA

AVALIAÇÃO DO GRAU DE TROFIA DO AÇUDE GAVIÃO

Monografia apresentado ao Curso de Química Bacharelado da Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Pici, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Orientadora Pedagógica: Prof.^a Dra. Ruth Vidal.
Orientadora Profissional: Ms. Francimeyre Freire Avelino

FORTALEZA

2017

C874a Costa, Mateus Sales Medeiros de Almeida.
Avaliação Do Grau De Trofia Do Açude Gavião / Mateus Sales Medeiros de Almeida Costa. – 2017.
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Ruth Vidal.

1. eutrofização. 2. Açude Gavião. 3. Água. I. Título.

CDD 540

MATEUS SALES MEDEIROS DE ALMEIDA COSTA

AValiação DO GRAU DE TROFIA DO AçUDE GAVIÃO:

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado da Universidade Federal do Ceará (UFC), como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação em Química Industrial.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Ruth Vidal (Orientadora Pedagógica)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Francimeyre Freire Avelino (Orientadora Profissional)
Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH)

Prof.^a Dra. Helena Becker
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esse trabalho aos meus pais, Pádua e
Marinêis, ao meu irmão Marcos e amigos.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, cuja soberana mão permitiu o ingresso e conclusão do curso superior

Á ASTEF, pelo investimento no projeto, sem o qual não seria possível realizar tal experiência industrial.

Á COGERH, pela coleta das amostras de água e disponibilidade de dados.

Á Prof. Dr. Helena, por sempre está presente naquelas manhãs em que eu vinha cercado de dúvidas, por ser exemplo de professora nos meus primeiros semestres e pela rica experiência industrial concedida nos últimos semestres.

Á Prof. Dr. Ruth, cuja ética e notável simpatia me faziam alegre em meio as árduas obrigações.

Aos professores participantes da banca examinadora Ruth Vidal, Helena Becker e Francimeyre Freire pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus Pais, que nunca deixaram de me apoiar na faculdade, seja no incentivo a perseverança, nos livros, nos cafés nas noites atarefadas, nos abraços após as provas e nas comemorações a cada fim de semestre.

A todos os colegas do LAQUIM que gastaram bom tempo me orientando no trabalho e me fizeram despertar o interesse pela química da água.

A todos colegas da turma 2014.1 de química bacharelado, pela amizade e apoio a cada semestre, em especial ao Samuel, por sua notável maturidade que me inspirou no ramo profissional, e ao Suesley que me apoio como um verdadeiro irmão.

*“A tempestade parecia o fim,
Em revoltas águas, negras, fruto sagaz
De meus enganos – meus e nossos.*

*E de águas fundas em mim,
De ribeiros de paz,
Veio saúde em meus ossos.”*

Davi Vitor Macedo

RESUMO

O fenômeno da eutrofização é um processo de enriquecimento de reservatórios hídricos por nutrientes, geralmente contendo fósforo e nitrogênio, que vem gradativamente reduzindo a qualidade e disponibilidade de água, o que é um agravante na situação do semiárido nordestino, onde já ocorre intensa perda hídrica pelo clima e geomorfologia. O presente trabalho, mostra o resultado das análises efetuadas em amostras de água do açude Gavião, um reservatório que abastece a região metropolitana de Fortaleza, em cinco coordenadas diferentes, e em 3 níveis de profundidade no ano de 2017. Analisou-se as concentrações de nitrogênio total, fósforo total, nitrato, nitrito, ortofosfato, nitrogênio amoniacal e clorofila em amostras de água, adotando as metodologias espectrofotométricas proposta por APHA (2005). Os resultados mostraram que, segundo a resolução CONAMA 357, algumas concentrações estavam com os valores acima do valor máximo permitido; a razão N/P, mostrou que houve alternância entre o nutriente limitante e que o grau de trofia foi sempre acima de 60, conferindo um nível trófico das águas ruim.

Palavras-chave: Eutrofização. Açude Gavião. Água.

ABSTRACT

The eutrophication phenomenon is a process of enriching water reservoirs by nutrients, usually containing phosphorus and nitrogen, which gradually reduces the quality and availability of water, which is an aggravating factor in the Northeastern semi-arid state, where there is already intense water loss. Climate and geomorphology. The present work shows the results of the analyzes carried out on water samples from the Gavião dam, a reservoir that supplies the metropolitan region of Fortaleza, in five different coordinates, and three depth levels in the year of 2017. The concentrations of total nitrogen, total phosphorus, nitrate, nitrite, orthophosphate, ammoniacal nitrogen and chlorophyll in water samples, adopting the spectrophotometric methodologies proposed by APHA (2005). The results showed that, according to the resolution CONAMA 357, some concentrations were with values above the maximum allowed value; the N / P ratios showed that there was an alternation between the limiting nutrient and that the trophic degree was always above 60, conferring a terrible trophic level of the waters.

Keywords: Eutrophication. Gavião dam. Water

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização do açude Gavião.....	22
Figura 2	– Açude Gavião	23
Figura 3	– Pontos de coleta Google Earth ©.....	29
Figura 4	– Fluxograma da metodologia.....	31
Figura 5	– Estado trófico no início do mês (0,3m)	40
Figura 6	– Estado trófico na metade do mês (0,3m)	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de pontos irregulares.....	35
Gráfico 2 – Mudanças na razão N/P.....	36
Gráfico 3 – N e P total por profundidade (Gav - 05)	38
Gráfico 4 – N e P total por profundidade (GAV - 08)	39
Gráfico 5 – N e P total por profundidade (GAV -14)	39
Gráfico 6 – N e P total por profundidade (GAV -15)	39
Gráfico 7 – N e P total por profundidade (GAV -16)	39
Gráfico 8 – Valores de IET (0,3m)	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Distribuição hídrica por região.....	21
Tabela 2	- Valor máximo permitido de alguns parâmetros.....	23
Tabela 3	- Razão N/P (limitantes).....	26
Tabela 4	- Classificação dos estados tróficos de reservatórios hídricos.....	28
Tabela 5	- Especificação dos pontos de coleta.....	30
Tabela 6	- Localização dos pontos quanto a profundidade.....	30
Tabela 7	- Metodologia aplicada.....	32
Tabela 8	- Limite de quantificação.....	33
Tabela 9	- Concentrações dos nutrientes no início do mês.....	33
Tabela 10	- Concentrações dos nutrientes na metade do mês.....	34
Tabela 11	- Razão N/P.....	35
Tabela 12	- IET no início do mês.....	37
Tabela 13	- IET na metade do mês.....	37

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Índice de estado trófico para transparência.....	27
Equação 2 – Índice de estado trófico para fósforo total.....	27
Equação 2 – Índice de estado trófico para clorofila.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Água
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
chl	Clorofila
ETA	Estação de Tratamento de Água
IET	Índice de Estado Trófico
LAQUIM	Laboratório de Química
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP	Valor Máximo Permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

© Copyright

® Marca registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1	RECURSOS HÍDRICOS.....	21
3.1.1	Disponibilidade hídrica brasileira.....	21
3.1.2	Hidrologia no semiárido nordestino.....	21
3.1.3	Açude Gavião.....	22
3.2	EUTROFIZAÇÃO.....	23
3.3	EFEITOS DOS NUTRIENTES NOS RESERVATÓRIOS HÍDRICOS.....	24
3.3.1	Fósforo.....	24
3.3.2	Nitrogênio.....	25
3.4	RELAÇÃO N/P.....	26
3.5	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO.....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	COLETA E PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS.....	29
4.2	REAGENTES E SOLUÇÕES.....	31
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	33
5.1	ANÁLISE DO VALOR MÁXIMO PERMITIDO.....	33
5.2	Razão N/P.....	35
5.3	AVALIAÇÃO DE ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO.....	36

5.3.1	Avaliação vertical.....	37
5.3.2	Avaliação horizontal.....	40
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43
	ANEXO A – Dados do início de maio	46
	ANEXO B – Dados da metade de maio	47

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água presente em reservatórios hídricos e o grau de poluição, tem sido alvo de discussões em conferências desde níveis regionais até internacionais. Se de um lado, a água é essencial para manutenção da vida no ecossistema-quer organismos humanos, animais ou vegetais - e útil para diversas atividades agrícolas e industriais, por outro lado, as águas contaminadas promovem enormes prejuízos, como a propagação de doenças e elevação de custos nas indústrias para dispor desta matéria-prima adequada.

Um dos fatores que restringe a disponibilidade da água é a qualidade em que se encontra na natureza. Se antigamente a água para abastecimento humano era avaliado qualitativamente por apenas parâmetros estéticos e microbiológicos, após a segunda guerra mundial e com a intensificação das atividades industriais, o aumento de substâncias químicas disponíveis comercialmente aumentou o número de parâmetro necessários para avaliação, já que a contaminação dos recursos hídricos por esgotos domésticos e efluentes aumentou consideravelmente. (MIERZWA, HESPANHOL, 2005; EPA, 2000; SHREVE, 1980).

Comparando-se com a quantidade de água total, a quantidade disponível é bastante reduzida. No Brasil, a disponibilidade hídrica é concentrada majoritariamente na Amazônia, além disso, em regiões do semiárido nordestino, cuja hidrologia é marcada pela intermitência da maioria dos rios associada aos solos cristalinos de baixa produção de águas subterrâneas, a alta variabilidade dos deflúvios anuais e a intensa evaporação tornaram-se necessárias decisões políticas para construção de grandes reservatórios. (DI BERNARDO *et al*, 1963, P. 10; CAMPOS Jose, MOTA, CAMPOS, Vanessa 2009; TOLEDO, 2013).

