

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB

CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**CARLOS EDUARDO FERREIRA DA COSTA
MARQUES**

ANÁLISE DA EUTROFIZAÇÃO NO LAGO PARANOÁ

**Brasília,
2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA/IB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/IG
INSTITUTO DE QUÍMICA/IQ
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA/ECO
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL/CDS**

ANÁLISE DA EUTROFIZAÇÃO NO LAGO PARANOÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade de Brasília-UnB, como requisito para a conclusão do curso de Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. José Francisco Júnior

Coorientador (a): Claudia Fonseca Padovesi

Supervisor: Guilherme Sena

**Brasília, DF
Dezembro de 2017**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
IB/IQ/IG/CDS/ECO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DA EUTROFIZAÇÃO NO LAGO PARANOÁ

CARLOS EDUARDO FERREIRA DA COSTA MARQUES

**MONOGRAFIA APRESENTADA À UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA -
UNB, COMO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
BACHAREL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS.**

APROVADA POR:

Prof. José Francisco Júnior, IB/UnB.

Orientador

Gustavo Macedo de Mello Baptista, IG/UnB.

Examinador

Brasília/DF, Dezembro de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

MARQUES, CARLOS.

Análise da Eutrofização no Lago Paranoá.

Consumo de Água no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília-
Estudo de

Medidas para Redução de Perdas [Distrito Federal] 2016.

xiii 59 p, 210 x 297 mm (IB/IG/IQ/CDS/ECO/UnB, Bacharel, Ciências Ambientais, 2017).

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília.
IB/IG/IQ/CDS/ECO.

1. Recursos Hídricos
2. Lago Paranoá
3. Eutrofização

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARQUES, C. Análise da Eutrofização no Lago Paranoá. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Biologia, Instituto de Geociências, Instituto de Química, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Departamento de Economia, Universidade de Brasília. Brasília, 2017. 60p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Carlos Eduardo Ferreira da Costa Marques TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da Eutrofização no Lago Paranoá. GRAU / ANO: Bacharel em Ciências Ambientais / 2017

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Conclusão de Curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Carlos Eduardo Ferreira da Costa Marques

RESUMO

Os corpos hídricos tem sido ao longo do tempo usados como depósito de efluentes e resíduos, causando a sua deteriorização. Esses efluentes, principalmente nitrogênio e fósforo em concentrações elevadas, podem acelerar a eutrofização que ocorre de modo natural. Tais mudanças podem influenciar o funcionamento do ecossistema aquático, como também afetar o uso para atividades antrópicas. O índice de estado trófico (IET) foi medido a partir do fósforo total, uma vez que este nutriente é considerado o mais relevante para o diagnóstico da eutrofização, com o respaldo legal da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/05 que legisla sobre os valores máximos nos corpos hídricos, dividindo-os em classes e usos possíveis de acordo com suas características. Observou-se de maneira geral uma diminuição dos valores de fósforo no lago, embora ainda acima do permitido pela Resolução 357 da CONAMA 357/05. Com o IET, o lago foi categorizado como mesotrófico, ainda permitindo seu uso sem maiores restrições. Entretanto, em alguns pontos, a concentração de fósforo foi maior, classificando-os como eutróficos. Assim, sugere-se medidas que visem melhorar a qualidade da água, tais como o *flushing* e principalmente o investimento maior em saneamento básico, outrora já executados para amenizar as concentrações de fósforo em outros países, mostrando resultados relevantes.

ABSTRACT

The bodies of water have been over time used as deposit of effluents and residues, causing their deterioration. These effluents, especially nitrogen and phosphorus at high concentrations, can accelerate naturally the eutrophication. Such changes can influence the functioning of the aquatic ecosystem, as well as affect the use for anthropic activities. The trophic status index (EIT) was measured from the total phosphorus, because this nutrient is considered the most relevant for the diagnosis of eutrophication, with the legal support of CONAMA Resolution 357/05 that legislates on the maximum values in the bodies of water, dividing them into classes and possible uses according to their characteristics. There was a general decrease in phosphorus values in the lake, although still higher than allowed by Resolution 357 of CONAMA 357/05. With the EIT, the lake was categorized as mesotrophic, still allowing its use without major restrictions. However, in some points, the concentration of phosphorus was higher, classifying them as eutrophic. Thus, actions to improve water quality, such as flushing, and especially the increased investment in basic sanitation, once implemented to reduce phosphorus concentrations in other countries, are suggested, showing relevant results.

AGRADECIMENTOS

Essa monografia, como a minha vinda para o Distrito Federal, entrada e permência no curso de Ciências Ambientais contou a colaboração de várias pessoas, de diferentes formas, mas todas de forma muito importante.

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família, pois sem ela nada seria, sempre me apoiaram nos momentos mais complicados, dando o suporte necessário para concluir mais uma etapa da minha vida. Ressalto a presença da minha mãe, Dayse, irmã Catharina, pai, Luiz Carlos e tia Denise. Estes foram fundamentais durante a minha graduação, enalteço entre eles, minha mãe, pois ela fisicamente e pelos seus ensinamentos, sempre me guiou nas decisões de fiz na vida.

Ao chegar na Universidade de Brasília, conheci muitas pessoas, alunos, servidores e professores. Sou grato a todos, cada um da sua forma, pois entendo que cada um contribuiu para o meu amadurecimento como acadêmico e pessoa dentro desta universidade. Entre todos enalteço alguns, a Vitória Cândido, o Mário Oliveira, Pedro Araújo, Igor Costa, Gabriela Cardoso, Guilherme Sena, e os professores Pedro Zuchi, Luciano Soares, Gustavo Baptista, Cláudia Padovesi, Maria Murta, Fernando Sodré, Rejane Cicerelli e o meu orientador Francisco Júnior.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências.

FIGURA 2- Exemplos de aportes de substâncias que adentram os corpos hídricos.

FIGURA 3- Balanço de oxigênio dissolvido nos sistemas aquáticos: os processos acelerados ou aumentados pela descarga de materiais orgânicos são indicados por setas verdes.

FIGURA 4- Percentual de fósforo nos corpos hídricos para as principais fontes contribuintes no Estado de São Paulo.

FIGURA 5- Ciclo global do nitrogênio.

FIGURA 6- Esquema das principais etapas do ciclo do nitrogênio no ecossistema aquático.

FIGURA 7- Relação entre as Classes dos Corpos Hídricos e suas Respectivas Atividades.

FIGURA 8- Detalhamento da litoestratigrafia do grupo Paranoá na região do Distrito Federal, indicando o ciclo transgressivo (CT), o primeiro ciclo regressivo (ICR) e o segundo ciclo regressivo (IICR).

FIGURA 9- Projeção da população do Distrito Federal.

FIGURA 10- Expansão da mancha urbana no DF (1995 a 2000).

FIGURA 11- Expansão da mancha urbana do DF (2000 a 2007).

FIGURA 12- Condições da qualidade da água no Lago Paranoá nas décadas de 70 e 80.

FIGURA 13- Condições da qualidade da água no Lago Paranoá nas décadas de 90.

FIGURA 14- Condições da qualidade da água no Lago Paranoá em janeiro de 2016.

FIGURA 15- Uso e ocupação da área de estudos.

FIGURA 16- Carta de Unidades Hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá, sem escala.

FIGURA 17- Lago Paranoá (DF), com pontos de coleta nos respectivos braços: Riacho Fundo (A), Gama (B), Bananal (E), Torto (D), e corpo central (C).

FIGURA 18- Mapa Pedológico Simplificado do DF.

FIGURA 19- Mapa Geológico da Bacia do Lago Paranoá

FIGURA 20- Imagem dos Pontos de Amostragem: Ponto 1 (Calçadão da Asa Norte); Ponto 2 (Ermida Dom Bosco); Ponto 3 (Iate Clube);

Ponto 4 (Minas Tênis Clube); Ponto 5 (Ponte Honestino Guimarães); Ponto 6 (Ponte das Garças); Ponto 7 (Ponte JK); Ponto 8 (Prainha Lago Norte); Ponto 9 (Barragem de Santa Maria); Ponto 10 (Ribeirão do Gama); Ponto 11 (Barragem do Lago Paranoá)

FIGURA 21- Mapa Hidrogeológico da Bacia do Lago Paranoá.

FIGURA 22- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Calçada da Asa Norte.

FIGURA 23- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Ermida Dom Bosco.

FIGURA 24- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Iate Clube.

FIGURA 25- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Minas Tênis Clube.

FIGURA 26- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Ponte Honestino Guimarães.

FIGURA 27- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Ponte das Garças.

FIGURA 28- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Ponte JK.

FIGURA 29- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Prainha Lago Norte.

FIGURA 30- Variação IET e Fósforo Total (FT)-Barragem Santa Maria

FIGURA 31- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Barragem Paranoá

FIGURA 32- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Lago Paranoá.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Relação entre os tipos de uso e ocupação do solo, com os impactos que podem ser causados aos corpos hídricos.

TABELA 2- Caracterização das fontes difusas de poluição.

TABELA 3- Efeitos da eutrofização.

TABELA 4- Alguns parâmetros de qualidade da água.

TABELA 5- Alguns parâmetros físico-químicos de qualidade da água.

TABELA 6- *Relação dos diferentes estados tróficos com suas respectivas características atreladas aos corpos hídricos*

TABELA 7- Classificação do Estado Trófico

TABELA 8- Evolução populacional do Distrito Federal- população urbana e rural (1970 a 2010).

TABELA 9- População em regiões administrativas do DF

TABELA 10- Uso e Ocupação do solo no DF Relacionada à Porcentagem de utilização da água da Bacia do Rio Paranoá

TABELA 11- Índice de Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário

TABELA 12- Fases limnológicas do Lago Paranoá

TABELA 13- Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias.

TABELA 14- Fósforo Total- Lago Paranoá

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 POLUIÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS.....	10
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EUTROFIZAÇÃO.....	14
1.3 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	19
1.4 INDÍCE DE ESTADO TRÓFICO.....	26
1.5 HISTÓRICO DO LAGO PARANOÁ.....	30
2. METODOLOGIA	40
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	40
2.2 PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	45
2.3 CÁLCULO DO IET.....	46
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1 RESULTADOS.....	45
3.2.DISCUSSÃO.....	53
4 CONCLUSÃO	54
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

1.1 Poluição dos Corpos Hídricos

A água é um recurso natural vital para a vida na Terra. Embora este recurso esteja ocupando aproximadamente 75% da área total no planeta, apenas três por cento do volume é apropriado para o consumo humano, e desta parcela, 0,03% está presente em mananciais superficiais (COSTA, 2014). Os aumentos exponenciais das populações, e as intervenções antrópicas sem planejamento adequado são os principais agentes causadores da contaminação dos corpos hídricos (Figura 1; AMORIM et al. 2013). Esse processo ocorre por meio do derramamento em excesso de substâncias nos ecossistemas aquáticos, causando alterações na água (BAPTISTA & NETO, 1999; Figura 2). Sant'Anna & Silveira (1990) abordaram a poluição hídrica de duas formas, sanitária e ecológica. A abordagem sanitária é interpretada como toda alteração química, física ou biológica que influencie o homem negativamente. A ecológica pode ser definida pela ruptura funcional do ecossistema. Os rios são um dos ecossistemas aquáticos que tem sido comumente usados como depósito, devido, ao despejo, de esgoto doméstico, de águas residuárias da agropecuária e da indústria (NETO & FERREIRA, 2007). As consequências dessas modificações podem ser vistas no decréscimo dos parâmetros de qualidade ambiental para os organismos aquáticos, e na disseminação de doenças para os humanos pelo contato com águas contaminadas (BRAGA et al. 2005).

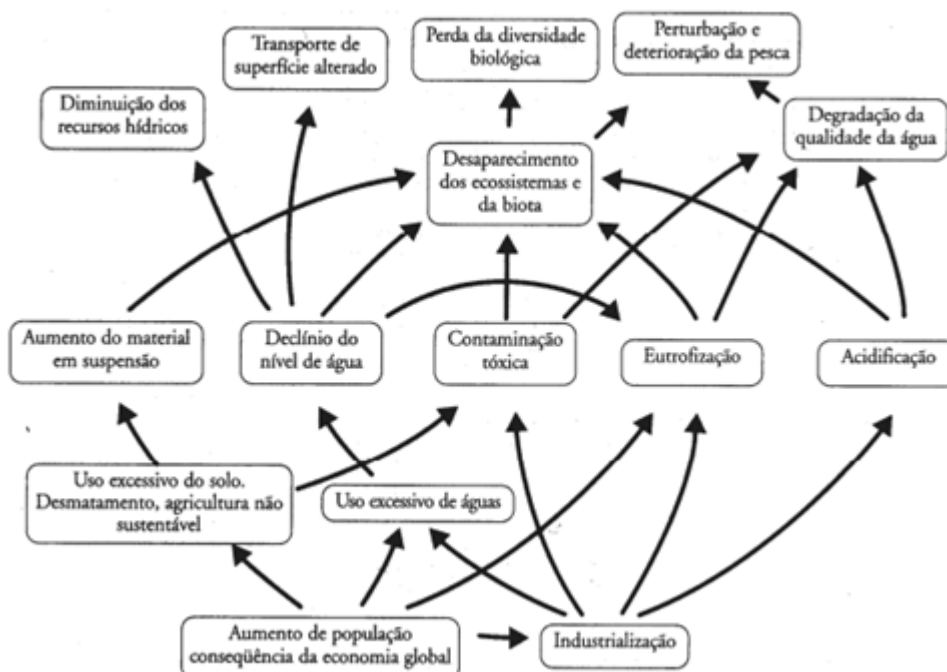


Figura 1- Principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências. (Fonte: TUNDISI et al. 2002).



Figura 2- Exemplos de aportes de substâncias que adentram os corpos hídricos. (Fonte: <http://poluicao-e-tratamento-agua.blogspot.com.br/2012/05/poluicao-nos-lagos.html>).

A poluição nos corpos d'água pelo escoamento superficial é criada, sobretudo pela forma de ocupação do solo (Tabela 1; AHLMAN, 2006). Existem distinções na geração de poluentes entre as zonas urbanas, comerciais, industriais e comerciais. As áreas residenciais, mais populosas, apresentam mais locais impermeabilizados, e por isso, ocasionam escoamentos mais rápidos e com maior capacidade de carregamento, à medida que, nas áreas residenciais menos populosas o escoamento é menos intenso. Tudo isso acarreta em uma diferenciação dos poluentes e dos danos causados (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2005).

Tabela 1–Relação entre os tipos de uso e ocupação do solo, com os impactos que podem ser causados aos corpos hídricos (Fonte: COSTA, 2013).