Para amenizar o problema da seca, um importante reservatório de água foi construído em 1973 no estado do Ceará, o açude Gavião. Localiza-se no município de Pacatuba e Itaitinga, onde possui uma Estação de Tratamento de Água (ETA) operada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), e é responsável por abastecer a capital cearense e região metropolitana com água potável. O açude pode ter seu grau de trofia agravado, pois as atividades antrópicas vêm aumentando a concentração de nutrientes responsáveis pela eutrofização (BRAGA, 2006; VIDAL, 2011).

Baseando na lei do mínimo proposta por Von Liebig (1855), vem sido comprovados relações entre a entrada de nutrientes contendo fósforo e nitrogênio em ambientes aquáticos e a presença de organismos fototróficos, tais como algas e fitoplânctons. Por inferência, o excesso de alga encontrado no Gavião pode refletir uma continua e excessiva entrada de nutriente, o que acarreta em problemas como a degradação da qualidade da água, além de dificultar e encarecer o trabalho da estação de tratamento de água. (VIDAL, 2011).

No presente trabalho, selecionou-se cinco pontos geográficos do açude Gavião e analisou-se amostras de água em três profundidades, a fim de avaliar as concentrações de compostos contendo nitrogênio (nitrogênio total, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal), fósforo (fósforo total e ortofosfato) e clorofila para se avaliar o grau de trofia desse açude.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o estado trófico da água do açude Gavião (Fortaleza – CE) por meio de análises dos nutrientes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as concentrações de nutrientes (fósforo total, ortofosfato, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato) e clorofila **a**;
- Verificar a distribuição horizontal e vertical dos nutrientes;
- Calcular o índice de estado trófico do açude.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 RECURSOS HÍDRICOS

3.1.1 Disponibilidade hídrica brasileira

Segundo Di Bernardo *et al* (1993), a disponibilidade hídrica brasileira é significativa por concentrar 13% das reservas de água doce do mundo, porém, encontra-se má distribuída, de forma que é concentrada majoritariamente na Amazônia e de forma escassa nas regiões do nordeste e sudeste, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição hídrica por região

Região	População (hab.)	Disponibilidade específica (m ³ /ano.hab)
Norte	12.911.170	285.591,97
Nordeste	47.782.488	4.880,26
Sudeste	72.430.194	4.448,44
Sul	25.110.349	14.434,23
Centro-Oeste	11.638.658	100.493,98
Total	169.872.859	33.994,73

Fonte: adaptado de Mierzwa, Hesperhol, 2005.

3.1.2 Hidrologia no semiárido nordestino

Segundo o Ministério da Integração Brasileira (2017), a área territorial do semiárido brasileiro corresponde a 1,03 milhão de km² (12% da área do País), e congrega uma população de 25 milhões de pessoas (12% da população brasileira) em seus 1189 municípios, localizados em nove estados da Federação.

O semiárido foi caracterizado por Toledo (2006) como uma região onde a precipitação pluviométrica média anual é inferior a 800 mm, o índice de aridez (razão entre precipitação e a evapotranspiração potencial) é menor que 0,5 e o risco de seca é maior que 60%, compreendendo uma geologia predominantemente cristalina, porém com áreas sedimentares em menor proporção, e a vegetação predominante é do tipo Caatinga, com características xerofíticas e a presença de florestas estacional caducifolia.

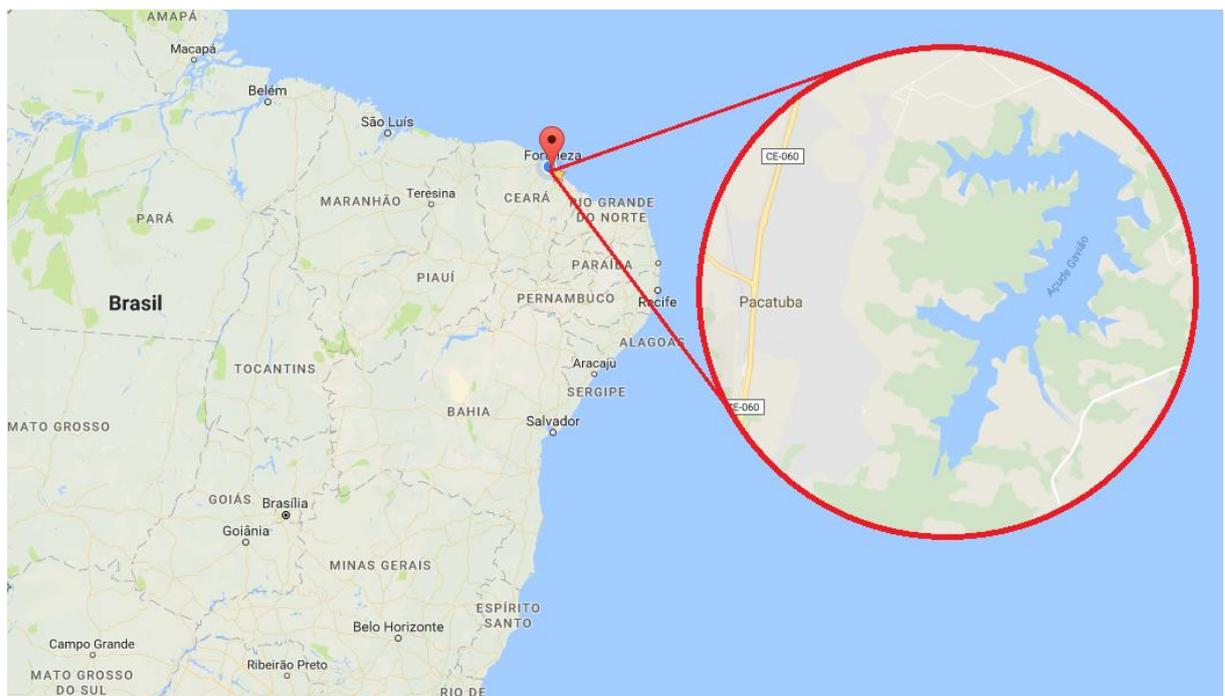
A hidrologia do semiárido é marcada pela intermitência da maioria dos rios associada aos solos cristalinos de baixa produção de águas subterrâneas; a alta variabilidade dos deflúvios anuais e a intensa evaporação. Campos (2009) define que o principal fator que resulta em períodos de seca, não é prioritariamente devido à baixa e irregular pluviosidade que é concentrada em uma estação de 3 a 5 meses, mas é devido a intensa evaporação. Tal

evaporação é devido a intensa exposição solar (aproximadamente 3000 horas de sol por ano), a temperatura elevada (entre 23 e 27°C). Portanto, tornaram-se necessárias algumas decisões políticas como instalação de cacimbas, disponibilidade de carros-pipas e a construção de grandes reservatórios hídricos, como açudes, visto que a água é um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola (CAMPOS,2009; TOLEDO, 2013).

3.1.3 Açude Gavião

Um importante reservatório hídrico foi construído em 1973 no estado do Ceará, o açude Gavião. Localiza-se no município de Pacatuba e Itaitinga, pertencentes a Região administrativa 1, suas coordenadas geográficas são: 3°59'03”S de latitude e 38°37'13”W de longitude e uma altitude da sede de 65,37m, ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Localização do açude Gavião



Fonte: Google Maps ©

Segundo Braga (2006), o Gavião (Figura 2) possui origem no barramento do Rio Cocó, o qual localiza-se à montante da Estação de Tratamento de Água (ETA) e atua conjuntamente com os açudes Pacajus, Pacoti e Riachão sendo responsáveis pelo abastecimento de água potável a região metropolitana de Fortaleza (RMF), além de também oferecer água bruta para ETA-Gavião e ocasionalmente ao Distrito Industrial, em Maracanaú.

Vidal (2011), enfatiza que um dos impactos da eutrofização das águas do Gavião é o aumento da dificuldade e do custo no tratamento da água pela ETA devido à presença

excessiva de algas. Essas algas, por sua vez, acumulam-se nas bombas de água, reduzindo a vida útil e requerendo limpezas manuais mais frequentes, o que aumenta o trabalho e reduz a produtividade.

Figura 2 – Açude Gavião



Fonte:Diário do Nordeste

Como o Gavião encontra-se não enquadrado pelas diretrizes ambientais, o artigo 42 do CONAMA especifica que as águas doces devam ser consideradas classe 2. Tomando como base tal classificação, a resolução do CONAMA nº357/2005 estabelece valores máximos permitidos (VMP) para os nutrientes citados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valor máximo permitido de alguns parâmetros

Classe 2- Águas doces	
Parâmetros	Valor Máximo
Clorofila a	30 µg/L
Nitrogênio amoniacal	3,7 mg/L NH ₃ , para pH ≤ 7,5
	2,0 mg/L N, para 7,5 < pH < 8,0
	1,0 mg/L N, para 8,0 < pH < 8,5
	0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Nitrato	10,0 mg/L NO ₃ ⁻
Nitrito	1,0 mg/L NO ₂ ⁻
Nitrogênio Total	1,27 mg/L N, para ambiente lântico
	2,18 mg/L, para ambientes lóticos
Fósforo Total	0,030 mg/L P, para ambiente lântico
	0,050 mg/L P, para ambiente intermediário

Fonte: CONAMA, 2005.

3.2 EUTROFIZAÇÃO

Toné (2016, p. 30) define a eutrofização como: “Processo pelo qual os corpos hídricos são enriquecidos por nutrientes, frequentemente tendo o fósforo como limitante, com

a subsequente deterioração de suas águas devido ao crescimento excessivo de organismos fototróficos.”