Uso e Ocupação dos Solos	Impactos nos Recursos Hídricos
Urbano	<p>Modifica o ciclo hidrológico por meio da construção de ruas pavimentadas, telhados, calçadas, e pátios, que oferecem menor resistência ao escoamento superficial e diminui a infiltração no solo. Como consequência, há o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, alterando o hidrograma na redução no tempo e do escoamento de base, aumentando a vazão de pico (GARCIA, 2005).</p>
	<p>Altera a qualidade dos corpos hídricos, principalmente devido ao lançamento de esgotos domésticos <i>in natura</i>, como também resíduos sólidos urbanos, oriundos também das atividades comerciais com a presença de</p>

	<p>elementos tóxicos, como oficinas de veículos.</p>
	<p>Provoca o aumento da produção de de sedimentos (MINELLA & MERTEN, 2006).</p>
Agrícola	<p>Induz o desmatamento das bacias hidrográficas, desenvolve processos erosivos do solo, empobrecimento das pastagens nativas, e a redução nas reservas de água do solo (REBOUÇAS, 2006).</p>
	<p>Provoca o aumento da produção de de sedimentos (MINELLA & MERTEN, 2006).</p>
Industrial	<p>Lançam a cada ano, entre 300 e 400 milhões de toneladas de metais pesados, solventes, iodo tóxico, e resíduos sólidos (ANA & PNUMA, 2011).</p>
Atividades de Perfuração e Mineração	<p>Geram desmatamento e grandes movimentações de terra, resultando na erosão do solo, no carreamento de materiais para os corpos d'água (BONUMÁ et al. 2008).</p>
	<p>Aumentam o nível de alguns micropoluentes tóxicos, entre eles, os metais pesados (SPERLING, 2005).</p>
	<p>Liberam grandes quantidades de resíduos e subprodutos quando há falta de mecanismos adequados para o descarte final</p>

O volume da poluição é determinada como o resultado entre a concentração do poluente e a vazão de descarga em um período definido. Majoritariamente, a mensuração da concentração dos parâmetros de qualidade da água são feitas discretamente e intervaladas, no decorrer do tempo, todavia, a vazão é analisada frequentemente (COSTA, 2013). A poluição nos corpos hídricos pode ocorrer de forma pontual ou difusa (Tabela 2). A pontual geralmente é encontrada nas indústrias e estações de tratamento de esgoto, sendo de fácil identificação e controle (ARAÚJO, 2005). A difusa se deve ao escoamento superficial distribuído pela bacia hidrográfica, caracterizando-se por meio da grande distinção na concentração dos poluentes nas águas, mudando seu impacto de acordo com a precipitação, principalmente em áreas urbanas (PORTO, 1995). Mesmo com

a infraestrutura nas áreas urbanas, as cargas lançadas pontualmente por meio da rede de saneamento implicam na introdução dos poluentes de forma pontual nos corpos hídricos (ponto de descarga).

Tabela 2- Caracterização das fontes difusas e pontuais de poluição (Fonte: Adaptado de Novotny, 1991).

Fontes Pontuais	Fontes Difusas
Lançamento em locais específicos nos corpos d'água.	Lançamento de carga poluidora intermitente
São mais fáceis de serem identificadas.	Poluentes levados para áreas extensas
As emissões pontuais são mais fáceis de serem reduzidas.	Os efluentes poluidores e incapazes de serem monitorados desde a sua origem precisa, pois identificação da fonte é difícil
São lançamentos de esgotos domésticos não tratados ou parcialmente tratados, bem como os efluentes industriais, minas subterrâneas e navios petroleiros.	Necessidade de iniciativas de controle da poluição difusa no local que ocorre, ao invés de apenas realizar monitoramento do despejo.
Maior ocorrência em países em desenvolvimento,	Determinação dos padrões de qualidade para efluentes é algo complexo, pois o seu volume muda conforme a intensidade, pluviometria, extensão da área, entre outros aspectos que possam alterar a relação entre vazão e concentração do poluente

A introdução de fontes poluentes acaba por alterar o equilíbrio bioquímico presente nos ecossistemas aquáticos. Uma das consequências desse processo reflete na concentração de oxigênio, um dos gases essenciais presentes na água, e o mais indispensável para as reações bioquímicas (ESTEVES, 2011). As mais importantes origens desse elemento para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Entretanto, suas perdas estão associadas a decomposição da matéria orgânica (oxidação), difusão, respiração, nitrificação, por exemplo (Figura 3). A alteração das condições normais nos ambientes lóticos podem desencadear ou aumentar a eutrofização, onde esses processos são beneficiados por aspectos físicos. Nos lênticos, a eutrofização acontece com menor frequência (PIRES, 2004).

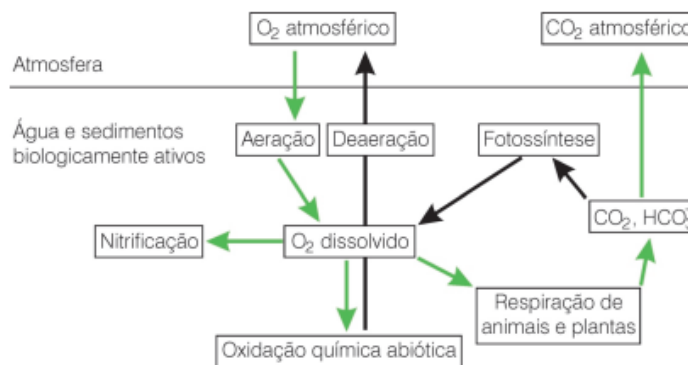


Figura 3- Balanço de oxigênio dissolvido nos sistemas aquáticos: os processos acelerados ou aumentados pela descarga de materiais orgânicos são indicados por setas verdes. (Fonte: Adaptado de CONNELL, 1997).

1.2 Contextualização da Eutrofização

As primeiras pesquisas envolvendo os nutrientes e a produtividade aquática surgiram no começo no século XX, na Europa (SCHINDLER, 2006). O termo eutrofia significa aumento da fertilidade nos ecossistemas aquáticos continentais e foi empregado inicialmente por piscicultores alemães. Eles inseriam carbonato de cálcio nos tanques de piscicultura, situados em solos ácidos. A introdução de carbonato de cálcio ocasionava no aumento de pH do meio e da produção global do sistema. Quando os tanques de piscicultura elevavam sua eficiência eram denominados eutróficos (“Eutrophic”) e o procedimento chamado eutrofia (“Eutrophie”) (ESTEVES, 2011). A eutrofização primordialmente foi considerada uma importante questão a ser analisada, principalmente pelas populações adjacentes a lagos. Isso aconteceu pelo aumento da quantidade de algas, e posteriormente a mortandade progressiva dos peixes. A partir disso foram tomadas medidas para remediar esse fenômeno, sendo usado o sulfato de cobre ou herbicidas. Apenas na segunda metade do século XX, os cientistas conseguiram relacionar a eutrofização com a concentração progressiva de compostos de nitrogênio e fósforo derivados das atividades antrópicas, nas proximidades dos corpos hídricos (SCHINDLER, 2006).

A eutrofização pode ser definida pelo aumento da oferta de nutrientes (compostos de nitrogênio e fósforo) em um corpo d’água. A partir disso, os corpos aquáticos podem ser considerados oligotróficos (menor concentração), mesotrófico (concentração intermediária), eutrófico (alta concentração), e hipereutróficos (altíssima concentração) (ESTEVES, 2011). Naturalmente a eutrofização está relacionada com maiores temperaturas e intervalos de seca, que, aumentam a evaporação da água e ocasionam o aumento da concentração dos nutrientes (JARDIM *et al.*, 2007). A eutrofização resulta na redução na transparência da água por causa da proliferação de algas e, posteriormente, outros microrganismos (ESTEVES, 1998). Estes organismos, como as cianobactérias podem causar sabor, odor ou produzir substâncias tóxicas ao ser humano (SMAHA & GOBBI, 2003). BERTRAM *et al.* (1999) afirmam que aproximadamente 41% dos corpos hídricos na América do Sul estão eutrofizados.

Um dos resultados da eutrofização, é diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido na água, que por sua vez eleva rapidamente a perda da diversidade biológica (BAPTISTA, 1994). Em regiões de clima tropical e subtropical, a temperatura é maior do que seria limitante ao crescimento, por isso não apresenta efeitos relevantes na expansão da comunidade de fitoplânctons. Nesse caso, a oferta de nutrientes, a radiação subaquática, herbivoria e parasitismo seriam as variáveis mais significativas para esse fenômeno (BORGES, 1998).

A eutrofização, quando produto do despejo de esgoto sanitário gera um aumento de macrófitas (plantas aquáticas), que podem regular a eutrofização artificial. Essas plantas filtram sedimentos, absorvem nutrientes e deterioram o meio aquático (RIVAS et al. 2009), pois seu o aumento desordenado é capaz de comprometer a utilização recreativa da água (AZEVEDO-NETTO, 1988). As algas também participam da eutrofização, uma vez que, também contribuem com matéria orgânica, que será decomposta, reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido na água. Quando em anaerobiose esses organismos liberam gás sulfídrico e metano, que são tóxicos e causadores da diminuição do pH da água (SIQUEIRA et al. 2011). O aumento da acidez nos corpos hídricos ocorre pelo uso e formação do gás carbônico, pois ele é permeia os seres vivos que realizam fotossíntese, respiração ou fermentação, liberando ácido carboxílico (NOZAKI et al. 2014). De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o valor de pH deve estar entre 6,5 e 9 para que a vida aquática seja preservada, e entre 6,5 e 8,5 para que sirva ao fornecimento de água para as pessoas. Os corpos hídricos oligotróficos detêm pH entre 6,0 e 8,5, entretanto, nos locais já eutrofizados, o pH geralmente está fora dessa margem (NETO & BAPTISTA, 2013).

A eutrofização é natural, e quando associada a ações antrópicas, e é considerada uma forma de poluição. Se dentro das suas condições naturais, pode ser caracterizado como um processo lento pela colmatação do corpo aquático, que é causada pelo assoreamento, pela diminuição da vazão dos afluentes, ou pela introdução dos nutrientes carregados da chuva (THOMANN & MUELLER, 1997). Essa situação também impacta toda a cadeia alimentar no ecossistema aquático, mudando o equilíbrio ecológico (Tabela 3 ; SMAHA & GOBBI, 2003). Os efeitos nas comunidades biológicas varia de acordo com o tipo de organismo, e a profundidade onde estão situados. Os produtores e consumidores nas zonas litorâneas e pelágicas normalmente aumentam a sua biomassa, e os organismos das zonas mais profundas são afetados pela falta de oxigênio dissolvido na água, comprometendo a respiração (PIRES, 2004).

Tabela 3- Efeitos da eutrofização (Fonte:IEC, 2000).

Anoxia (Ausência de oxigênio dissolvido), que causa a morte de peixes, invertebrados, e também resulta na liberação de gases tóxicos com odores desagradáveis
Florescimento de algas e crescimento incontrolado de outras plantas aquáticas
Produção de algumas substâncias tóxicas por algumas espécies de cianofíceas.
Altas concentrações de matéria orgânica, as quais, se tratadas com cloro, podem criar compostos carcinogênicos
Deterioração do valor recreativo de um lago ou de um reservatório devido a diminuição da transparência da água.
Acesso restrito à pesca e as atividades recreativas devido ao acúmulo de plantas aquáticas
Menor número de plantas e animais (biodiversidade)
Alteração na composição de espécies daquelas mais importantes para as menos importantes (em termos econômicos e valor protéico)
Depleção de oxigênio, nas camadas mais profundas, durante o outono em lagos e reservatórios de regiões temperadas.
Diminuição da produção de peixes causada por depleção de oxigênio na coluna d'água.

Um dos mais significativos nutrientes envolvidos na eutrofização é o fósforo (P), devido sua importância na produção primária. No ciclo do P ocorrem reações de mineralização e imobilização (absorção pelas argilas, óxidos e hidróxidos) e solubilização dos fosfatos pelas plantas (AGNE & KLEIN, 2012). O fósforo na sua forma dissolvida é o resultado da excreção dos organismos e da decomposição da matéria orgânica particulada. Na sua forma inorgânica, o P está situado na coluna d'água como ortofostato (FERREIRA et al. 2005). Esse nutriente é evidenciado na forma mineral, sendo as apatitas sua forma mais comum, e estas estão intrinsecamente relacionadas ao intemperismo existente nas rochas (FROSSARD et al. 1995). Porém, o fósforo também tem sua origem de forma artificial, como por exemplo, efluentes contendo resíduos domésticos (produtos de limpeza com compostos polifosfatados), industriais, ou pelo uso de fertilizantes no solo (p.ex. o percentual de aporte de fósforo no Estado de São Paulo; Figura 4; ESTEVES, 2011; SHARPLEY et al. 2003). Esteves et al. (2011) afirmam que dependendo do tipo indústria há uma relevante contribuição de P no despejo de fósforo nos ecossistemas aquáticos.



Figura 4- Percentual de fósforo nos corpos hídricos para as principais fontes contribuintes no Estado de São Paulo. OBS: Ausência das informações referentes ao esgoto industrial, devido aos dados imprecisos. (Fonte: ABIPLA, 2004).

No Brasil, a resolução CONAMA 357/05 determina que a concentração máxima do fósforo total na água deva ser entre $0,020$ e $0,025$ mg L^{-1} na classe 1, entre $0,030$ e $0,050$ mg L^{-1} na classe 2, e de $0,050$ a $0,075$ mg L^{-1} na classe 3. As plantas não são capazes de remover elevadas concentrações de P em um curto tempo, então o volume excedente poderia resultar na contaminação das águas. A maioria das pesquisas referentes ao fenômeno da eutrofização delegam ao fósforo o posto de nutriente mais importante (BATISTA et al. 2012). De acordo com Chorus & Mur (1999), nos ambientes aquáticos tropicais, o fósforo comumente é o elemento indicador de biomassa de fitoplânctons. Lamparelli (2007) ressalta a relevância na determinação do nutriente limitante, pois assim, a gestão dos planos de manejo em bacias hidrográficas é facilitado, especialmente quando será estudado o grau de trofia do corpo hídrico.

O nitrogênio (N) é o outro nutriente relevante na eutrofização. Ele é originário, na maioria dos casos, da decomposição da matéria orgânica presente nos corpos aquáticos, e dos despejos da água residual urbana, industrial e agrícola (VITOUSEK et al.1997; PAERL, 1997). O nitrogênio é identificado como um dos elementos mais relevantes para os seres vivos aquáticos, sendo um fundamental componente das células. Este nutriente está presente em 99,9% na sua forma molecular de N_2 e nesta forma, ele está indisponível para a maioria dos organismos (ENRICH-PRAST, 2005). No ciclo do nitrogênio, ele pode assumir as seguintes formas: nitrogênio molecular (N_2), o amônio (NH_4), nitrito (NO_2^-), e nitrato (NO_3^-). O N entra nos ecossistemas aquáticos através das chuvas, organismos fixadores (p.ex. cianobactérias), decomposição de material orgânico, despejos de esgoto industriais e domésticos, excrementos de animais e fertilizantes (Figura 5) (ESTEVEZ; AMADO, 2011e SPERLING, 1996).

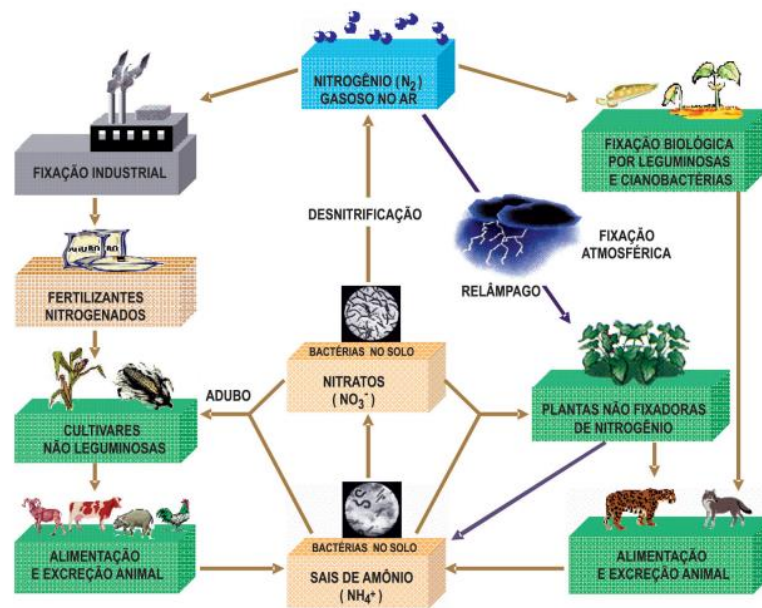


Figura 5- Ciclo global do nitrogênio (Fonte: ANDRADE et al. 2003). O nitrogênio tem inúmeras fontes naturais e artificiais o que dificulta a detecção das suas origens nas bacias hidrográficas. Assim, as atividades de controle deste nutriente nos corpos hídricos torna difícil as ações de remediação (BARROS, 2013). Isto se deve ao seu complexo ciclo biogeoquímico, como descrito por Enrich-Prast (2005) cuja fixação biológica é desempenhada por seres heterotrófos e autótrofos. A amonificação é a fase relacionada a mudança do nitrogênio orgânico particulado e dissolvido em amônia. Esse último processo é realizado por algumas espécies de bactérias e fungos, que modificam a matéria orgânica, transformando-a no íon amônio. A amônia e o nitrato são formas indispensáveis de nitrogênio dissolvido (Figura 6). De acordo com Barros (2013), os organismos decompositores absorvem mais a amônia, ao passo que o nitrato, antes de ser utilizado, precisa ser reduzido à nitrito, e a após essa reação, é gerada amônia. Essas reações resultam no aumento do gasto de energia pelos seres vivos. Na nitrificação, o nitrato é feito produto a partir do amoníaco, e essas reações são feitas pelas bactérias nitrificantes. Primordialmente, o amoníaco é convertido em nitrito, e em uma outra etapa as bactérias nitrificantes transformam os nitritos em nitratos. E ao fim desses processos, o nitrato estará na forma disponível para ser usada pelas plantas. A destrinificação é executada por bactérias facultativas, que na falta de oxigênio, empregam o nitrato como receptor de elétrons para a respiração. Nos ecossistemas aquáticos, a produção primária está associada às concentrações e especiações do nitrogênio, favorecendo a identificação do grau de eutrofização. A redução dissimilatória ocorre pela redução do nitrato em amônia por bactérias anaeróbias.



Figura 6- Esquema das principais etapas do ciclo do nitrogênio no ecossistema aquático (Fonte: Adaptado de Enrich-Prast, 2005).

A elevação da concentração de nitrogênio e fósforo acarretam na alteração do balanço estequiométrico entre os nutrientes (RABALAIS, 2002). A proporção entre esses dois nutrientes, nas formas particulada e dissolvida, é indicada como um importante parâmetro para o diagnóstico da eutrofização no corpo hídrico (TILMAN et al. 1982; HOWARTH, 1988; DORTCH & WHITELEGDGE, 1992; SMITH & BENNET, 1999; PTACKNIK et al. 2010). Toledo et al. (1983) fundamentaram-se nas pesquisas de Rast & Lee (1978), e de Chiaudani & Virgles (1974), para evidenciar, após bioensaios a razão (N:P) 5 para 1. Dentro dessa proporção, o nitrogênio seria o nutriente restritivo, e quando a razão fosse alterada para 10:1, seria o fósforo. As mudanças feitas pelo ser humano, no meio ambiente, expandiu oferta em 100 e 400 % das substâncias nitrogenadas e fosfatadas respectivamente (FALKOWSKI, 2000). Por comporem macronutrientes, estão diretamente relacionados à produção, limitação e diversidade biológica.

Segundo Smith & Schindler (2009), a eutrofização é o maior dilema atual sobre corpos de água superficiais, sendo considerada uma das maiores transformações feitas pelo homem à biosfera. A gestão da água doce é considerada um dos principais dilemas do século XXI, ao passo que está intrinsecamente atrelada à permanência da vida no planeta (TUNDISI, 2005; UNESCO-WWAP, 2006; RIBEIRO, 2008).

1.3 Gestão dos Recursos Hídricos

O acompanhamento da qualidade da água é essencial para a gestão eficiente dos recursos hídricos. Essa iniciativa colabora no diagnóstico dos impactos causados no ecossistema aquático, em face da falta de planejamento atuante nas bacias hidrográficas (BARROS, 2013). Pereira (2003) afirma que, a regulamentação da utilização das águas em uma bacia hidrográfica resulta na harmonia entre a demanda e oferta de água. Isso acontece empregando instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na Lei das águas. Entretanto, um imbróglgio ocorre principalmente na compreensão dessas informações, transcorrendo pelos parâmetros aplicados na análise da qualidade da água. Considerando esse aspecto, é necessário mediar a comunicação entre a academia e a sociedade (MENEZES et al. 2010). Pires (2004) em sua pesquisa apresenta que, a partir do aumento

significativo da elevação da demanda por água, a sua vulnerabilidade se tornou cada vez maior, ressaltando o gerenciamento como fundamental dentro da agenda governamental.

A definição de gerenciamento dos recursos hídricos contempla as práticas para assegurar à sociedade, e as atividades econômicas um uso social, ambiental e econômico sustentável da água. Essas práticas perpassam pelos aspectos político, legislativo, executivo, investigativo, educacional e de colaboração intersetorial (CHRISTOFIDIS, 2002). Para a efetividade dessas iniciativas, é preciso que o planejamento e a gestão dos recursos hídricos sejam multidisciplinares (COSTA, 2003). A diversidade e complexidade nas interações entre os agentes envolvidos, e os seus distintos objetivos no uso da água ressaltam a importância de uma eficiente gestão dos recursos hídricos. Por fim, são consideradas a eficiência econômica, qualidade ambiental e justiça social na tomada de decisões (PIRES, 2004).

O monitoramento é um dos instrumentos que podem assegurar a boa gestão dos recursos hídricos, onde pode ser definido pelo levantamento de dados em pontos de amostragem ao longo de uma bacia hidrográfica ao longo de uma escala temporal. O produto do monitoramento são séries temporais dos parâmetros analisados (DERÍSIO, 1992). Uma das complicações na execução de um programa de é dificuldade em alocar recursos humanos e econômicos. É preciso o esforço para otimizar a relação custo benefício desta iniciativa, viabilizando a sua implantação (LIMA, 2004). Ao planejar o monitoramento de um poluente em corpos hídricos deve-se apoiar nas características naturais da região, nas possíveis origens da poluição, nos usos da água na bacia hidrográfica e as legislações vigentes relacionadas ao emprego da água. Outra etapa importante é a escolha dos indicadores de qualidade da água mais relevantes ao diagnóstico, pois assim, a análise poderá fornecer as informações necessárias para as medidas de remediação/mitigação desse poluente (PRODANOFF, 2005).

A partir desse cenário de gestão e monitoramento dos corpos hídricos no Brasil se faz necessário sobre tudo das águas superficiais, que é a principal fonte para o abastecimento público. Segundo os dados da Agência Nacional de Águas (ANA) (2003), 56 % do total dos municípios empregam águas superficiais como fonte de abastecimento, sendo esta, a mais passível de contaminação. Por outro lado, Porto (1995) demonstrou que os poluentes nas águas superficiais que drenagem áreas urbanas são capazes de alcançar 80% do volume do esgoto doméstico. A maioria os esforços governamentais estão voltados para a diminuição do aporte de fontes pontuais (despejo de efluentes), entretando, esse fato ainda não foi reduzido significativamente (TUCCI, 2005^a). Um dos resultados dessa realidade é o ressaltado grau de trofia presente em alguns corpos hídricos superficiais, boa parte deles, situados nas grandes cidades, que geram elevado volume de matéria orgânica. Uma das medidas que auxiliam a gestão dos corpos d água é o enquadramento destes, em classes, de acordo com a Lei Federal nº9433/97, que determinou a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH). Essa lei tem por finalidade assegurar os parâmetros dos corpos hídricos correspondendo-os à classe do seu uso proposto (ANA, 2010).

Como foi mostrada, a PNRH determina, como suas referências, os princípios da gestão dos recursos hídricos no Brasil, que são:

- I. Água é um bem de domínio público;
- II. Água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; (...).

Dessa maneira, o uso múltiplo das águas é firmado como uma das bases da Política Nacional dos Recursos Hídricos, mantendo aos diferentes segmentos, a garantia da água para os seus diferentes fins, como por exemplo, irrigação, geração de energia, navegação, lazer, etc (PESSOA, 2013). Essa mesma lei também estabeleceu os mecanismos de gestão dos recursos hídricos, como os planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos d'água em classes de acordo com sua finalidade. O uso múltiplo da água é uma questão frequente, ao passo que é ocasionada pelo progresso da sociedade. Suportar essa demanda para os distintos empregos, considerando a qualidade e quantidades apropriadas, é um dos mais complexos dilemas do milênio (MAUAD et al. 2003).

Lanna (1997) categoriza os usos da água em dois, consuntivos e não consuntivos. Os consuntivos são quando a utilização é efetiva, portanto, o retorno ao corpo hídrico é menor. Aproximadamente 80% da água utilizada para o consumo doméstico e pelas indústrias e 30% da água originária da irrigação voltam para a água, abastecendo os aquíferos ou cursos d'água, diminuindo a sua qualidade. Os não consuntivos podem ser caracterizados quando não acontece o uso da água, ou ele é pouco representativo. Exemplos dessa categoria são: navegação, diluição de resíduos, piscicultura, etc.

Outra legislação que delega sobre a gestão dos recursos hídricos é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n°357/05, esta, que discrimina os corpos hídricos em treze classes, isso, considerando seus fins e salinidade. Esta Resolução também mostra as diretrizes ambientais para o enquadramento, e regula as formas para o despejo de efluentes. As águas doces superficiais são classificadas especificamente em cinco classes, sendo elas, classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, partindo da mais restritiva ao uso respectivamente (POMPÊO et al. 2015). De acordo com Granziera (2001), o enquadramento dos corpos d'água apresenta uma preocupação maior com a saúde pública, pois sua principal finalidade é diferenciar seus diferentes usos, como por exemplo, irrigação de verduras e legumes, e o abastecimento público (Figura 7). A durabilidade e eficiência desse instrumento estão diretamente associadas à avaliação do uso deste recurso, perpassando pelas bacias hidrográficas que podem ser impactadas (POMPÊO et al. 2015). A Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2012) também determina os padrões de qualidade da água dos corpos hídricos, contemplando parâmetros biológicos, físicos e químicos, como por exemplo, coliformes, temperatura e potássio, respectivamente (Tabelas 4 e 5). E alguns destes parâmetros, como o compostos nitrogenados e fosfatados estão diretamente relacionados a eutrofização. Além disso, estes parâmetros descritos na Tabela 4 são de significativa relevância no monitoramento das águas das bacias urbanas, já que estas são

mais expostas à deteriorização por causa do despejo dos rejeitos das populações, bem como lançamento de esgotos domésticos ou industriais, resíduos sólidos e líquidos carregados pela água da chuva (COSTA, 2013).

Figura 7- Relação entre as Classes dos Corpos Hídricos e suas Respectivas Atividades (Fonte: ANA).

USOS DAS ÁGUAS DOCES		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cereais e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Tabela 4- Alguns parâmetros de qualidade da água (Fonte: Adaptado de SANTOS et al., 2001).

Parâmetros Físicos	Parâmetros Inorgânicos não Metálicos	Parâmetros Orgânicos	Parâmetros Biológicos e Microbiológicos	Parâmetros Metálicos
Cor	Cloreto	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Plâncton	Berílio
Condutividade	Nitrogênio	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Macroinvertebrados	Cádmio
Odor	Oxigênio Dissolvido	Fenóis	Bactérias	Potássio
Sólidos	Ph	Surfactantes	Fungos	Ferro
Salinidade	Sulfeto	Tanino e Lignina	Coliformes Totais	Zinco

Tabela 5- Alguns parâmetros físico-químicos de qualidade da água (Fonte:Derisio, 1992; Piveli, 2005; Von Sperling, 2005; Finotti et al., 2009)

Parâmetro	Fontes, Conceitos e Importância
Cor	As águas coloridas apresentam como principal efeito ecológico, a diminuição da penetração de luz solar, e consequentemente, diminuição da fotossíntese
	A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos.
	É resultante da dissolução de ferro, manganês, matéria orgânica e/ou lançamento de efluentes industriais, por isso está associada aos sólidos dissolvidos
pH	Mede o balanço ácido de uma solução, definido pelo negativo logaritmo da concentração do íon hidrogênio
	Importante por influenciar na distribuição das espécies aquáticas, e por definir as etapas de tratamento de água e de efluentes.
Temperatura	Importante variável de monitoramento da qualidade da água, pois alterações na temperatura podem provocar impactos ecológicos significativos
	A biota aquática possui faixas de temperaturas ótimas, onde as alterações nesse parâmetro podem causar modificações nas migrações, desovas, crescimentos dos organismos, e até desova.
	O aumento da temperatura provoca o aumento da velocidade das reações, em particular as de natureza bioquímica de decomposição de compostos orgânicos; facilita a ação tóxica de muitos elementos; diminui a solubilidade de gases dissolvidos na água em particular o oxigênio, a base da decomposição aeróbia.
	Promove a circulação da água por variação de densidade em lagos.