Smith *et al.* (1999), relata que desde a revolução industrial, as atividades antrópicas vêm causados grandes alterações na estruturação e na funcionalidade do meio ambiente, como pode-se citar o aumento da taxa de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) na superfície terrestre e aquática pelo uso excessivo de fertilizantes, o resultado é um profundo impacto nos ciclos biogeoquímicos desses elementos. A lei do mínimo proposta por Von Liebig (1855), comprovou essa relação entre os nutrientes fornecidos no solo e o crescimento de plantas terrestres, sendo destacados os nutrientes contendo N e P na forma inorgânica. De maneira semelhante, a presença de tais nutrientes em lagos, rios, açudes e outros ambientes aquáticos promove o crescimento de organismos fotossintetizantes (como fitoplânctons, algas, etc.).

Atualmente, uma fonte notória de nutrientes, como exemplo do fosfato, corresponde a esgotos industriais ou domésticos que contribuem para eutrofização de reservatórios hídricos.

3.3 EFEITOS DOS NUTRIENTES NOS RESERVATÓRIOS HÍDRICOS

Pohling (2009), descreve que os ecossistemas de rios, lagos, açudes, etc., mantem um equilíbrio com o ciclo biogeoquímico do oxigênio, carbono, nitrogênio, dentre outros, porém, por meio de ações antrópicas, como despejo de efluentes industriais e esgoto doméstico, o balanço natural dos nutrientes é alterado e diversos impactos ambientais promovem a eutrofização dos reservatórios.

3.3.1 Fósforo

Esteves (2010), relata a importância do fósforo no ecossistema pela presença em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos como no armazenamento de energia (ATP) e estruturação da membrana celular (fosfolipídios). O fósforo é o principal fator limitante dos organismos produtores em reservatório hídricos e principal responsável pela eutrofização. As formas fosforadas presentes em águas são: fosfato particulado (P-particulado), fosfato orgânico dissolvido (P - Orgânico dissolvido), fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato ou fosfato reativo (P-orto), fosfato total dissolvido (P - total dissolvido) e fosfato total (P-total); entre estes, o P-orto assume maior importância por ser a

principal forma assimilada pelos vegetais.

Pohling (2009, p. 167), descreve os efeitos da presença excessiva de fósforo nos reservatórios hídricos:

Em águas superficiais estagnadas, o fósforo em excesso proveniente dos efluentes domésticos, etc., causa eutrofização (excesso de nutrientes) e, conseqüentemente, a proliferação exagerada de algas na zona fototrófica do corpo hídrico, tendo em vista que os ortofosfato são biodisponíveis, assimilados pelas algas e convertidos em fosfatos orgânicos e condensados.

Segundo o mesmo autor, as conseqüências de haver uma superpopulação de seres fototróficos consiste na alta demanda de oxigênio, que pode vir a reduzir a concentração de oxigênio em camadas profundas do lago e promover decomposição anaeróbia que libera toxinas danosas a vida aquática e a humana.

3.3.2 Nitrogênio

Esteves (2010) menciona que o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos participando, por exemplo, na formação de proteínas. Ele é encontrado nos ambientes aquáticos sob várias formas, como nitrato (NO_2^-), nitrito (NO_3^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos), etc. Todavia os íons nitrato e amônio são as principais fontes de N aos produtores primários.

Algumas informações relatadas por Esteves (2010) das principais formas de compostos nitrogenados:

- Amônio: é o componente nitrogenado com forma mais reduzida, sendo muito importante aos organismos produtores por sua absorção ser energética mais viável, sendo um dos componentes limitantes.
- Nitrito: é uma fase oxidativa intermediária entre amônia e nitrato, geralmente encontrado em baixas concentrações em ambientes aeróbios e podem ser reduzidos em células de fitoplâncton quando outras formas nitrogenadas são escassas. Em altas concentrações, o nitrito é tóxico a maioria dos organismos aquáticos.
- Nitrato: é o composto nitrogenado de fase mais oxidada, sendo o fator

limitante do crescimento dos organismos produtores que fornece nitrogênio, pois apesar do amônio ser energeticamente mais viável, o nitrato encontra-se, geralmente, em maior quantidade nas camadas do fitoplâncton.

O excesso de nitrogênio causa impactos a vida no ecossistema aquático, Trussel (1972) relata que para cada miligrama de íon amônio, são demandados 4,3 miligramas de oxigênio do ambiente para oxidação; logo, a alta concentração de amônio pode tornar o ambiente anaeróbio e, caso o meio esteja básico, ocorre a conversão em amônia que afeta o crescimento dos peixes e pode até causar morte.

3.4 RELAÇÃO N/P

Segundo Von Sperling (2000), o processo de eutrofização é conduzido pela relação da concentração, em mol/L, de nitrogênio e fósforo atuando como limitantes. Para determinar qual nutriente é o limitante, considera a demanda da alga equivalente a distribuição de nutrientes na sua biomassa, tomando como base a relação de Redfield ($C_{106}H_{118}O_{45}N_{16}P_1$). A relação estequiométrica sugere uma relação N/P igual a 16:1, logo, em valores superiores a 16, há o excesso de nitrogênio e o fósforo atua como limitante, e para valores inferiores a 16, ocorre a inversão com o nitrogênio sendo o limitante. (PAULINO, OLIVEIRA, AVELINO, 2013).

Segundo Lamparelli (2004), apesar da lei do mínimo estabelecer que um nutriente pode limitar o crescimento dos organismos produtores deve-se levar em consideração que os nutrientes podem atuar concomitantemente alternando sua concentração no meio. Com isso, a COGERH adotou a classificação conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Razão N/P (limitantes)

Relação N/P	Limitante
≤ 10	Fósforo
Entre 10 e 22	Fósforo e Nitrogênio em concentração limitante/ outros fatores
≥ 22	Nitrogênio

Fonte: Paulino, Oliveira, Avelino, 2013.

3.5 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO

Segundo Barros (2013) apud Menezes *et al* (2010), o monitoramento da qualidade de água é necessário para gerenciar os recursos hídricos, identificando impactos ambientais no ambiente e propiciando tomadas de decisões por órgãos responsáveis; porém a grande diversidade de parâmetros com resultados de difícil interpretação às pessoas não especialistas no tema dificultam a comunicação entre os pesquisadores e sociedade.

Os resultados do monitoramento devem ser expressos de forma clara para a população e com classificações da qualidade do ambiente; com esse objetivo, índices de qualidade vem sendo desenvolvidos e aplicados em diferentes partes do mundo tendo em vista o destino e tipo de informação requerida da qualidade. (LAMPARELLI 2004; BARROS *apud* MENEZES *et al* 2010).

Segundo Mercante (1999, p. 1-14):

o índice de Carlson (1974) é um dos índices mais utilizados no Brasil para estimar o estado trófico de sistema aquáticos. Este índice relaciona as concentrações (em µg/L) de fósforo total, clorofila **a** e a transparência da água para avaliar a situação trófica do ambiente sem, entretanto, delimitar os estados tróficos.

Barros (2013) ressalta a necessidades de adaptações de classificação do IET pois a metodologia foi desenvolvida para climas temperados, sendo necessário adaptar para características de cada região. Para esse estudo, utilizou o IET modificado por Toledo (1983), recomendável para açudes do nordeste brasileiro conforme indicação da COGERH.

Segundo Lamparelli (2004), “o Índice do Estado Trófico é composto pelos Índices do Estado Trófico para a transparência – IET(S), para o fósforo – IET(P) e para a clorofila **a** – IET(CL)” epode ser calculado, respectivamente, pelas equações 1, 2 e 3.

Equação 1 - Índice de estado trófico para transparência

$$IET(S) = 10x\{6 - [(\ln S)/\ln 2]\}, \text{ onde } S \text{ é expresso em metros.}$$

Equação 2 - Índice de estado trófico para fósforo total

$$IET(PT) = 10x\{6 - [1,77 - 0,42x (\ln PT)/\ln 2]\}, \text{ onde } PT \text{ é expresso em } \mu\text{g/L.}$$

Equação 3 - Índice de estado trófico para clorofila

$IET(CL) = 10x\{6 - [0,92 - 0,34x (\ln CL)/\ln 2]\}$, onde CL é expresso em $\mu\text{g/L}$.

Lamparelli (2004), ressalta que, normalmente, não considera o cálculo do índice de transparência na estimativa do estado trófico o IET, pois esta é afetada pela elevada turbidez decorrente de material em suspensão nos reservatórios, portanto, utilizou-se a média aritmética do IET do fósforo e da clorofila para classificar o estado trófico da água.

Paulino, Oliveira, Avelino (2013), ao discutirem o cálculo de IET adotado na Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), informam que:

Os resultados do IET correspondentes ao fósforo devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, atuando como o agente causador do processo, enquanto que a clorofila **a** pode ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando o nível de crescimento de algas em suas águas. A média dos dois índices engloba, então, de forma satisfatória a causa e o efeito do processo.

Desde a década de 80 vem sendo proposto critérios para o estabelecimento de limites e separar lagos em ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico conforme Kratzer e Brezonick (1981).

O presente trabalho tomou como base a classificação adaptada de Toledo (1990) para o estado trófico de reservatórios, utilizando o valor de IET fornecido pela Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos estados tróficos de reservatórios hídricos

Critério	Estado Trófico	Fósforo Total (mg/L)	Clorofila a (mg/L)	Transparência (m)
$IET \leq 44$	Oligotrófico	$\leq 0,026$	$\leq 3,81$	$> 1,7$
$44 < IET \leq 54$	Mesotrófico	0,027 - 0,052	3,82 - 10,34	1,1 - 1,7
$54 < IET \leq 74$	Eutrófico	0,053 - 0,211	10,35 - 76,06	0,8 - 1,1
$IET > 74$	Hipereutrófico	$> 0,211$	$> 76,06$	$< 0,8$

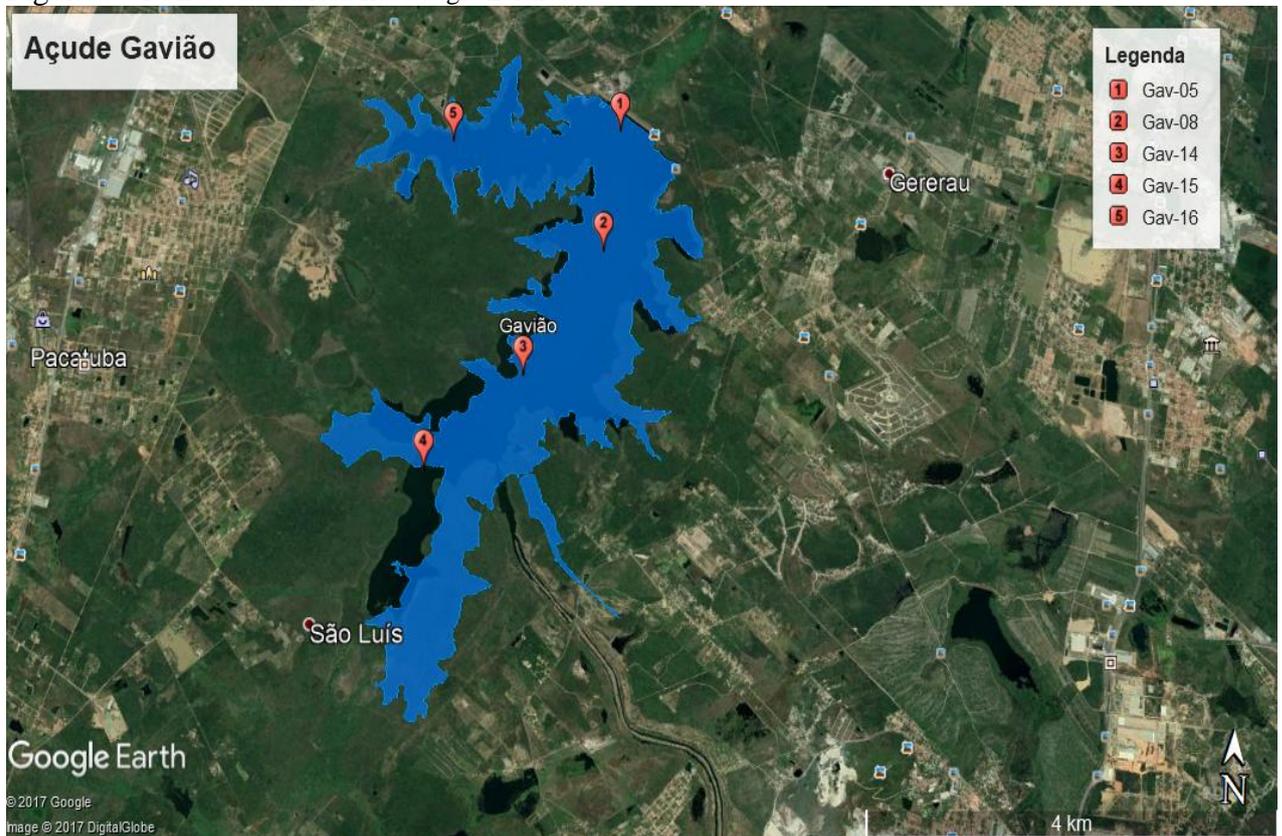
Fonte: Adaptado de Toledo, 1990.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA E PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

A coleta das amostras de água foi realizada pela COGERH, bem como o fornecimento dos dados, cuja amostragem foi feita nos seguintes pontos do açude: GAV-05, GAV-08, GAV-14, GAV-15 e GAV-16 (Figura 3). As localizações dos pontos em coordenadas bem como a especificação do local estão apresentadas na Tabela 5. Nas datas que procederam as coletas, início (02/05/17) e meio de maio (16/05/17) foram registrados como condições climáticas um tempo ensolarado, ventos fracos e a cor da água encontrava-se pardacenta.

Figura 3 - Pontos de coleta no Google Earth ©



Fonte: Autor, 2017

Tabela 5 - Especificação dos pontos de coleta

pontos	Coordenadas (UTM*)		Localização
	Longitude	Latitude	
GAV-05	9568116	549141	Próximo à captação da estação de tratamento
GAV-08	549011	9566934	Ponto central
GAV-14	548241	9565728	Meio do açude
GAV-15	547286	9564822	Nascente do rio Cocó
GAV-16	547388	9567954	Plataforma de bombeamento

Fonte: Autor, 2017.

UTM*: Universal Transversa de Mercator

A coleta procedeu em diferentes coordenadas geográficas e em diferentes níveis de profundidade, onde será posteriormente mencionado como amostra de superfície (S), meio (M) e fundo (F). As amostras foram nomeadas conforme a Tabela 6, sendo informada o ponto de coleta e a profundidade.

Tabela 6 - Localização dos pontos quanto a profundidade

Ponto	Profundidade (m)		Símbolo
	02/05/2017	15/05/2017	
GAV-05	0,3	0,3	S
GAV-05	6	5,6	M
GAV-05	11,5	10,7	F
GAV-08	0,3	0,3	S
GAV-08	5	4,3	M
GAV-08	9,5	8,1	F
GAV-14	0,3	0,3	S
GAV-14	2,5	2,8	M
GAV-14	5	5,1	F
GAV-15	0,3	0,3	S
GAV-15	1,5	1,7	M
GAV-15	3	3	F
GAV-16	0,3	0,3	S
GAV-16	2	1,8	M
GAV-16	3,5	3,2	F

Fonte: Autor, 2017.

As amostras de água foram posteriormente armazenadas em garrafas novas até a

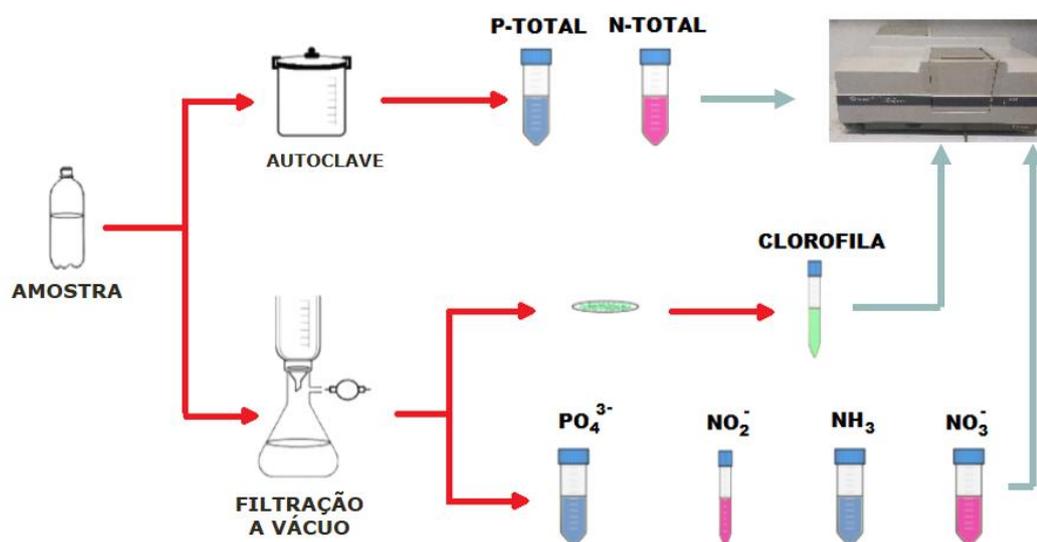
chegada ao laboratório com auxílio de caixa de térmica, onde foram imediatamente analisadas.

4.2 REAGENTES E SOLUÇÕES

Os reagentes utilizados no preparo das soluções possuíam grau analítico. A água utilizada no preparo das soluções foi destilada e posteriormente purificada em sistema Milli-Q®.

As amostras de água coletada pela COGERH foram recebidas no Laboratório de Análise Química (LAQUIM), onde procedeu as análises para determinação de nutrientes. Inicialmente realizou-se uma homogeneização manual, autoclavou 3 alíquotas de 10ml e procedeu a análise de N e P total. Em seguida, foram filtradas 250 ml de cada amostra em membranas de filtração de 0,45µm de porosidade, considerando que os 50 ml iniciais foram destinados a ambientação do filtro e kitasato. O sólido retido na membrana foi utilizado para análise de clorofila **a**, enquanto o líquido foi utilizado para análise de fosfato, nitrito, nitrato e amônia. Analisou-se dentro de um limite máximo de 48 horas, obedecendo sempre ao prazo limite de cada método. A Figura 4 organiza em um fluxograma, as principais ações tomadas na metodologia e o desenvolvimento final da cor.

Figura 4: Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor, 2017

As técnicas analíticas utilizadas para a quantificação de cada variável são citadas individualmente na Tabela 7, baseados em APHA (2005).