Condutividade	É a capacidade da água em conduzir corrente elétrica, sendo sensível à presença de sólidos dissolvidos
Turbidez	Grau de interferência de um feixe de luz sofre ao atravessar a água, conferindo uma aparência turva
	Influenciada pela presença de sólidos em suspensão, como partículas inorgânicas (areia, silte e argila) e detritos orgânicos (algas, bactérias e plâncton).
	Aumenta devido à erosão das margens dos rios, lançamentos de esgotos sanitários e diferentes efluentes.
Sólidos	Pode ter origem nos plânctons, algas, detritos orgânicos, Zn, Fe, entre outros, provenientes do processo natural de erosão, ou de despejos domésticos industriais.
	Os sólidos em suspensão diminuem a transparência das águas, podendo reduzir significativamente a energia luminosa disponível para a fotossíntese, pois conferem turbidez às águas.
	Os sólidos dissolvidos relacionam-se com os íons diluídos na água, aumentando a condutividade, indicando a presença de nutrientes.
Oxigênio Dissolvido (OD)	É o principal elemento no metabolismo de microorganismos aeróbios e peixes. Tem sua origem na atmosfera ou na fotossíntese de algas
	Baixas concentrações de OD estão relacionadas com altas concentrações de matéria orgânica, alta temperatura das águas, baixa vazão e ausência de corredeiras. E altas concentrações sinalizam a presença de algas.
	Fundamental para os elementos de autodepuração das águas.
Nitrogênio	Exigido em grande quantidade pelas células vivas de algas e plantas
	Pode ter como fontes, as lavagens pelas águas fluviais da atmosfera poluída, o escoamento pluvial nas áreas de solos fertilizados, ou as áreas

	urbanas que carregam o nitrogênio sob diversas formas
	Contribui para a proliferação da algas: eutrofização
	<p>Pode-se associar a idade da poluição, se a origem for as descargas de esgotos, pelas formas como é encontrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quando há predominância das formas orgânicas ou amônia, o foco da poluição se encontra próximo; • Se prevalecer nitrito e nitrato, as descargas de esgoto encontram-se distantes.
Fósforo	É um dos principais nutrientes para os processos biológicos, também exigido em grandes quantidades pelas células
	Pode ser originado nas descargas de esgotos sanitários: detergentes superfosfatados e descarga fecal, efluentes industriais, ou águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas.
	O excesso de fósforo pode conduzir, junto com o nitrogênio, a processos de eutrofização.
Matéria Orgânica	Tem como fonte principal a descarga dos efluentes domésticos, e consome o oxigênio nas águas
	<p>Pode ser determinada por dois métodos indiretos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio: indica o potencial de oxidação da matéria orgânica mediada por bactérias aeróbias • DQO- Demanda Química de Oxigênio: corresponde a técnica para a avaliação da demanda de oxigênio equivalente ao consumo de matéria orgânica medido pela oxidação química, com menor prazo para determinação (comparado à DBO).
Metais Pesados	Apresentam efeitos adversos à saúde humana. Tem como elementos principais o arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), e mercúrio (Hg).
	Têm sua fonte principal em veículos

	automotores, seja por emissões ou deposição nas vias. Encontrados também em efluentes industriais.
	Não são removidos pelos tratamentos de água convencionais.
	São acumulados ao longo da cadeia alimentar, atingindo os seres humanos em quantidades consideráveis.

A resolução CONAMA 357 apresenta algumas dificuldades relacionadas a sua aplicabilidade, pois as classes nela descritas abrangem mais de uma forma de uso, entretanto, as concentrações estabelecidas dos parâmetros atendem toda a classe. O fato do corpo hídrico estar enquadrado, não determina que as suas características referidas estão sendo respeitadas. Ao usar o enquadramento, há a possibilidade de considerar a qualidade da água abordando a qualidade atual e as concentrações necessárias para assegurar suas características, e possíveis usos eventuais no futuro (PESSÔA, 2013).

O enquadramento é identificado na Resolução CONAMA 357/05 semelhante a um “sistema de planejamento que requer metas progressivas intermediárias e finais” (PIZZELA, 2007). Nesse caso, não é primordialmente evidenciado o dever em melhorar a qualidade do corpo d’água, posto que, a reclassificação em uma classe de menor exigência de preservação é viável. Outra situação conflitante, ocorre na indefinição de métodos personalistas para o enquadramento, resultando na classificação de todo corpo hídrico em uma classe, generalizando-o. Essa ação ocasiona no entendimento uniforme de toda a extensão do corpo d’água, e essa interpretação está diretamente relacionada a capacidade de recebimento de cargas poluidoras, podendo resultar na maior deteriorização do mesmo (PESSÔA, 2013).

1.4 Índice de Estado Trófico

Outra importante ferramenta para a obtenção de informações sobre a qualidade da água de um corpo hídrico é o Índice de Estado Trófico (IET) (OLIVEIRA et al.2007). Carlson (1977) elaborou a identificação do estado trófico dos ambientes aquáticos fundamentado em três referências: concentração de clorofila *a* (importante na fotossíntese), fósforo total (no metabolismo celular Adenosina Trifosfato(ATP), e a transparência da água Sólidos em suspensão na água) medida pelo disco de Secchi. Como resultado do IET, o ecossistema pode ser classificado em Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico ou Hipereutrófico (Tabelas 6 e 7) (CETESB, 2004).

Tabela 6- Relação dos diferentes estados tróficos com suas respectivas características atreladas aos corpos hídricos: (Fonte: Adaptado de CETESB (2009)).

Estado Trófico	Características dos Corpos de Água
Ultraoligotrófico	Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes, que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	Limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, pela presença de nutrientes.
Mesotrófico	Com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	Com alta produtividade e redução da transparência, afetados por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água decorrente do aumento da concentração de nutrientes, e interferências nos seus usos múltiplos.
Supereutrófico	Corpos de água com alta produtividade, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, com frequentes alterações indesejáveis na qualidade da água, como florações de algas, e interferências nos seus usos múltiplos.

Hipereutrófico	Corpos de água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.
----------------	--

Tabela 7- Classificação do Estado Trófico (Fonte: Adaptado de CETESB (2004)).

Estado trófico	PT (µg/L)
Ultraoligotrófico	$P \leq 13$
Oligotrófico	$13 < P \leq 35$
Mesotrófico	$35 < P \leq 137$
Eutrófico	$137 < P \leq 296$
Supereutrófico	$296 < P \leq 640$
Hipereutrófico	$640 < P$

A clorofila α corresponde de 1 a 2 % da massa seca das algas planctônicas. A partir disso, a clorofila é denominada um indicativo da concentração de algas no corpo hídrico, também nomeada como biomassa algal. Por essa razão, ela é empregada como parâmetro do estado trófico nos ecossistemas aquáticos, e esta diretamente associada ao grau de eutrofização do corpo d'água (BARROS, 2013). A clorofila α é fundamental nas análises relacionadas a produtividade primária e na poluição orgânica e industrial (CETESB, 1990). O nível trófico de um corpo hídrico pode ser compreendido através das concentrações de clorofila, na variedade de espécies de algas, da transparência da água, e nas concentrações de oxigênio dissolvido (TOLEDO et al.1983). Na elaboração do Índice do Estado Trófico (IET), Carlson (1977), usou os valores de de clorofila como mais significativos para a definição do índice, sendo ela, a mais preponderante na classificação trófica dos corpos d'água. A clorofila α indica o aferimento da biomassa aquática, é julgada como uma medida eficaz para o nível de eutrofização, sendo resultado do aumento da densidade de cianobactérias (JARDIM, 2011).

A maioria dos corpos hídricos tropicais detêm baixa transparência, e isso ocorre por causa do carreamento superficial do solo marginal, principalmente se compararmos ao maior grau de produtividade biológica no

ecossistema aquático (SPERLING,1996). Na adaptação de Toledo et al. (1983) à pesquisa de Carlson (1977), referendando-o aos ambientes tropicais, é ponderado o menor peso à transparência pelo disco de Secchi. Essa atribuição foi baseada na possibilidade desta variável de ser influenciada pelo aumento da turbidez da água ao longo do tempo. A luz do sol é usada pelos seres vivos, principalmente nos processos fotossintéticos, sendo vital para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Essa luminosidade também altera dinâmica e estratificação na água (BARROS, 2013). Nos corpos d'água, há a divisão em duas zonas, a fótica, onde a faixa de água é iluminada em até 1% da luz superficial; e a zona afótica, onde há ausência de luz (POMPEU, 1990). Com isso, a transparência em no corpo hídrico varia de alguns centímetros a alguns metros, sendo esse porte delimitado por meio da eficácia em suavizar a radiação subaquática.

O desenvolvimento e reprodução das plantas aquáticas são dependentes da luz e dos nutrientes, isso pode ser exemplificado pela limitação associada à turbidez das águas para o uso dos nutrientes nos sedimentos pelas raízes (ESTEVES, 2011). O aspecto químico evidenciado nos lagos e reservatórios, são consequência de reações bioquímicas e características hidrológicas nos mananciais, como também dos processos ecológicos e químicos nas águas e sedimentos. As ações entre os diversos níveis tróficos da biota também modificam os impactos da entrada dos nutrientes (ESTEVES, 1998).

O IET desenvolvido por Carlson (1977) é um dos mais usados nos estudos do estado trófico dos sistemas aquáticos lacustres. Esse índice foi idealizado para climas temperados, e a partir disso, foi adaptado com a finalidade de trazer a sua abordagem o mais próximo às características das regiões tropicais. Lamparelli (2004) ressalta para a importância do clima na utilização do IET, e usa como base que, nos trópicos, os seres vivos reagem de maneira diferente aos parâmetros que afetam o seu crescimento. Isso ocorre por fatores como a temperatura da água, que poderia modificar o entendimento dos processos existentes no ecossistema aquático, alterando a compreensão do estado trófico. As maiores assimilações de nutrientes relacionadas com a maior velocidade dos ciclos biogeoquímicos resultam no crescimento da produtividade primária. Com isso, os trópicos propiciam que os nutrientes sejam metabolizados em um volume e velocidades acima dos que nos ambientes temperados. Esse maior volume ocasiona, em valores limites dos parâmetros maiores para cada categoria trófica nos corpos hídricos em regiões de clima quente (ESTEVES; PEREIRA, 2011).

O diagnóstico mais amplo do estado trófico de um corpo hídrico está atrelado a uma pesquisa referendada em outras variáveis, como por exemplo, sanitárias e ecológicas (SPERLING, 1996). Carlson (1977) diz que a compreensão de trofia é multidisciplinar, contemplando questões como produtividade da fauna e flora, e morfologia do corpo hídrico em questão. Outras pesquisas sobre esse assunto apresentam prós e contras da categorização das águas superficiais pelo IET. Esse método pode ser executado facilmente por causa do simples diagnóstico e do baixo custo, salientando a sua fácil compreensão (LAMPARELLI, 2004); (ARAÚJO, 2009). Identificar o Índice de Estado Trófico (IET) seria importante para o entendimento das informações sobre um recurso hídrico, pois possibilita

relatar as relações bióticas e abióticas no ecossistema aquático (BORGES, et al. 2010). O IET colabora no desenvolvimento de planos de gerenciamento de ecossistemas aquáticos, com a finalidade de conservar corpos d'águas, garantindo permanência desse recurso a médio e longo prazo.

1.5 Histórico do Lago Paranoá

Todos os conceitos apresentados ao longo deste trabalho, serão contextualizados no Lago Paranoá, entretanto, para melhor compreender o fenômeno da eutrofização neste local, será apresentado o histórico do objeto de estudo. Os registros antigos oficiais indicaram a elaboração de um lago para Brasília, pela Comissão de Localização da Nova Capital do Brasil, em 1955. O lago foi pretendido para melhorar a umidade da região, principalmente nos períodos de seca (de Abril a Setembro) (BAPTISTA, 1994), aumentar o regime de chuvas com a evaporação, e para proporcionar um local de lazer para a população (PLANO PILOTO, 1986). O lago detém múltiplos usos, e passou por graves danos relacionados à qualidade das suas águas. Isso ocorreu com a subida do nível da água no reservatório por meio da cobertura vegetal. A eutrofização foi agravada pelo aumento populacional no DF (Tabelas 8 e 9), pelo despejo de esgoto bruto ou tratado, fertilizantes, e detritos das áreas urbanas e rurais por meio do escoamento superficial (BURNETT et al. 2001). O lago é vulnerável a esse fenômeno, pois, é o destino final do esgoto doméstico da população adjacente a Bacia do Lago Paranoá (IBGE, 2010). Essa população tem 85% do esgoto doméstico destinados a estações de tratamento antes de ser despejado no lago (CODEPLAN, 2011). A previsão é que em 32 anos, o tamanho da superfície cedida seja de 0, 5273 Km². O Distrito Federal apesar de ser uma área com muitas nascentes detém corpos hídricos pequenos, com vazões médias, cerceando assim o abastecimento público (ISAÍAS, 2008). A disponibilidade hídrica do DF situava-se menor que o esperado, e a partir dessa situação surgiu o cuidado maior com a gestão dos recursos hídricos, ressaltado pelo contínuo aumento da população, buscando alternativas para colaborar no planejamento do uso da água (CDRH, 2005).

Tabela 8-Evolução populacional do Distrito Federal- população urbana e rural (1970 a 2010). (Fontes: (1) FIBGE. Censo Demográfico-Distrito Federal-1970. Volume. 1, Tomo XXIV, Rio de Janeiro, FIBGE, 1973; (2) FIBGE. Censo Demográfico- Distrito Federal-1980. Vol. 1, Tomo 6-N^o 26. Rio de Janeiro, 1993; (3) FIBGE. Censo Demográfico-1991. N^o 28-Distrito Federal. Rio de Janeiro, FIBGE, 1991; (4) FIBGE, Censo Demográfico-2000. Resultados do Universo. Rio de Janeiro, FIBGE, FIBGE; (5) FIBGE. Censo Demográfico- 2010. Resultados do Universo. Rio de Janeiro, FIBGE, 2010.)

Ano	1970(1)	1980(2)	1991(3)	2000(4)	2010(5)
População Urbana e Rural	537.492	1.165.184	1.601.094	2.051.146	2.570.160

Tabela 9- População em regiões administrativas do DF (Fontes: (1) FIBGE. Censo Demográfico-Distrito Federal-1970. Volume. 1, Tomo XXIV, Rio de Janeiro, FIBGE, 1973; (2) FIBGE. Censo Demográfico- Distrito Federal-1980. Vol. 1, Tomo 6- N^o 26. Rio de Janeiro, 1993; (3) FIBGE. Censo Demográfico-1991. N^o 28-Distrito Federal. Rio de Janeiro, FIBGE, 1991; (4) FIBGE, Censo Demográfico-2000. Resultados do Universo. Rio de Janeiro, FIBGE, FIBGE; (5) FIBGE. Censo Demográfico- 2010. Resultados do Universo. Rio de Janeiro, FIBGE, 2010.)

RA's	Localidade	1960(1)	1970(2)	1980(2)	1991(3)	2000(4)	2010(5)
RAI	Plano Piloto	71.728	271.570	400.104	262.264	198.422	209.855
RAII	Gama	811	75.914	138.602	153.279	130.580	135.723
RAIII	Taguatinga	27.315	109.452	480.178	228.202	243.575	361.063
RA IV	Brazlândia	734	11.507	22.583	41.119	52.698	57.542
RA V	Sobradinho	10.217	42.553	68.861	81.521	128.789	210.119
RA VI	Planaltina	4.651	21.907	46.890	90.185	147.114	171.303
RA VII	Paranoá	3.567	2.254	2.922	56.465	54.902	53.618
RA VIII	Núcleo Bandeirante	21.033	-	-	47.688	36.472	43.765
RA IX	Ceilândia	-	-	-	364.289	344.039	402.729
RA X	Guará	-	-	-	97.374	115.385	142.833
RA XI	Cruzeiro	-	-	-	51.230	63.883	81.075
RA XII	Samambaia	-	-	-	127.431	164.319	200.874
RA XIII	Santa Maria	-	-	-	-	98.679	118.782
RA XIV	São Sebastião	-	-	-	-	64.322	100.659
RA XV	Recanto das Emas	-	-	-	-	93.287	121.278
RA XVI	Lago Sul	-	-	-	-	28.137	29.537
-	Riacho Fundo	-	-	-	-	41.404	71.854
RA XVIII	Lago Norte	-	-	-	-	29.505	41.627
RA XIX	Candangolândia	-	-	-	-	15.634	15.924
	Total	141.742	537.492	1.165.184	1.601.094	2.051.146	2.570.160

O Plano Diretor de Orçamento Territorial (PDOT), elaborado em 1997, regula a ocupação das zonas urbanas circundantes a Bacia do Lago Paranoá. Antes da implementação do PDOT, é necessário a execução de um planejamento global que detalhe a previsão da população, e a localização dos empreendimentos urbanísticos. Isso tudo deve estar em harmonia em com a capacidade de resiliência da Bacia, cujos fatores limitantes são caracterizados pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal (decreto nº 18.585/1997, artigo 14). A Lei de Uso e Ocupação do Solo também colabora na gestão dos recursos hídricos, definindo os critérios para ocupação de áreas publicas contiguas a lotes localizados em setor de uso estritamente residencial, por meio da realização de compensações pelos beneficiários (PLC nº17/2011, artigo 269-A). Uma parte da Bacia do Paranoá pertence à área tombada de Brasília, sendo locada para receber a estrutura administrativa do Estado. Por causa dessa particularidade, e à fragilidade hídrica da região, idealmente o DF deveria ter uma densidade populacional menor (AGUSTINHO, 2012). O crescimento de Brasília como metrópole surgiu por meio da fundação das cidades-satélites, bem como pelos assentamentos urbanos e locais públicos ocupados. A área urbana do Distrito Federal pode ser caracterizada pelo acelerado crescimento da população sem planejamento adequado (Figura 8) (PIVIANI, 2010). O período de expansão urbana no DF pode ser especificado pelo crescimento habitacional nas cidades-satélites. Elas foram fundadas essencialmente para serem cidades-dormitório, entretanto, atualmente, apresentam e contribuem em vários aspectos da economia do Distrito Federal, apesar de mesmo assim, dependerem do Plano Piloto (CODEPLAN, 2011).

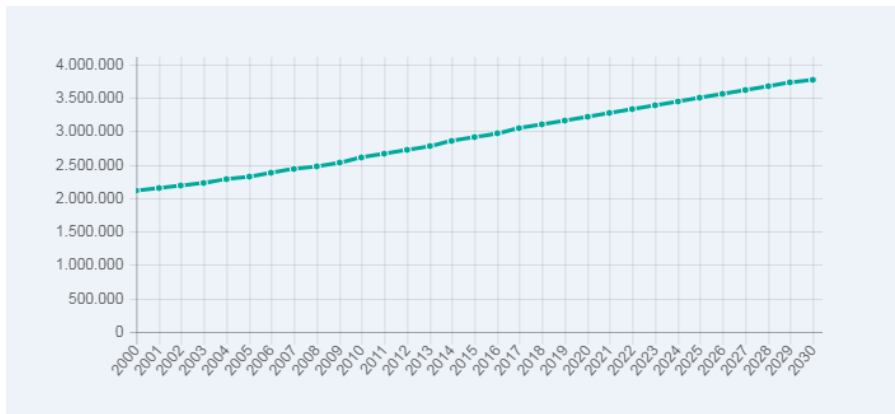


Figura 8-Projeção da População do Distrito Federal. (Fonte: IBGE, 2010). A expansão urbana está além de fatos isolados, como uma subjetiva independência funcional de alguns locais. Paviani (2010) discorre sobre o planejamento público sobre os “largos espaços não ocupados” e investida de “fugir à conurbação”. Este autor compara esse planejamento com a situação momentânea referente ao desenvolvimento no espaço urbano no DF. A ocupação do solo não acompanha nenhuma linearidade entre a distância do centro e os outros núcleos urbanos já descritos no planejamento de Brasília. Embora as habitações pioneiras sejam mais longínquas do centro, as novas construções estão situadas mais próximas do Plano Piloto (Figura 15).

A mancha urbana no DF cresceu de forma pronunciada entre os anos de 1995 e 2000 (Figura 9). A ampliação acontece até mesmo fora do DF, na região do entorno. Nos anos de 2000 e 2007 (Figura 10) percebe-se que a mesma área aumentou, mostrando um contínuo uso do solo, ressaltando-se que esse processo ocorre de forma desorganizada, e essencialmente ilegal. A nova forma de uso do solo se dá, principalmente na construção de condomínios, por populações com diversas classes sociais, com estruturas diferenciadas entre elas.

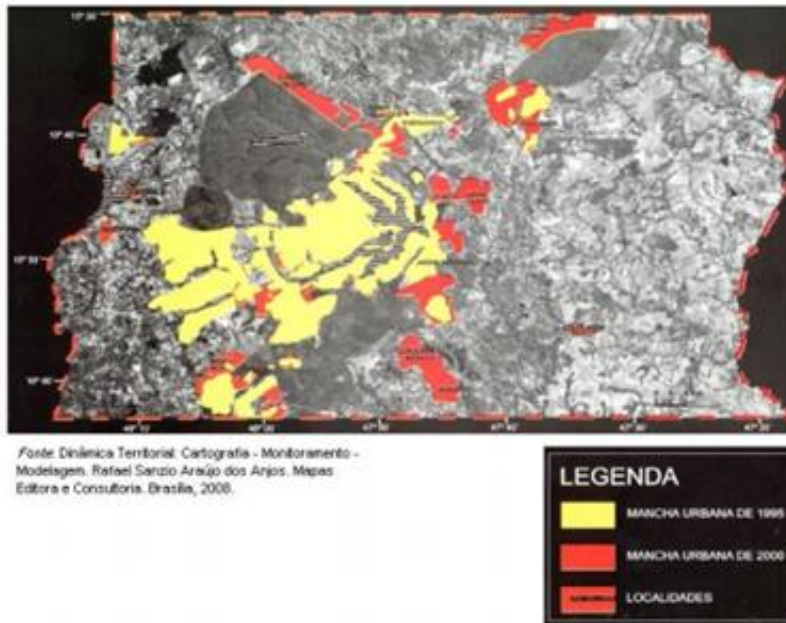


Figura 9- Expansão da mancha urbana no DF (1995 a 2000). (Fonte: ANJOS, 2008). Autorização de uso da imagem concedida pela Mapas Editora & Consultoria.

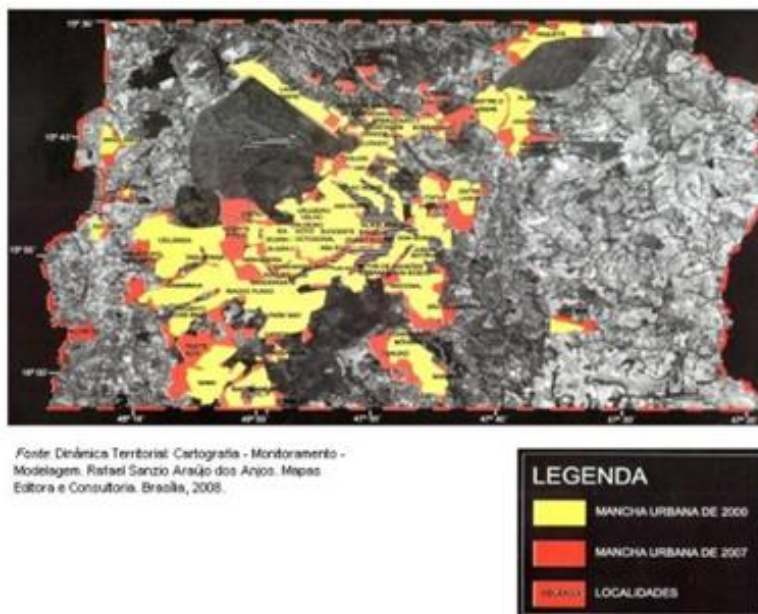


Figura 10- Expansão da mancha urbana do DF (2000 a 2007). (Fonte: ANJOS, 2008). Autorização de uso da imagem concedida pela Mapas Editora & Consultoria.

No ano de 1969 foi fundada a Companhia de Água e Esgotos de Brasília (CAESB). Este órgão a época, surgiu com as funções de regular a poluição hídrica, conservar, proteger, e fiscalizar as bacias hidrográficas com a finalidade de assegurar o fornecimento de água (FONSECA, 2001). Uma das primeiras medidas para minimizar a eutrofização começou a ser pensada década de 70, quando ocorreu uma grande mortandade de peixes (Figura 11) (STARLING et al. 2002). Neste período as dificuldades com a qualidade da água no Lago Paranoá prosseguiram continuamente por causa da contaminação por bactérias e algas (FERREIRA & OVÍDIO, 1975). Essa situação resultava no impedimento da navegação no lago, pois a contaminação pelas bactérias transformava 50% da área superficial imprópria para tal atividade. Em 1976, em uma associação entre a CAESB e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), a Organização Mundial da Saúde (OMS), e a Secretaria Especial do Meio Ambiente do Governo Federal (atual IBAMA), definiram um plano fixo de acompanhamento hidrometeorológico e limnológico no DF, direcionado significativamente a gestão do Lago Paranoá (BURNETT et al. 2001).

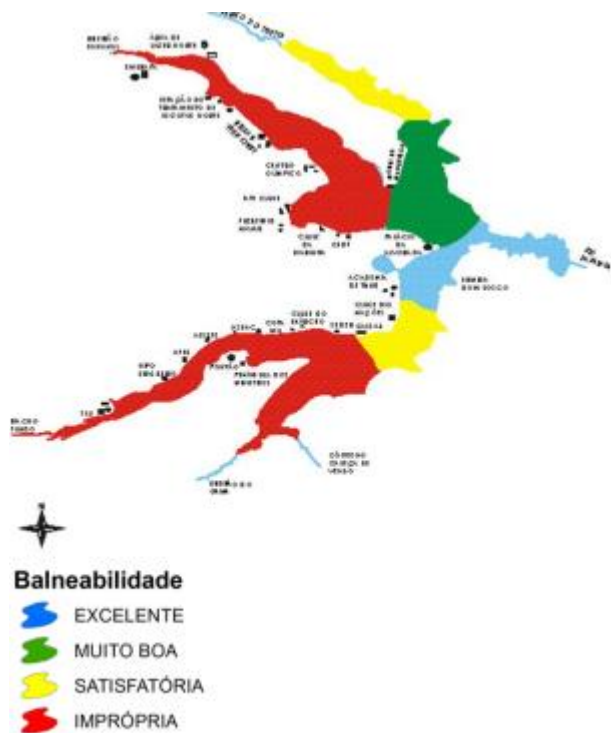


Figura 11- Condições da qualidade da água no Lago Paranoá nas décadas de 70 e 80. (Fonte: Fonte: Disponível em <caesb.df.gov.br>, acesso em novembro de 2017).

Nos anos 80, ações para reduzir esse cenário foram executadas, como o uso de algicidas nos pontos onde ocorriam os floramentos e a aplicação de sulfato de alumínio nos esgotos quando o limite de tratamento pela ETE era atingido (BURNETT et al. 2002). Outras ideias também foram planejadas para o Lago Paranoá, como as propostas pelo Grupo de Estudo de Poluição (GEP), que eram: A retirada do efluente da bacia do lago. Essa iniciativa visou o aprimoramento da despoluição realizado pelas ETEs Sul e Norte, tentando reduzir o impacto do esgoto nas águas; a outra medida era o

despejo do esgoto tratado após a terceira etapa de tratamento (retirada biológica dos nutrientes) (BURNETT et al. 2002).

Na década de 90 o Lago Paranoá foi classificado como um corpo hídrico com tendência a mesotrofia (Figura 12). Dentro dessa situação, ocorreram várias iniciativas mitigatórias, principalmente nos anos 1990, resultando nos dias atuais, em condições que possam viabilizar os usos múltiplos do lago (COSTA, 2014). A Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB) elaborou, em resposta a esses acontecimentos, a construção das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) Sul e Norte, em 1993. As possíveis funções deste corpo hídrico podem ser descritas em: geração de energia, diluição de águas servidas, lazer e práticas esportivas (NETTO, 2001). Em 1998 a Companhia Energética de Brasília (CEB), que administra a barragem do lago, efetuou a diminuição da cota do lago com o objetivo de agregar a ele um volume de espera, para um amortecimento das ondas de cheias. Após isso, através do monitoramento limnológico, foi diagnosticado que essa obra melhorou substancialmente a qualidade da água, diminuindo as concentrações de algas e fósforo (PEREIRA, 2006). Pereira (2004b) estudou o suporte do lago pela dinâmica do fósforo, e evidenciou a preocupação com a relação do nutriente, e os sinais de eutrofização corriqueiros no braço do Riacho Fundo. Na foz dos tributários do Riacho Fundo e Bananal acontece o assoreamento, ocasionando na redução do volume de água no lago e na diminuição de sua superfície (MENEZES, 2010).