Tabela 7 – Metodologia aplicada

Variáveis	Replicatas	Métodos
Nitrogênio Total	3	Redução do cádmio (4500 - NO ₃ ⁻ E)
Fósforo Total	3	Ácido ascórbico (4500 - P E)
Ortofosfato	2	Ácido ascórbico (4500 - PE)
Clorofila a	1	Espectrofotométrico (10200H)
Nitrogênio Amoniacal	3	Fenato (4500 - NH ₃ F)
Nitrito	2	Colorimétrico (4500 - NO ₂ ⁻ B)
Nitrato	2	Redução do cádmio (4500 - NO ₃ ⁻ E)

Fonte: Autor, 2017

Após o desenvolvimento da cor nas amostras pelas metodologias aplicadas, procedeu a leitura no espectro de UV-Vis (VARIAN 1E) onde foram registrados valores de absorbância para o cálculo de concentração, obtidas através das curvas de calibração.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DO VALOR MÁXIMO PERMITIDO

O valor de limite de quantificação está fornecido na Tabela 8, o qual especifica a concentração mínima onde o método é mensurável. Os resultados dos nutrientes estão registrados na tabela 9 e 10, que corresponde respectivamente ao início e metade de maio e a simbologia para profundidade adotada é superfície (S), meio (M) e fundo (F). Uma tabela mais completa, contendo valores de coeficiente de variação estão apresentados nos anexos A e B.

Tabela 8 – Limite de quantificação

Variáveis	LQ
N total	0,158 mg N/L
P total	0,013 mg P/L
PO ₄ ³⁻	0,01 mg P-PO ₄ ³⁻ /L
Chl a	0,2 µg/L
NH ₃	0,01 mg N-NH ₃ /L
NO ₂ ⁻	0,2 mg N-NO ₂ ⁻ /L
NO ₃ ⁻	0,2 mg N-NO ₃ ⁻ /L

Fonte: Autor, 2017

Tabela 9 - Concentrações dos nutrientes no início de maio

Ponto	Profundida- de	N Total	P Total	P-PO ₄ ³⁻	CHL a	N-NH ₃	N-NO ₂ ⁻	N - NO ₃ ⁻
		mg N/L	mg P/L	mg P- PO ₄ ³⁻ /L	µg/L	mg N- NH ₃ /L	mg N- NO ₂ ⁻ /L	mg N- NO ₃ ⁻ /L
GAV-05	S	1,837	0,237	≤LQ	36,46	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-05	M	1,382	0,235	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-05	F	2,553	0,656	0,191	-	0,841	≤ LQ	≤ LQ
GAV-08	S	2,395	0,3	≤LQ	48,62	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-08	M	1,379	0,301	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-08	F	2,764	0,44	0,059	-	0,397	≤ LQ	≤ LQ
GAV-14	S	2,703	0,288	0,016	47,86	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-14	M	5,908	0,255	0,019	-	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-14	F	4,191	0,278	0,019	-	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-15	S	4,341	0,244	≤LQ	53,3	≤ LQ	≤ LQ	0,064
GAV-15	M	3,59	0,242	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	0,063
GAV-15	F	4,738	0,257	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	0,059
GAV-16	S	1,846	0,152	≤LQ	35,84	≤ LQ	≤ LQ	0,055
GAV-16	M	3,317	0,083	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	0,057
GAV-16	F	3,812	0,085	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	0,847

Fonte: Autor,2017

Tabela 10- Concentrações dos nutrientes na metade do mês

Ponto	Profundida- de	N Total	P Total	P-PO ₄ ³⁻	CHL a	N-NH ₃	N-NO ₂ ⁻	N - NO ₃ ⁻
		mg N/L	mg P/L	mg P- PO ₄ ³⁻ /L	µg/L	mg N- NH ₃ /L	mg N- NO ₂ ⁻ /L	mg N- NO ₃ ⁻ /L
GAV-05	S	1,393	0,035	≤LQ	54,24	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-05	M	2,185	0,05	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-05	F	3,538	0,084	≤LQ	-	0,472	≤ LQ	≤ LQ
GAV-08	S	3,073	0,057	≤LQ	1,92	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-08	M	1,973	0,056	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-08	F	1,922	0,06	≤LQ	-	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-14	S	1,912	0,27	≤LQ	10,5	≤ LQ	0,015	≤ LQ
GAV-14	M	3,766	0,208	≤LQ	-	≤ LQ	0,015	≤ LQ
GAV-14	F	1,716	0,236	≤LQ	-	≤ LQ	0,015	≤ LQ
GAV-15	S	2,761	0,216	≤LQ	27,59	≤ LQ	0,015	≤ LQ
GAV-15	M	2,666	0,161	≤LQ	-	≤ LQ	0,015	≤ LQ
GAV-15	F	2,326	0,209	≤LQ	-	≤ LQ	0,015	≤ LQ
GAV-16	S	1,638	0,134	≤LQ	3,03	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ
GAV-16	M	1,513	0,134	≤LQ	-	≤ LQ	0,015	≤ LQ
GAV-16	F	1,906	0,161	≤LQ	-	0,119	0,015	≤ LQ

Fonte: Autor, 2017

A seguir, será relacionado as concentrações encontradas com VMP de acordo com a legislação da Conama 357/2005 para mananciais de água doce, enquadrados em classe 2.

As concentrações de nitrogênio total presente em todas as amostras de água ultrapassam o VMP para quando N é limitante (1,27 mg/L de N), de acordo com o artigo 10, § 3º da CONAMA.

As concentrações de fósforo total presente em todas as amostras de água ultrapassam o VMP que é de 0,03 mg/L de P (para ambientes lântico).

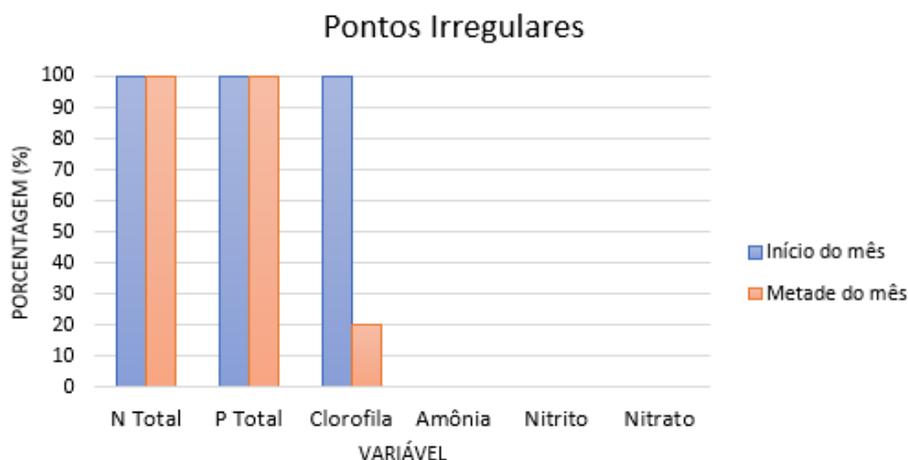
A concentração de clorofila **a** ultrapassou o VMP (30,0 µg/L) em todas as amostras da superfície (0,3m) do início do mês de maio e na região próxima a captação de água para estação de tratamento (GAV 05) no período da metade de maio.

A concentração de amônia, nitrito e nitrato nas amostras mantiveram abaixo do VMP (2,0 mg/L N-NH₃), (1,0 mg N-NO₂⁻/L) e (10,0 mg N-NO₃⁻/L), respectivamente.

Um tratamento de dados foi realizado para facilitar a visualização da quantidade

percentual de pontos irregulares (Gráfico 1), para isso, dividiu-se a quantidade de pontos acima do VMP com o total de pontos analisados para cada variável.

Gráfico 1 –Percentual de pontos irregulares



Fonte: Autor, 2017

É importante avaliar que, enquanto compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) apresentam ausência de pontos com concentrações acima do VMP os valores de nitrogênio total apresentam a totalidade dos pontos com concentrações acima do VMP, tal fato é justificado, pois ainda há a variável nitrogênio orgânico que contribui no somatório.

5.2 RAZÃO N/P

Ainda utilizando os dados das Tabelas 9 e 10, realizou-se a divisão da concentração entre N e P totais em mol/L (Tabela 11).

Tabela 11 - Razão N/P

Ponto	Símbolo	N/P	
		02/05/2017	15/05/2017
GAV-05	S	17,11	88,3
GAV-05	M	12,99	96,36
GAV-05	F	8,6	93,59
GAV-08	S	17,63	119,42
GAV-08	M	10,11	77,77
GAV-08	F	13,9	71,01
GAV-14	S	20,73	15,66
GAV-14	M	51,15	39,94
GAV-14	F	33,35	16,06
GAV-15	S	39,3	28,28
GAV-15	M	32,77	36,53