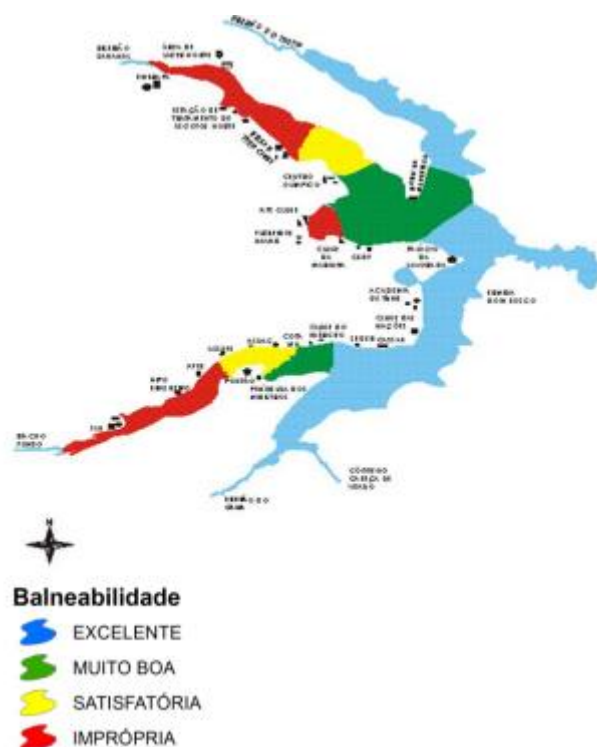


Figura 12- Condições da qualidade da água no Lago Paranoá nas décadas de 90. (Fonte: Fonte: Disponível em <caesb.df.gov. br>, acesso em novembro de 2017).

A CAESB executou um projeto de regulação do período de permanência em 1998, e um programa de biomanipulação como iniciativas que colaborarão para o progresso da qualidade da água (PHILOMENO,

2007). A ação habitual da abertura das comporta no período chuvoso também auxilia na regulação do nível trófico, pois acarreta na oligotrofização no meio aquático (PEREIRA, 2001). Em 2003 surgiu a Agência Reguladora de Águas, Energia, e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA). Uma das suas atribuições é seguir, gerenciar e fiscalizar o uso da água em todas as suas formas de uso. A ADASA inspeciona o Lago Paranoá, principalmente em função da sua balneabilidade (MEDEIROS, 2016). No momento atual, a crescente necessidade por água para a população, e a redução da vazão nos corpos hídricos no DF ocasionou na possibilidade do Lago Paranoá ser empregado como fonte de captação de água (Figura 13) (LIPORONI, 2012).

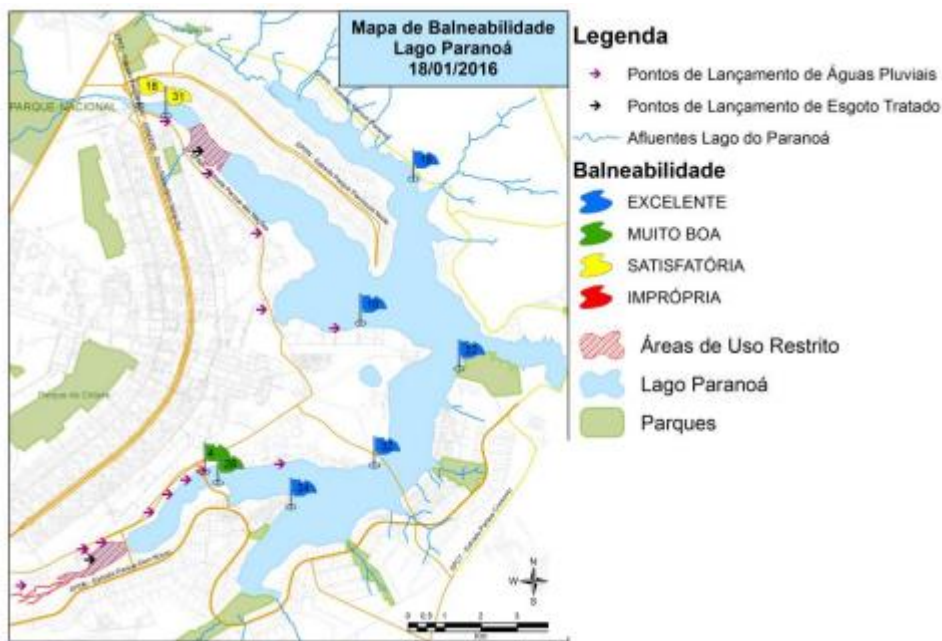


Figura 13- Condições da qualidade da água no Lago Paranoá em janeiro de 2016. (Fonte: Fonte: Disponível em <caesb.df.gov.br>, acesso em novembro de 2017).

Na pesquisa de Pereira (2004b) foram feitas perspectivas até o ano de 2030, relatando que todo o corpo hídrico chegaria ao seu limite de capacidade de suporte em 2010, ressaltando que no braço do Bananal isso aconteceria em 2015. Nos braços do Gama e do Torto, essa marca ocorreria somente no ano de 2030. Echeverria (2007) apurou a interação entre alguns elementos químicos e a possível origem da degradação da bacia do lago. Moura (2008) pesquisou duas sub-bacias para determinar a atuação do uso e ocupação do solo das unidades hidrográficas neste corpo hídrico, diagnosticando o precursor da poluição, discriminando os impactos ocasionados pelo homem, e quais características são atreladas naturalmente ao corpo d'água (Tabela 10 e Figura 14). A principal medida para remediar esse fenômeno seria, segundo o autor, gerenciar adequadamente a expansão habitacional na região da bacia do Lago Paranoá. Esta bacia detém ressaltado destaque ao receber o sistema de fornecimento de água Santa Maria/Torto, cujas nascentes estão situadas no Parque Nacional de Brasília. Esse manancial contribuiu com 26% da oferta de água do DF, contemplando as regiões administrativas de Brasília, Cruzeiro, Lago Norte, Lago Sul, Paranoá, Guará, Santa Maria e Sobradinho (GDF, 2011^a).

Tabela 10 - Uso e Ocupação do solo no DF Relacionada à Porcentagem de utilização da água da Bacia do Rio Paranoá (Fonte: CAESB/CONTREMAT ENGENHARIA, Plano de Gestão e Preservação do Lago Paranoá, produto 4, Relatório Final, Brasília, 2003).

Descrição	Área (Km ²)	% da Bacia
Culturas intensificadas, áreas e pastagem de alta produtividade.	6,02	0,58
Parque Nacional Reserva Ecológica e Jardim Botânico	683,38	66,09
Ocupação Urbana	190,06	18,38
Lagos e Lagoas	48,49	4,69
Cerrado, campos cerrados e cerrado.	106,11	10,26
Total	1034,07	100,00

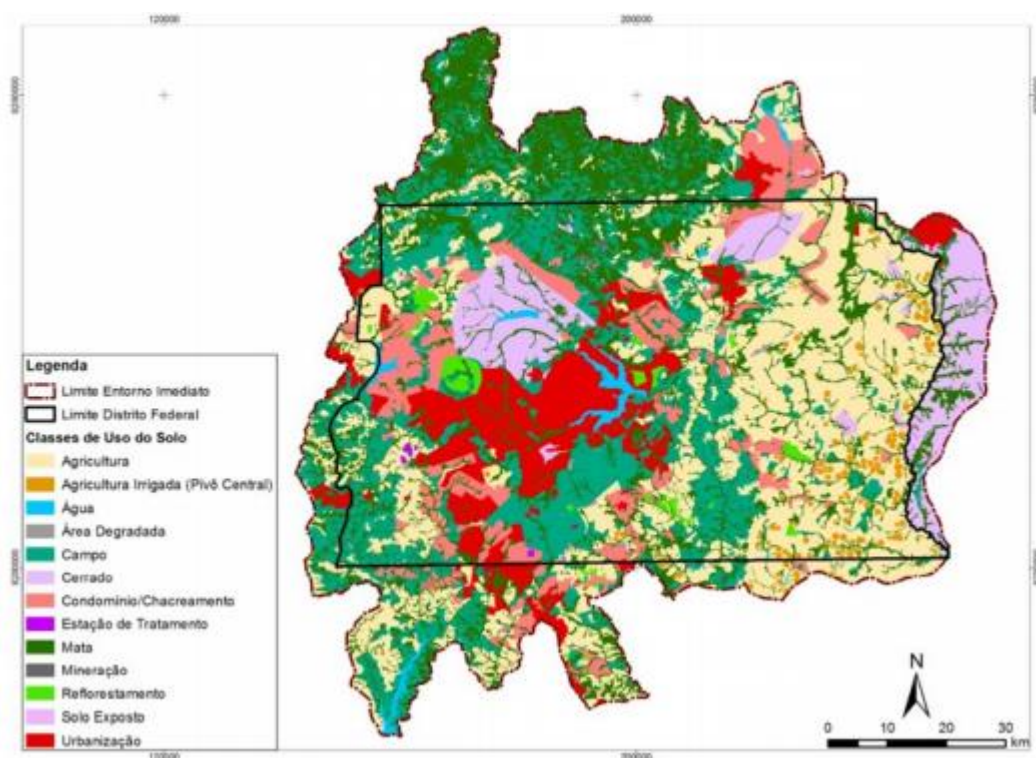


Figura 14- Uso e Ocupação da área de estudos. (Fonte: PGIRH/DF, 2012).

No DF, a Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP) é a responsável por gerenciar as obras e a organização das redes de drenagem (NOVACAP, 2007). A infraestrutura urbana empregada no Lago Paranoá como destinatário final tem 105 galerias de várias dimensões, vazões e extensões, e estas, despejam seus efluentes sem tratamento anterior, carregando os poluentes para um corpo hídrico capaz de abastecimento no Distrito Federal (CAEB, 2010). Outra informação referente diretamente a esse tema, é que Brasília possui 93,71% de alcance de coleta de esgoto, e 100% do esgoto coletado é tratado (Tabela 11) (SIESG, 2012). Futuramente o Lago Paranoá será usado pela CAESB como manancial de obtenção de água para o abastecimento da população. A Agência Nacional de Águas (ANA) outorgou após uma série de estudos, a legitimidade da retirada de $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Resolução da ANA nº 158 de 30 de março de 2009). Essa iniciativa tem como finalidade suprir a necessidade de 500 mil pessoas, e realça os sistemas de fornecimento de água já operantes (GDF, 2012^a).

Tabela 11- Índice de Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário. (Fonte: PDAD, 2013/2014).

Índice de Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário								
Região Administrativa	Rede Geral	Esgotamento a Céu Aberto	Fossa Rudimentar	Fossa Séptica	Outros	Domicílios Totais	Índice Atendimento	Déficit
Cruzeiro	10.122					10.122	100,00%	0,00%
Sudoeste/Octogonal	22.475					22.475	100,00%	0,00%
SIA	495			3		498	99,40%	0,60%
Brasília	76.301		66	462	33	76.862	99,27%	0,73%
Varjão	2.670		18	24		2.712	98,45%	1,55%
Taguatinga	64.680		462	966		66.108	97,84%	2,16%
Samambaia	62.400		825	1050		64.275	97,08%	2,92%
Candangolândia	4.620		140	40		4.800	96,25%	3,75%
Guará	37.080		870	570	60	38.580	96,11%	3,89%
Núcleo Bandeirante	7.125	15	60	300		7.500	95,00%	5,00%
Riacho Fundo II	10.420		160	400		10.980	94,90%	5,10%
Paranoá	11.928		616	112		12.656	94,25%	5,75%
Recanto das Emas	34.364		264	2068		36.696	93,65%	6,35%
Gama	35.905		430	2236	86	38.657	92,88%	7,12%
São Sebastião	25.355		1375	715		27.445	92,38%	7,62%
Santa Maria	30.576		1274	1568		33.418	91,50%	8,50%
Riacho Fundo	9.944		660	506		11.110	89,50%	10,50%
SCIA	8.040		680	260	20	9.000	89,33%	10,67%
Brazlândia	13.035			1815		14.850	87,78%	12,22%
Lago Sul	7.680		16	1120		8.816	87,11%	12,89%
Celiândia	107.199	79	9108	11714	10	128.110	83,68%	16,32%
Sobradinho	15.250	25	1400	1650		18.325	83,22%	16,78%
Itapoá	13.467		1037	1717		16.221	83,02%	16,98%
Águas Claras	31.556		1343	5376		38.275	82,45%	17,55%
Planaltina	41.415		2240	6731		50.386	82,20%	17,80%
Lago Norte	8.740		600	1660		11.000	79,45%	20,55%
Sobradinho II	10.530		3990	12510		27.030	38,96%	61,04%
Park Way	876		552	3900	12	5.340	16,40%	83,60%
Jardim Botânico	975		660	5865		7.500	13,00%	87,00%
Fercal	155	5	1075	1015		2.250	6,89%	93,11%
Vicente Pires	814		2574	16236	44	19.668	4,14%	95,86%
Total	706.192	124	32.495	82.589	265	821.665	85,95%	14,05%

Azul-Excelente; Verde-Bom; Amarelo-Mediano; Vermelho-Ruim.

A realidade socioeconômica da população residente do entorno da bacia do Lago Paranoá é complexa, e influencia diretamente nele. Vivem 600 mil pessoas nesta região, sendo, 12% (70 mil pessoas), morando em locais urbanos irregulares, com falta de saneamento básico, e com a falta de informação sobre a importância do lago e dos seus ecossistemas por essa parcela da população (TC/BR, 2005). O lago recebe o aporte de $200 Ls^{-1}$ de efluentes que já passaram pelo tratamento primário (STARLING et al.2002),. Este corpo hídrico possuiu um longo histórico de eutrofização, e segundo estes mesmos autores, começou a ser identificado no ano de 1976, e posteriormente sendo classificado como oligotrófico de 1993 a 1995, com o início do tratamento terciário, e de 1996 a 1998, classificado como oligotrófico (Tabela 12) (STARLING et al. 2002).

Tabela 12- Fases limnológicas do Lago Paranoá (Fonte: STARLING et al. 2002).

Anos	Cena LANDSAT	Fases da evolução limnológica do lago
1976 a 1992	08/05/1984	Eutrofização
1993 a 1995	07/06/1994	Oligotrofização 1- Controle de aportes
1996 a 1998	30/05/1997	Oligotrofização 2-fase inicial
1999 a 2001	10/06/2001	Oligotrofização 3- estabilização

Diante do exposto e a luz da Resolução CONAMA 357, fica evidente que o lago Paranoá necessita de uma gestão adequada que seja abrangente para os recursos hídricos no Distrito Federal. Assim, este trabalho tem como objetivo testar o IET de Carlson (1977) como indicador do estado trófico do Lago Paranoá, utilizando os parâmetros legais da resolução supracitada como respaldo legal na análise, e dados da ADASA de 11 pontos, entre os anos de 2015 e 2017, fósforo total para realização dos cálculos. O diagnóstico através desse índice permitirá averiguar a qualidade da água em relação á entrada de nutrientes do ecossistema aquático.

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

O Lago Paranoá foi gerado a partir do represamento do Rio Paranoá, no ano de 1956, este, que foi represado na cota de 997m acima do nível do mar, sendo um elemento definidor do sítio urbano previsto para a edificação de Brasília (PARENTE, 2013). A bacia do lago Paranoá está localizada na região central do Distrito Federal (DF) entre as latitudes 15° 35' e 15° 59' a sul e longitudes 47° 47' e 48° 05', compreendendo uma área de 1.034,07 Km², e 18% do território total, esta região detêm a maior densidade populacional do DF, com 813.946 mil habitantes (Figura 15) (IBGE, 2000).

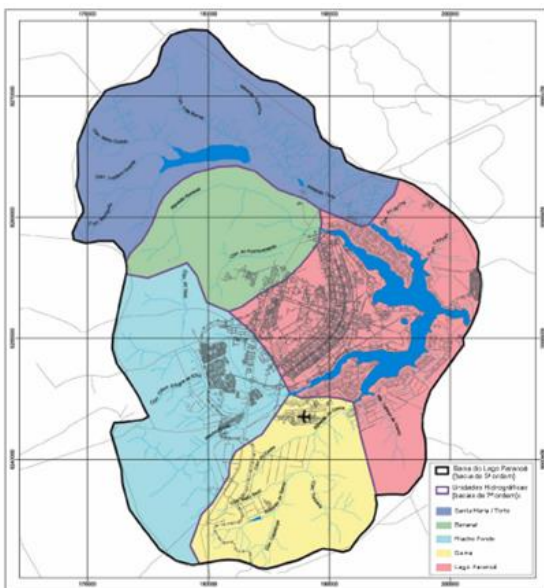


Figura 15- Carta de Unidades Hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá, sem escala. (Fonte: Adaptado de SEMARH,2001,).

O clima do DF pode ser definido por verões caracteristicamente chuvosos, dos meses de outubro a abril, período que representa 84% do total anual de precipitações (o trimestre mais chuvoso é de novembro a janeiro); e invernos secos, de maio a setembro (FERRANTE et al. 2002). A umidade do ar segue o padrão sazonal das chuvas. A temperatura média do ar é maior nos meses de setembro e outubro, e mais fria no mês de julho (CAESB, 2003). A evaporação é mais acentuada entre os meses de julho e setembro, alcançando seu pico em agosto. De acordo com a classificação de Köppen, o clima pode ser denominado de tropical savana (GDF, 2012^a).

A ocupação urbana preenche 190 Km² da área da bacia do Lago Paranoá, equivalendo a 18,38% da área total, realçando as Asas Norte e Sul (31Km²) e os Lagos Norte e Sul (14 e 16 Km² respectivamente). A bacia do lago colabora, com a recarga das águas dos tributários, com as drenagens pluviais urbanas, e com as águas tratadas das duas Estações de Tratamento de Esgotos denominadas ETE Sul e ETE Norte (PARENTE, 2006). O espelho d'água do lago apresenta 38m², com profundidade média de 14m, com período de permanência da água de 0,82 anos e volume de 498m 10⁶ m³ (STARLING et al. 2002). O lago dispõem quatro braços compostos por

riachos distintos: Riacho Fundo, Gama, Bananal e Torto (Figura 16) (STARLING et al, 2008). O Planalto de Brasília tem forma circular, dando padrão anelar à Bacia do Paranoá (PENTEADO, 1976). Os vales são rasos, abertos, e amplos, os desníveis na divisão e os talveques são pequenos, produzindo uma aparente senelidade. O Pediplano de Brasília está inserido no Pediplano Contagem-Rodeador através de uma ruptura, identificável pela presença de degraus. Ele ocupa abrangente área, apresentando cotas de 950 a 1200m, com chapadas, chapadões e interflúvios como característicos. Neste Pediplano encontram-se os Rios São Bartolomeu e Preto.

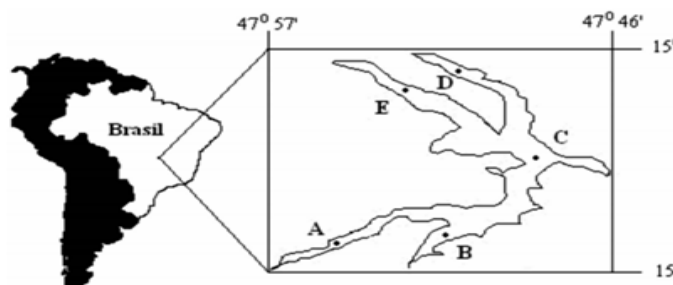


Figura 16- Lago Paranoá (DF), com pontos de coleta nos respectivos braços: Riacho Fundo (A), Gama (B), Bananal (E), Torto (D), e corpo central (C) (Fonte: ANGELINI, R. et Al).

A sub-bacia do Ribeirão do Torto apresenta uma área de drenagem de $249,76 \text{ Km}^2$, e seu curso mais importante tem 20 km de comprimento. O seu regime hídrico atual, em comparação com o passado, é visto como menos impactado, pois, sofreu modificações pela construção das barragens de Santa Maria e do Torto (ECHEVERRIA, 2003). O Ribeirão do Torto percorre a zona rural do Lago Oeste e da Granja do Torto, e outras áreas urbanas, desaguando no Lago Paranoá com vazão média de $2,89 \text{ m}^3/\text{s}$ (FERRANTE et al. 2001). O Ribeirão do Gama detêm área de drenagem de $142,4 \text{ Km}^2$, e seu fundamental curso tem 14 km de comprimento. Essa sub-bacia se origina na Mata do Catetinho, e deságua em direção do Lago Paranoá com vazão média anual de $1,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (GDF, 2012). Esse ribeirão exibe áreas preservadas como os córregos do Roncador, Taquara, e Capetinga (FONSECA, 2001). O Ribeirão do Riacho Fundo tem uma área de $225,5 \text{ Km}^2$, e seu curso mais importante mede 13 km, é nessa sub-bacia hidrográfica que está a maior densidade e diversidade populacional, uma vez que essa região compreende as Regiões Administrativas do Riacho Fundo, Núcleo Bandeirante, Guara, Candangôlandia, Park Way, Águas Claras, Setor Industriais, e locais com produção agrícola. Nessa área de grande trecho urbano decorre grande descarte de esgoto e lixo (ECHVERRIA, 2007). O Ribeirão do Bananal alonga-se por uma área de $127,74 \text{ Km}^2$, e está majoritariamente localizado no Parque Nacional de Brasília, abrangendo 33% do parque. Este ribeirão estende-se por 19,1 km e deságua no Lago Paranoá com uma vazão de $2,51 \text{ m}^3/\text{s}$ (FONSECA, 2001).

Os solos do Distrito Federal podem ser classificados em três principais classes, denominadas de Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo (C) (EMBRAPA, 1978). Esses três correspondem a 85,49% do território total (Figura 17). Os Latossolos equivalem a 54,47% e são divididos em LV (38,63%) e LVA (15,84%). A classe L é encontrada normalmente nos topos das chapadas, esta, que faz divisa com

os topos planos na Depressão do Paranoá e na Bacia do Rio Preto. A classe LVA é evidenciada nas bordas de chapada e divisores, em superfícies planas, abaixo dos topos da chapada da Contagem, adjacente à classe LV. O LVA situa-se excepcionalmente no divisor Descoberto-Preto. O Cambissolo (31,02%) é identificado comumente nas vertentes das bacias do Maranhão, do Descoberto e do São Bartolomeu. Esse solo está também presente nas encostas com maior declividade, como nas depressões do Paranoá e na Bacia do Rio Preto.

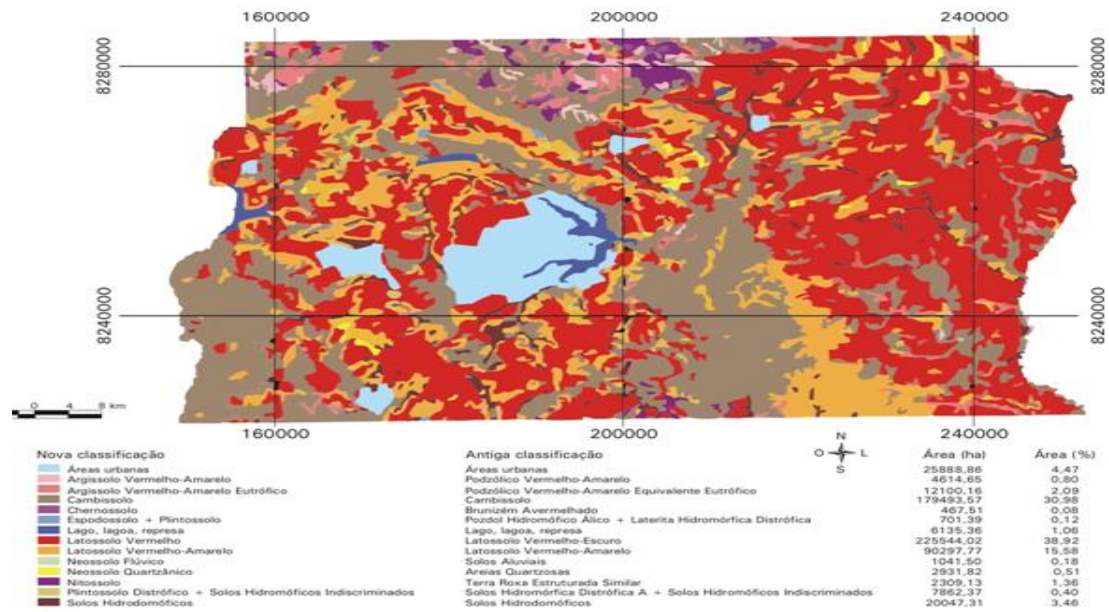


Figura 17- Mapa Pedológico Simplificado do DF (Fonte: EMBRAPA, 1978).

O Distrito Federal é formado por quatro conjuntos litológicos, sendo eles Canastra, Araxá e Bambuí e Paranoá, e suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares. O Grupo Paranoá representa 65% da área total do DF, e corresponde a uma unidade psamo-pelito-carbonatada, presente na parte externa da Faixa de Dobramentos Brasília (Freitas-Silva e Campos 1998). Foi desenvolvida uma coluna integrada para o Grupo Paranoá, designando siglas às diferentes unidades da base para o topo, segundo a estratigrafia: SM, R1, Q1, R2, Q2, S, A, R3, Q3, R4, PC (FARIA, 1995). Na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, segundo Freitas encontram-se, as seguintes unidades: S, A, R3 e Q3 (Figura 18) (SILVA & CAMPOS, 1998).

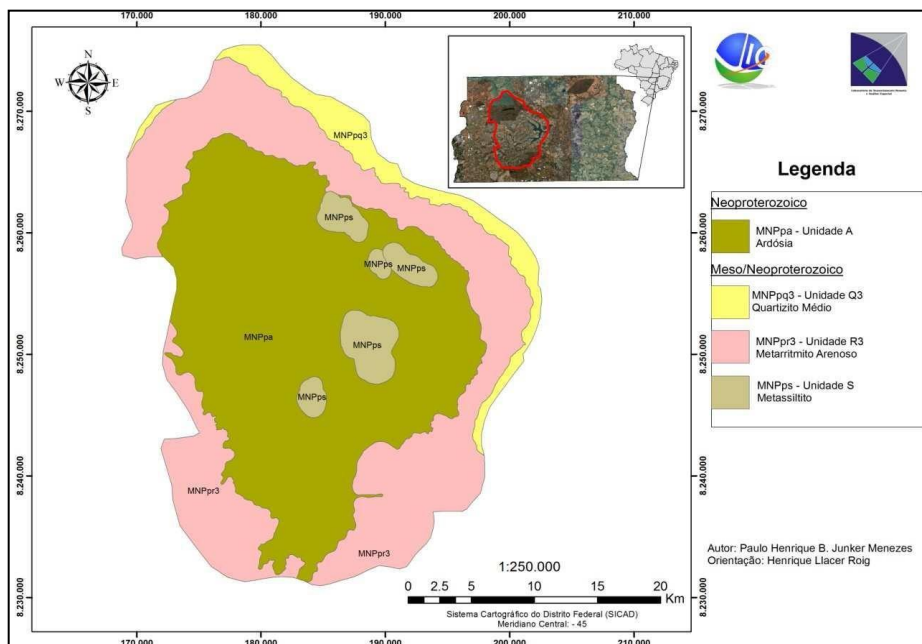


Figura 18- Mapa Geológico da Bacia do Lago Paranoá. (Fonte: MENEZES, 2010).

O DF está localizado entre as províncias hidrogeológicas do Escudo Central e do São Francisco. Nessa área os aquíferos fraturados e fissurocársticos são majoritários, e estão cobertos por solos e rochas modificadas com traços físicos e espessura modificável (Tabela 13 e Figura 19). A geologia do DF é identificável por rochas metamórficas, recobertas por densos solos, e estes podem ser distintos por meio de três classes de aquíferos que equivalem aos maiores reservatórios subterrâneos de água, o Domínio Aquífero Intergranular, o Domínio Aquífero Fraturado, e o Domínio Aquífero Fissuro-Cárstico. Entretanto, no Distrito Federal, há uma maior variabilidade de tipos litológicos nas unidades litoestratificadas, e para a identificação mais específica dos aquíferos, é necessário subdividi-los, ressaltando a sua pluralidade (CAMPOSS & FREITAS-SILVA, 1999).

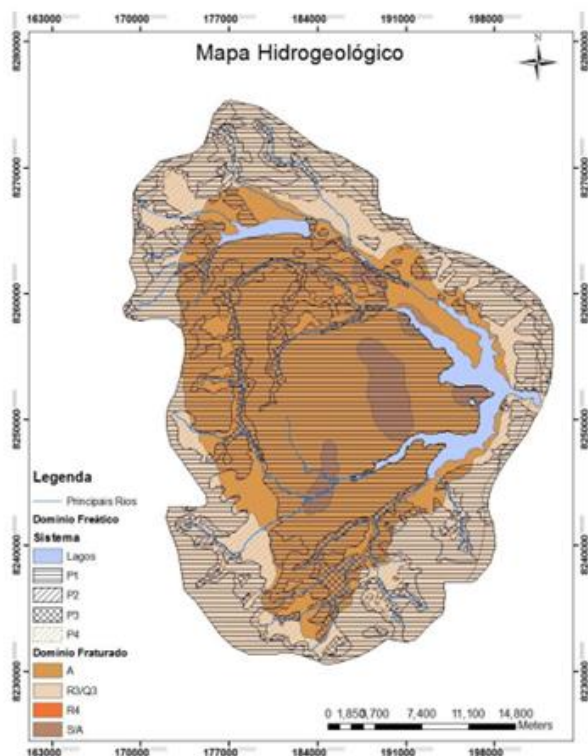


Figura 19- Mapa Hidrogeológico da Bacia do Lago Paranoá. (Fonte: Campos & Freitas-Silva, 1998; SEMATEC, 1994).

Tabela 13 – Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias. (Fonte: Adaptado de Campos & Freitas-Silva, 1999).