GAV-15	F	40,72	24,56
GAV-16	S	26,85	26,97
GAV-16	M	88,48	24,96
GAV-16	F	99,28	26,24

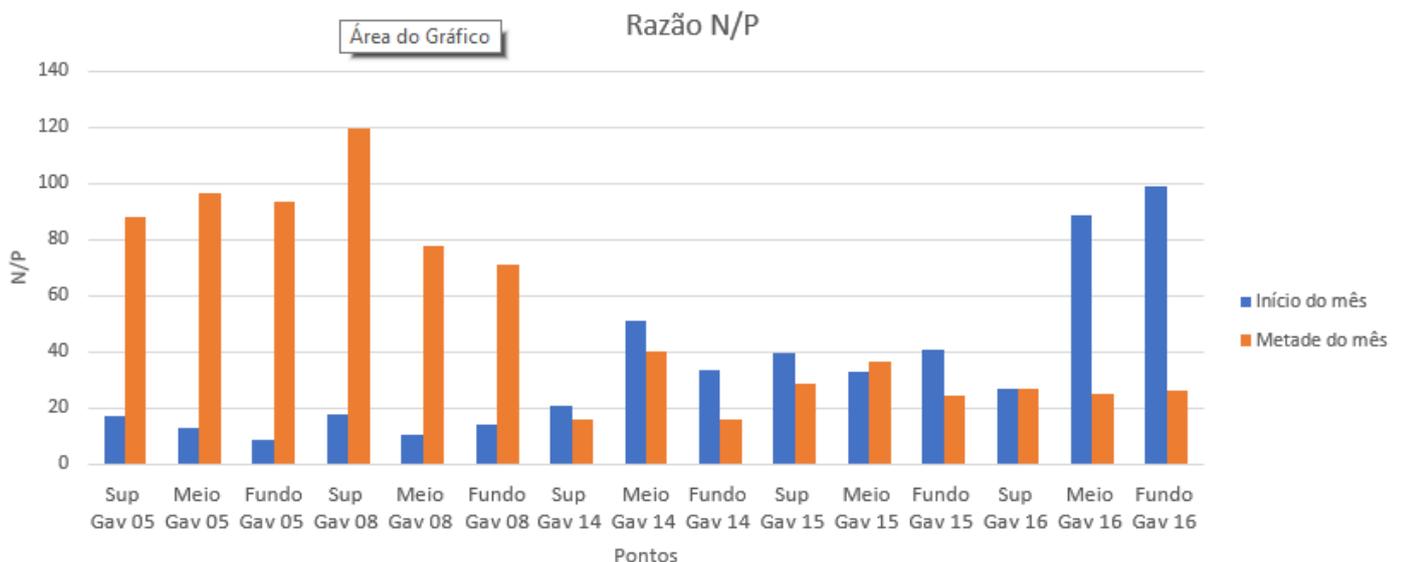
Fonte: Autor, 2017

Tomando como base a Tabela 3, que faz a relação N/P com o limitante, a tabela 5 e 6 que localiza as amostras, observou o seguinte comportamento:

- Os pontos localizados próximos à captação de estação de tratamento (GAV-05) e no centro do açude (GAV-08) eram inicialmente limitados pelo equilíbrio entre nutrientes, mas no decorrer de 15 dias passaram a ser limitados por nitrogênio.
- Os pontos localizados no meio do açude (GAV-14), na nascente do Rio Cocó (GAV-15) e na plataforma de bombeamento (GAV-16) eram inicialmente limitados por nitrogênio e permaneceram no decorrer de 15 dias.

O gráfico 2 relaciona a variação da razão N/P no decorrer do mês.

Gráfico 2: Mudanças na razão N/P



Fonte: Autor, 2017

A atuação do nitrogênio como nutriente limitante pode indicar a eutrofização de corpos hídricos tropicais por meio de descarga de esgoto doméstico conforme relata Von Sperling (2000).

5.3 AVALIAÇÃO DE ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO

Baseando-se no tratamento matemático para determinar o valor de IET, empregou-se as equações 2 e 3 citados anteriormente, e classificou o estado trófico (para reservatórios) pelo Índice de Carlson modificado por Toledo para amostras superficiais (0,3m) no início do mês (Tabela 12) e metade do mês (Tabela 13).

Tabela 12- IET no início do mês

PONTOS	IET(chl)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
GAV-05	68,44	75,44	71,94	Eutrófico
GAV-08	69,85	76,87	73,36	Eutrófico
GAV-14	69,77	76,62	73,20	Eutrófico
GAV-15	70,30	75,61	72,96	Eutrófico
GAV-16	68,36	72,74	70,55	Eutrófico

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 13- IET na metade do mês

PONTOS	IET(chl)	IET (PT)	IET	Estado Trófico
GAV-05	70,39	63,82	67,10	Eutrófico
GAV-08	54,01	66,79	60,40	Eutrófico
GAV-14	62,33	76,22	69,28	Eutrófico
GAV-15	67,07	74,87	70,97	Eutrófico
GAV-16	56,23	71,99	64,11	Eutrófico

Fonte: Autor, 2017.

É necessário ressaltar que optou por não classificar o estado trófico de alguns pontos pela ausência do IET da clorofila, tal ausência é justificada, pois os pontos situam-se fora da zona eufótica, onde há menor incidência de luz, logo, escassa concentração de clorofila pela ausência de seres autotróficos.

Em uma análise bem generalista, observou um comportamento uniforme dos pontos coletados no início e metade do mês, indicando que o açude está com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos (VON SPERLING, 1994). A seguir será levantado comparações entre os pontos em relação a profundidade e posição geográfica.

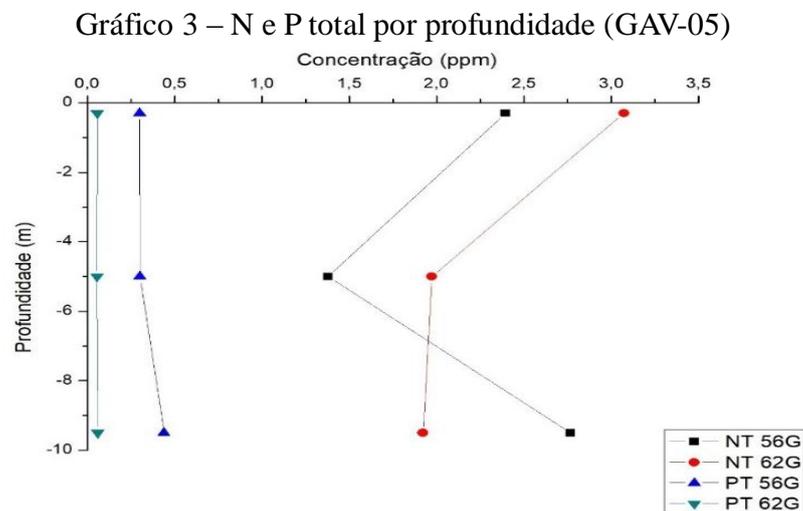
5.3.1 Avaliação vertical

Partindo das informações contidas na Tabela 6, a respeito da profundidade dos pontos, e nas Tabelas 9 e 10, a respeito do valor das concentrações de N e P totais, percebe-se que a medida que aumenta a profundidade, em uma mesma coordenada geográfica, a concentração

do fósforo total aumentou, levando a um estado trófico mais crítico, porém a variação foi relativamente baixa quando comparado aos componentes nitrogenados (Gráficos 3 a 7).

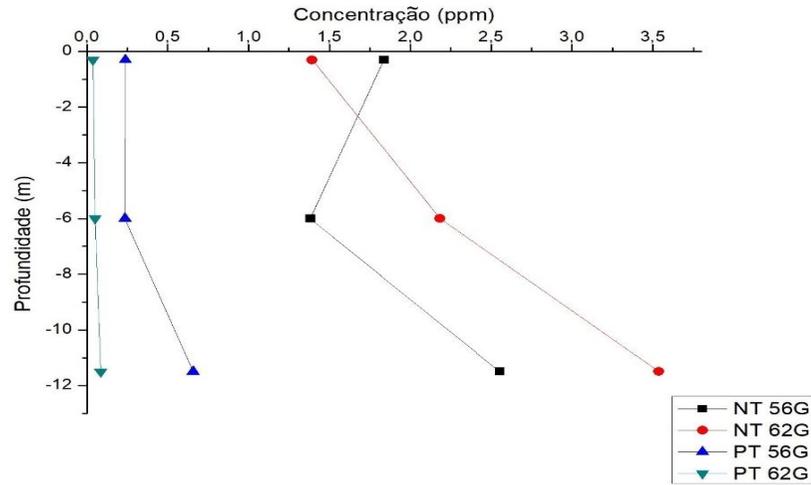
Alguns fatores que podem explicar esse comportamento do P total é a presença de fitoplâncton e outras espécies autotróficas que assimilam o fosfato livre na superfície açude, o que reduz a concentração a baixas profundidades; além disso, o fósforo pode precipitar em presença de metais, como Fe^{3+} , concentrando em profundidades mais altas.

Com relação a concentração de nitrogênio total, a variação dos valores de uma profundidade a outra foi relativamente maior, porém, não foi possível estabelecer um comportamento padrão entre as coordenadas, devido à grande quantidade de variáveis, como nitrito, amônia, nitrato, que se soma no grupo de N total, porém se pode afirmar que, na maioria das vezes, a concentração foi maior em altas profundidades.



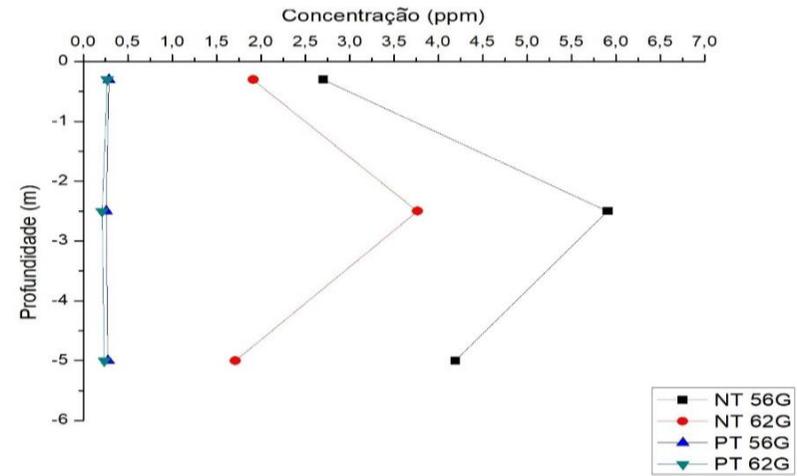
Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 4 – N e P total por profundidade (GAV-08)



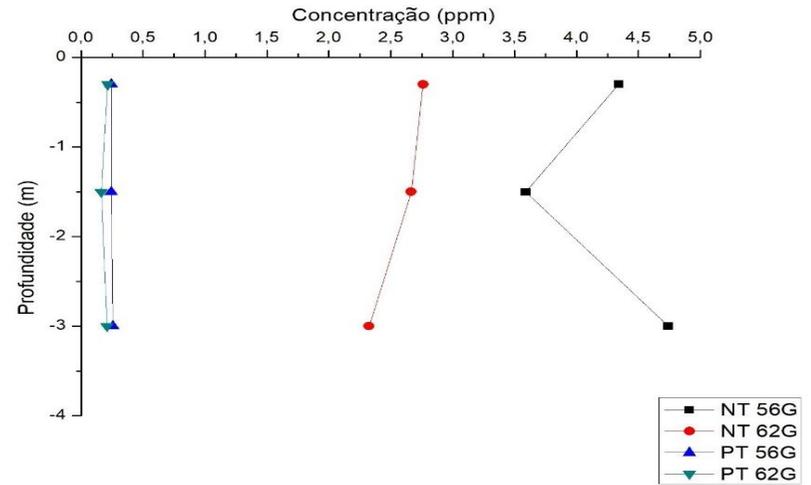
Fonte:Autor, 2017

Gráfico 5 – N e P total por profundidade (GAV-14)



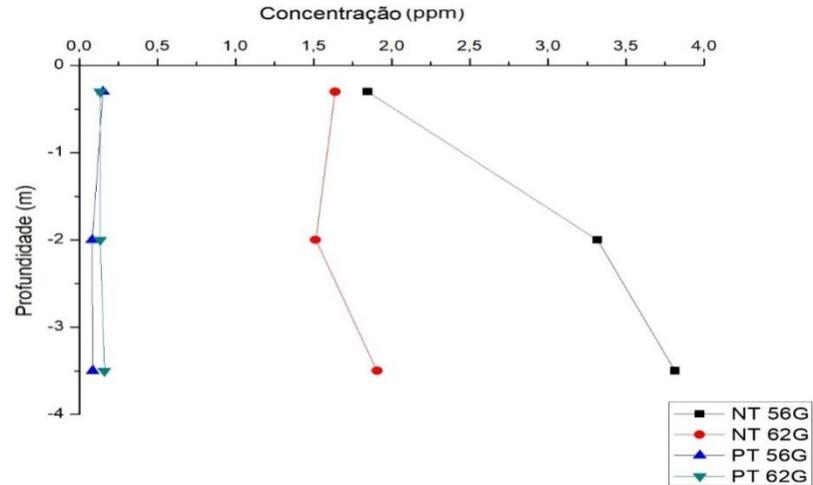
Fonte:Autor, 2017

Gráfico 6 – N e P total por profundidade (GAV-15)



Fonte:Autor, 2017

Gráfico 7 – N e P total por profundidade (GAV-16)

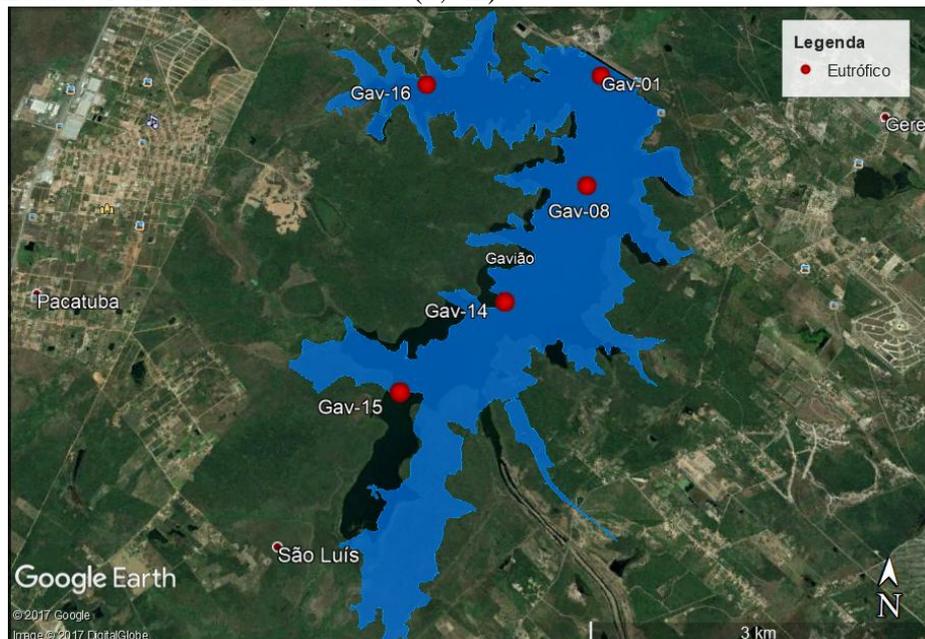


Fonte:Autor, 2017

5.3.2 Avaliação horizontal

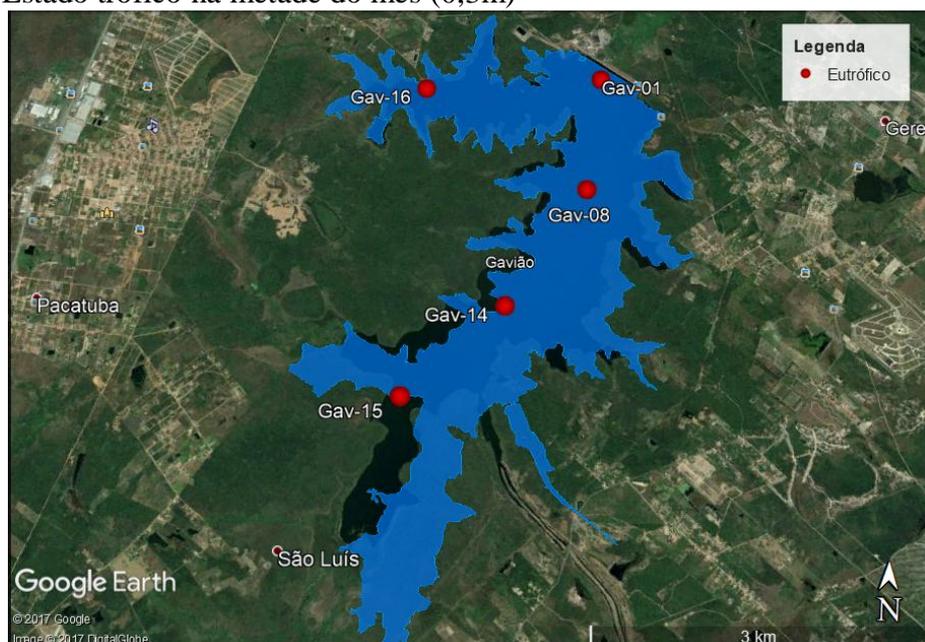
Tomando como base a profundidade de 0,3 m, é possível visualizar nas Figuras 5 e 6 que a primeira coleta, início do mês, apresentou um estado trófico praticamente constante na superfície hídrica, sendo classificado como eutrófico. Com relação a coleta na metade de maio, observou-se a manutenção do grau de trofia.

Figura 5 – Estado trófico no início do mês (0,3m)



Fonte: Google maps©

Figura 6 – Estado trófico na metade do mês (0,3m)



Fonte: Google maps©

Em uma análise quantitativa do IET, Gráfico 8 percebeu uma redução nos valores de

todas regiões no decorrer da quinzena, porém, foi uma redução irrelevante, haja visto que todos os pontos são classificados como eutrófico.

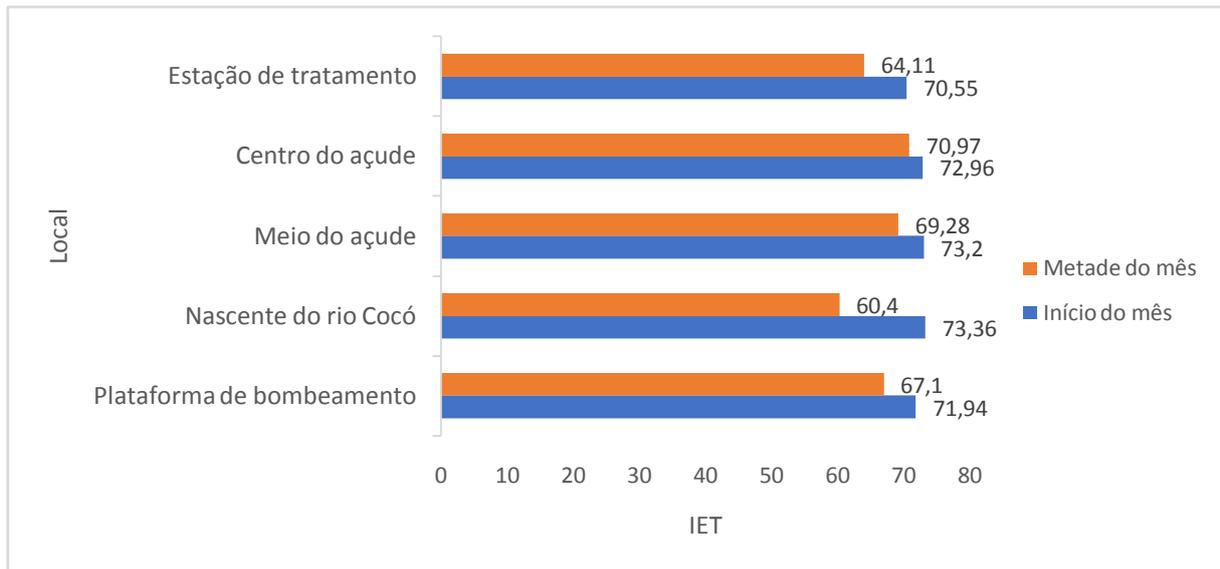


Gráfico 8: Valores de IET (0,3m)

Fonte: Autor, 2017

06 CONCLUSÃO

A partir das concentrações determinadas nas Tabelas 9 e 10 e os limites de valor máximo permitido, foi possível determinar as regiões do açude com concentração irregulares, de modo que:

- Todos os pontos coletados apresentaram N e P total acima do VMP, tanto no início como na metade de maio,
- As amostras superficiais apresentaram concentrações de clorofila **a**, estavam acima do VMP no início do mês, mas entraram em conformidade no decorrer da quinzena, exceto na região de captação da estação de tratamento de água,
- As concentrações de amônia, nitrato e nitrito estavam abaixo do VMP e, sua grande maioria, estava abaixo do limite de quantificação.

Os valores da razão N/P permitiram identificar o nutriente responsável pela limitação do crescimento algal, de modo que, os pontos localizados próximos à captação de estação de tratamento (GAV-05) e no centro do açude (GAV-08) eram inicialmente limitados pelo equilíbrio entre nutrientes, mas no decorrer de 15 dias passaram a ser limitados por nitrogênio. Com relação aos pontos localizados no meio do açude (GAV-14), na nascente do Rio Cocó (GAV-15) e na plataforma de bombeamento (GAV-16) eram inicialmente limitados por nitrogênio e permaneceram no decorrer de 15 dias.

Os valores de índice de estado trófico calculados em todos os pontos e dias do açude Gavião apresentou um estado eutrófico, possuindo assim alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.

Com esses dados é possível se prever um aumento dos custos nas estações de tratamento, já que em altas concentrações de nutrientes, ocorre o aumento do grau de trofia da água, sendo demandado maior quantidade de produtos químicos para tornar a água potável.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al. APHA. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st ed. American Public Health Association, Washington DC, 1220p.
- BARROS, Lilian Rodolfo. **O Índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense**. 2013. Tese de Doutorado.
- BRAGA, Érika de Almeida Sampaio. **Determinação dos compostos inorgânicos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total, na água do açude gavião, e sua contribuição para a eutrofização**. 2006. Tese de Doutorado.
- CAMPOS, José Nilson Bezerra; MOTA, Francisco Antônio; CAMPOS, Vanessa Ribeiro. **O custo da garantia da água bruta: o caso dos rios intermitentes do Ceará**. 2009.
- CAMPOS, José Nilson Bezerra. **Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas**. Planejamento e Políticas públicas, n. 16, 2009.
- CARLSON, R. E. **A trophic state index for lakes**. Contribution no 141. Limnological Research Center. University of Minnesota, Minneapolis, 1974. p.17.
- CONAMA, N°. 357/2005- " **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**." Data da legislação, v. 17, n. 03, 2005.
- DI BERNARDO, Luiz et al. Métodos e técnicas de tratamento de água. In: **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Abes, 1993
- EPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **the history of drinking water treatment**. EPA-816-F-00-006, February 2000. disponível em <http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/hist.pdf>.
- ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interface, 2010.
- INTEGRAÇÃO. **Semiárido brasileiro**. Disponível em <http://www.integracao.gov.br/semiario-brasileiro>>. Acesso em: 17 Nov. 2017
- Kratzer, C. R. & Brezonick, P. L. A. 1981. **A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes**. Water Res. Bull., 17: 713-714.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIMA, Isabelly Silva. **Caracterização física, química e biológica da água na sub-bacia B1, do Rio Cocó, Fortaleza-CE, com ênfase nos aspectos da poluição ao longo de um ciclo climático.** 2012. Tese de Doutorado.

MERCANTE, C. T. J.; TUCCI-MOURA, A. **Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP.** Acta Limnologica Brasiliensia, v. 11, n. 1, p. 1-14, 1999.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reuso.** Oficina de Textos, 2005.

OLIVEIRA, A, C, B. **Avaliação da qualidade das águas do açude Santo Anastácio.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Química, Fortaleza, 2013.

PAULINO, Walt Disney; OLIVEIRA, Rafael Reis Alencar; AVELINO, Francimeyre Freire. **Classificação do estado trófico para o gerenciamento de reservatórios no semiárido: a experiência da cogerh no estado ceará. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XX,** 2013. SHREVE, R. N.; BRINK Jr., J. A. **Indústrias de processos químicos.** 4. ed Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

POHLING, Rolf. **Reações químicas na análise de água.** Arte Visual, 2009.

SHREVE, Randolph Norris; BRINK, Joseph A. **Indústrias de processos químicos.** In: **Indústrias de processos químicos.** Guanabara Dois, 1980.

SMITH, Val H.; TILMAN, G. David; NEKOLA, Jeffery C. **Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems.** Environmental pollution, v. 100, n. 1, p. 179-196, 1999.

SPERLING, Eduardo von et al. **Uso de relações limnológicas para avaliação da qualidade da água em mananciais de abastecimento.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21 Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4. ABES, 2001. p. 1-3.

TONÉ, Arthur Jordan de Azevedo. **Análise e modelagem de fósforo em reservatórios localizados em regiões semiáridas.** 2016. Tese de Doutorado.

TOLEDO, Alcibiades Pacheco de et al. **Aplicação de modelos simplificados para avaliação do processo da eutrofização em lagos reservatórios tropicais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12. CETESB, 1983. p. 1-34.

TOLEDO, Cristian Epifânio de. **Conectividade hidrológica em ambiente semiárido: estudo de caso bacia hidrográfica do açude Orós**. 2013. Tese de Doutorado.

TRUSSELL, R. P. **The Percent Un-Ionized Ammonia in Aqueous Ammonia Solutions at Different p H Levels and Temperatures**. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, v. 29, n. 10, p. 1505-1507, 1972.

VIDAL, Tician Fontoura. **Balço de macronutrientes no Açude Gavião/CE: uma nova abordagem**. 2011. Tese de Doutorado.

VIDAL, Tician Fontoura; NETO, José Capelo. **Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da região metropolitana de Fortaleza/CE**. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 10, n. 2, 2014.

VIDAL, Tician F.; CAPELO NETO, José. **Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa**. 2014.

VON LIEBIG, Justus Freiherr. **Principles of agricultural chemistry: With special reference to the late researches made in England**. Walton & Maberly, 1855.

ANEXO A- Dados do início de maio

AMOSTRA	Prof	NT	CV	PT	%CV	P-PO4	%CV	CHL	N-NH3	%CV	N-NO2	%CV	N - N03	CV
GAV-05	S	1,837	6,4	0,237	5,9	≤LQ	-	36,46	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-05	M	1,382	4,5	0,235	5,6	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-05	F	2,553	5,5	0,656	6,9	0,191	1,0	-	0,841	0,0	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-08	S	2,395	5,4	0,300	4,6	≤LQ	-	48,62	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-08	M	1,379	5,4	0,301	5,3	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-08	F	2,764	1,7	0,440	6,6	0,059	2,2	-	0,397	3,4	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-14	S	2,703	0,8	0,288	9,8	0,016	3,0	47,86	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-14	M	5,908	7,6	0,255	7,0	0,019	5,6	-	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-14	F	4,191	5,5	0,278	5,4	0,019	2,1	-	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-15	S	4,341	1,3	0,244	4,9	≤LQ	-	53,30	≤LQ	-	≤LQ	-	0,064	3,3
GAV-15	M	3,590	5,1	0,242	4,9	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	0,063	2,3
GAV-15	F	4,738	2,0	0,257	5,7	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	0,059	0,1
GAV-16	S	1,846	2,5	0,152	5,1	≤LQ	-	35,84	≤LQ	-	≤LQ	-	0,055	3,9
GAV-16	M	3,317	1,6	0,083	5,9	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	0,057	4,7
GAV-16	F	3,812	5,9	0,085	8,0	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	0,847	1,4

ANEXO B- Dados da metade de maio

AMOSTRA	Prof	NT	CV	PT	%CV	P-PO4	%CV	CHL	N-NH3	%CV	N-NO2	%CV	N - N03	CV
GAV-05	S	1,393	8,4	0,035	4,7	≤LQ	-	54,24	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-05	M	2,185	4,0	0,050	8,4	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-05	F	3,538	5,0	0,084	3,2	≤LQ	-	-	0,472	2,2	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-08	S	3,073	0,8	0,057	3,5	≤LQ	-	1,92	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-08	M	1,973	3,7	0,056	2,0	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-08	F	1,922	6,4	0,060	3,5	≤LQ	-	-	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-14	S	1,912	0,1	0,270	6,0	≤LQ	-	10,50	≤LQ	-	0,015	0,5	≤LQ	-
GAV-14	M	3,766	5,7	0,208	4,8	≤LQ	-	-	≤LQ	-	0,015	1,0	≤LQ	-
GAV-14	F	1,716	1,9	0,236	5,2	≤LQ	-	-	≤LQ	-	0,015	0,8	≤LQ	-
GAV-15	S	2,761	9,6	0,216	3,0	≤LQ	-	27,59	≤LQ	-	0,015	0,9	≤LQ	-
GAV-15	M	2,666	0,5	0,161	4,6	≤LQ	-	-	≤LQ	-	0,015	0,4	≤LQ	-
GAV-15	F	2,326	3,2	0,209	5,2	≤LQ	-	-	≤LQ	-	0,015	0,3	≤LQ	-
GAV-16	S	1,638	7,8	0,134	5,3	≤LQ	-	3,03	≤LQ	-	≤LQ	-	≤LQ	-
GAV-16	M	1,513	6,6	0,134	6,4	≤LQ	-	-	≤LQ	-	0,015	0,4	≤LQ	-
GAV-16	F	1,906	4,2	0,161	7,4	≤LQ	-	-	0,119	4,1	0,015	0,3	≤LQ	-