Domínio	Sistema	Subsistema	Vazão Média	Litologia/Solo Predominante
Freático	Sistema P1	-	<0,8	Latossolos Arenosos e Neossolos Quartzarênicos
	Sistema P2	-	<0,5	Latossolo Argissolos
	Sistema P3	-	<0,5	Plintossolos e Argissolos
	Sistema P4	-	<0,3	Cambissolos e Neossolo Litólico
Fraturado	Paranoá	S/A	12,5	Metassiltitos
		A	4,5	Ardósias
		R3/Q3	12	Quartzitos e metarritmitos arenosos
		R4	6,5	Metarritmitos argilosos

	Canastra	F	7,5	Filitos micáceos
	Bambuí	-	6	Siltitos e arcóscos
	Araxá	-	3,5	Mica, xistos
Fissuro-Cárstico	Paranoá	PPC	9	Metassiltitos e lentes de mármore
	Canastra	F/Q/M	33	Calcilifitos, quartzitos, mármore.

2.2 Pontos de Amostragem

A análise do IET no Lago Paranoá ocorreu por dados originários da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), por meio de coletas em onze pontos (Figura 20), sendo estes: Baía Ribeirão do Gama, Calçadão da Asa Norte, Ermida Dom Bosco, late Clube, Minas Tênis Clube, Honestino Guimarães, Ponte das Garças, Ponte JK e Prainha do Lago Norte, Barragem Santa Maria e Barragem Paranoá. Essas coletas aconteceram em dezembro de 2015, fevereiro, maio, agosto, outubro e novembro de 2016, e março de 2017.



Figura 20- Imagem dos Pontos de Amostragem: Ponto 1 (Calçadão da Asa Norte); Ponto 2 (Ermida Dom Bosco); Ponto 3 (late Clube); Ponto 4 (Minas Tênis Clube); Ponto 5 (Ponte Honestino Guimarães); Ponto 6 (Ponte das Garças); Ponto 7 (Ponte JK); Ponto 8 (Prainha Lago Norte); Ponto 9 (Barragem de Santa Maria); Ponto 10 (Ribeirão do Gama); Ponto 11 (Barragem do Lago Paranoá) (Fonte: Adaptado do Google Earth).

2.3 Cálculo do IET

O índice de estado trófico (IET) foi elaborado por Carlson (1977). Ele foi construído a partir das unidades de transparência, os níveis de fósforo total, ortofostato, e clorofila α ($\mu\text{g.L}^{-1}$). No IET, a transparência, é aferida utilizando o disco de Secchi (m), um utensílio barato, prático e fácil de ser manuseado. Ele é composto por um disco de 30 cm de diâmetro, nas cores preta e branca, dividido em quatro partes, fixado a uma corda graduada (BARROS, 2013). A interpretação da transparência de um ponto é realizada quando o disco não é mais visível na coluna d'água. Isso ocorre pelo entendimento na relação entre o aumento da concentração das algas e pela profundidade da luz na água. Será considerado nesse cálculo somente os valores de fósforo, uma vez que esse nutriente é compreendido como o mais relevante agente causador da eutrofização (SILVEIRA et al. 2011)

A fim de estabelecer o IET pelo experimento de Carlson (1977), foram usadas a seguinte equação:

$$\text{IET (FT)} = 10\left(6 - \frac{\ln \frac{48}{\text{FT}}}{\ln 2}\right)$$

Sendo: FT= concentração de fósforo total na superfície da água em $\mu\text{g/L}$

Em 2016 ocorreu mais de uma amostra, assim, foi realizada a média aritmética entre as amostras deste ano, a fim de alcançar um único valor de fósforo total. Posteriormente, para realizar o cálculo do IET, foi feita a média aritmética entre os IETs de cada ponto, simbolizando assim o IET médio geral do Lago Paranoá.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS

Ao examinar os valores absolutos de fósforo e após a conversão na unidade medida nos pontos da amostragem, de microgramas por litro para miligramas por litro, é evidenciado que todos os pontos de amostragem apresentaram valores maiores do que as determinadas pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/05 em mais de uma data, ressaltando o resultado encontrado no late Clube em 2015, com 351 $\mu\text{g/L}$ de fósforo (Figura 24). É importante salientar que em 2017 houve apenas uma coleta nos pontos amostrais. Mais coletas poderiam indicar com maior precisão um aumento da concentração de fósforo total (FT) no Lago Paranoá. Outro ponto a ser considerado, é que todas as coletas ocorreram nos mesmos meses, em diferentes anos. Ao realizar o cálculo do IET, é possível evidenciar que a maioria dos pontos amostrais tendem a um decréscimo, com a exceção do Calçadão da Asa Norte, Ponte das Garças e Barragem Santa Maria (Figuras 15, 20 e 30), que apresentaram um acentuado aumento no valor do IET encontrado. Em quatro dos onze pontos o lago é oligotrófico (Prainha Lago Norte, Ermida Dom Bosco, Ponte JK, e Barragem Paranoá), sendo em nenhuma das amostragens utilizadas o estado trófico superior ao mesotrófico (Figuras 22, 23, 28 e 31).

Os resultados obtidos apontaram para uma relevante diferença entre os valores encontrado do IET e de fósforo total por meio da média ponderada de todos os pontos amostrados no Lago Paranoá, e alguns pontos amostrais. Essa diferença ocorre de maneira mais acentuada nas concentrações de fósforo total do que em relação aos valores do IET, ressaltando o ano de 2015, que exibiu na maioria dos casos, os maiores valores de ambos os parâmetros analisados.

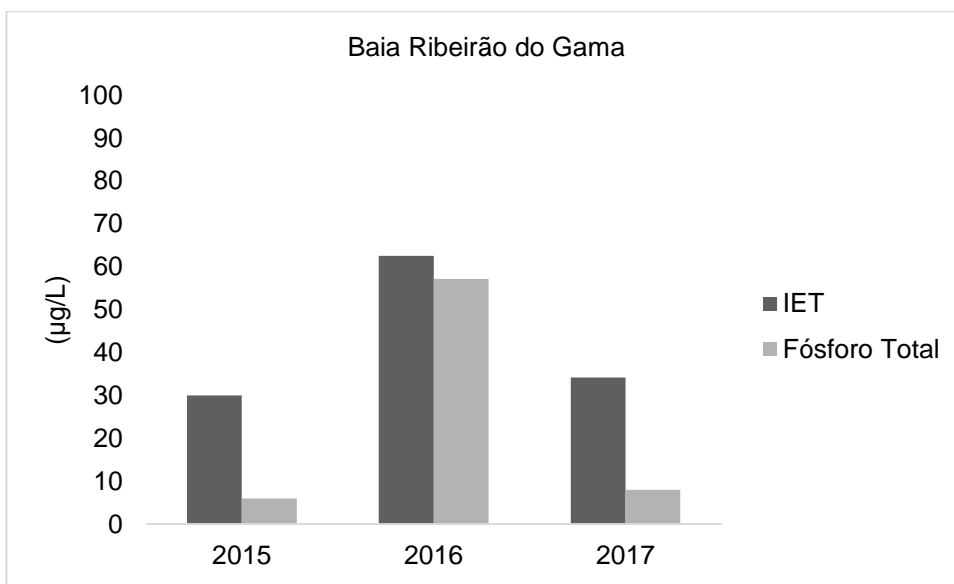


Figura 21- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Baía Ribeirão do Gama (Fonte: Adaptado de ADASA).

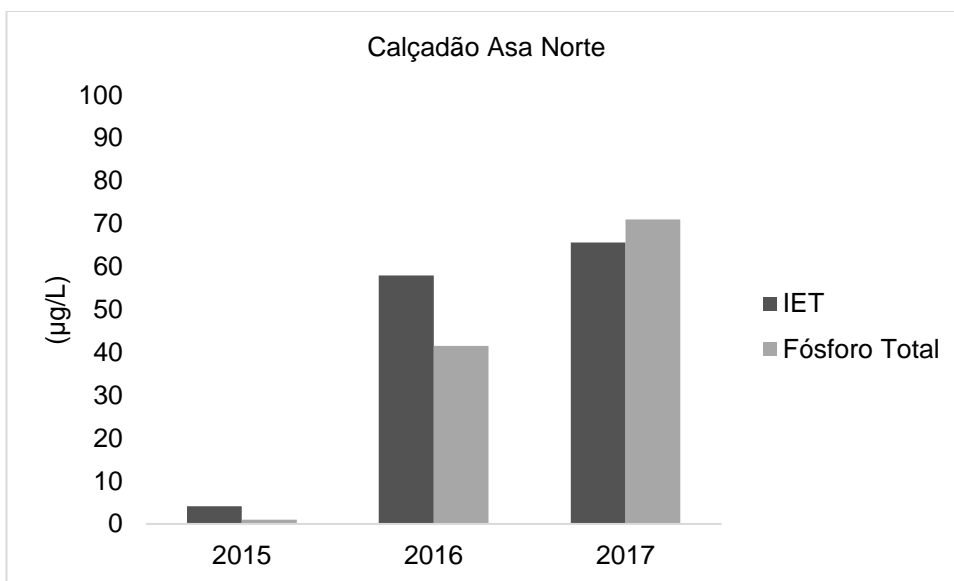


Figura 22- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Calçadão da Asa Norte (Fonte: Adaptado de ADASA).

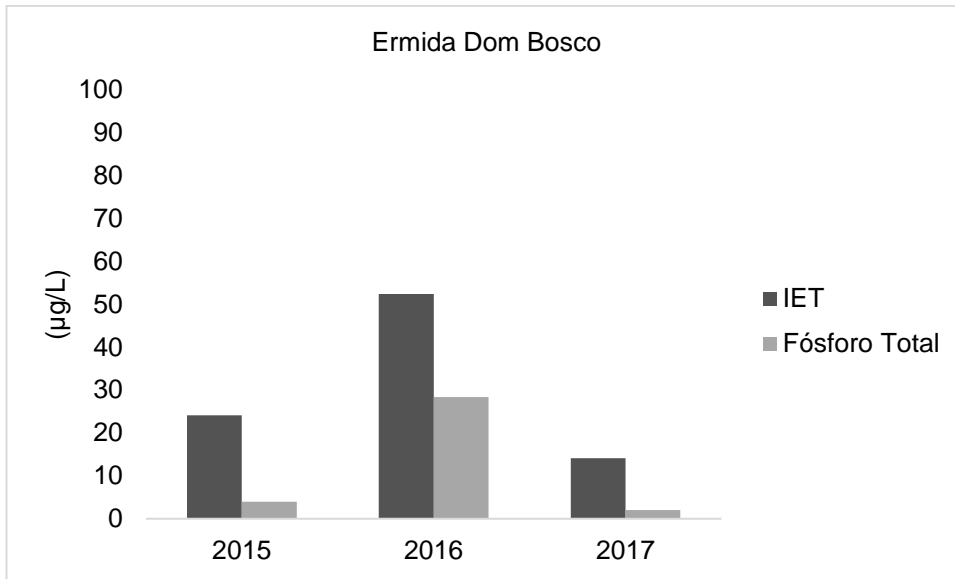


Figura 23- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Ermida Dom Bosco (Fonte: Adaptado de ADASA).

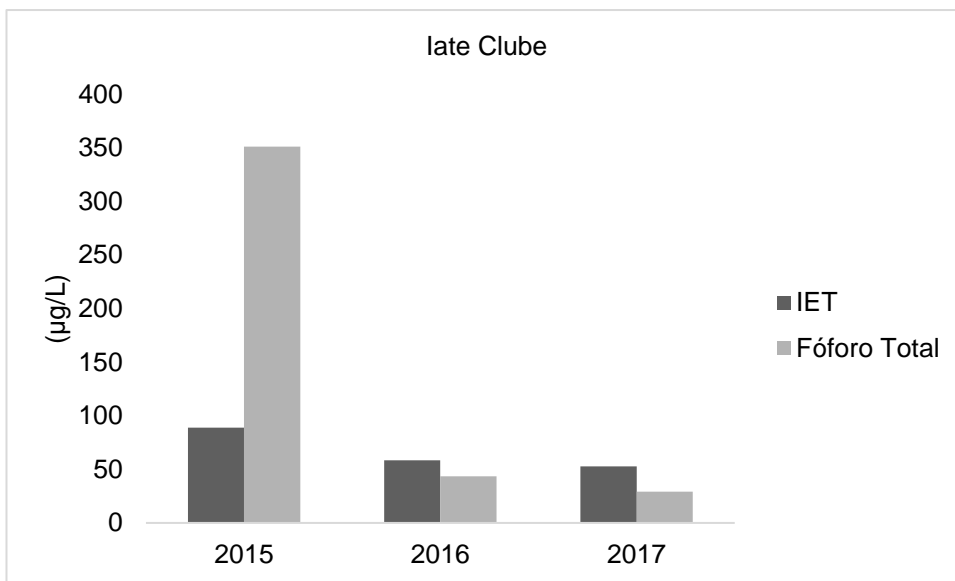


Figura 24- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- late Clube (Fonte: Adaptado de ADASA).

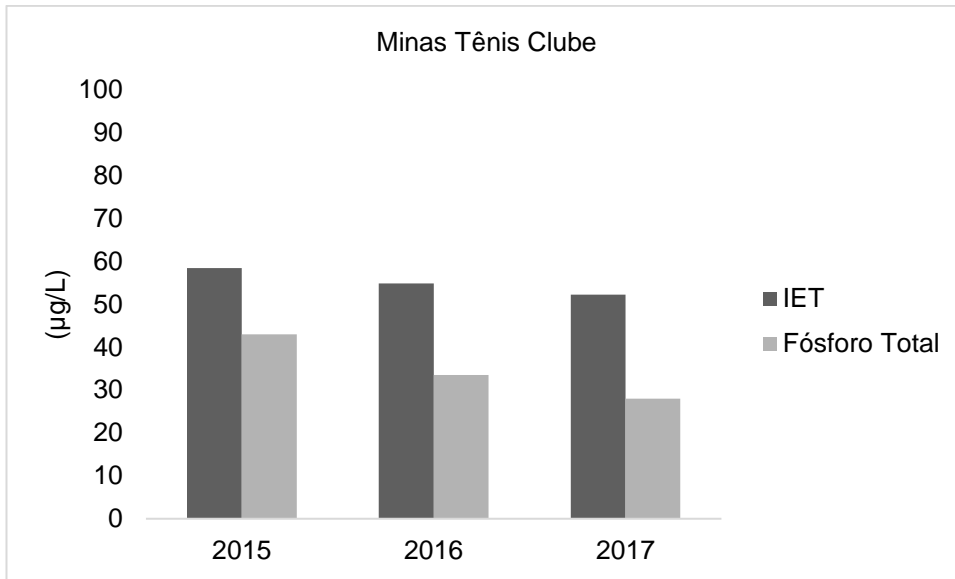


Figura 25- Variação do IET e Fósforo Total (FT)- Minas Tênis Clube (Fonte: Adaptado de ADASA).

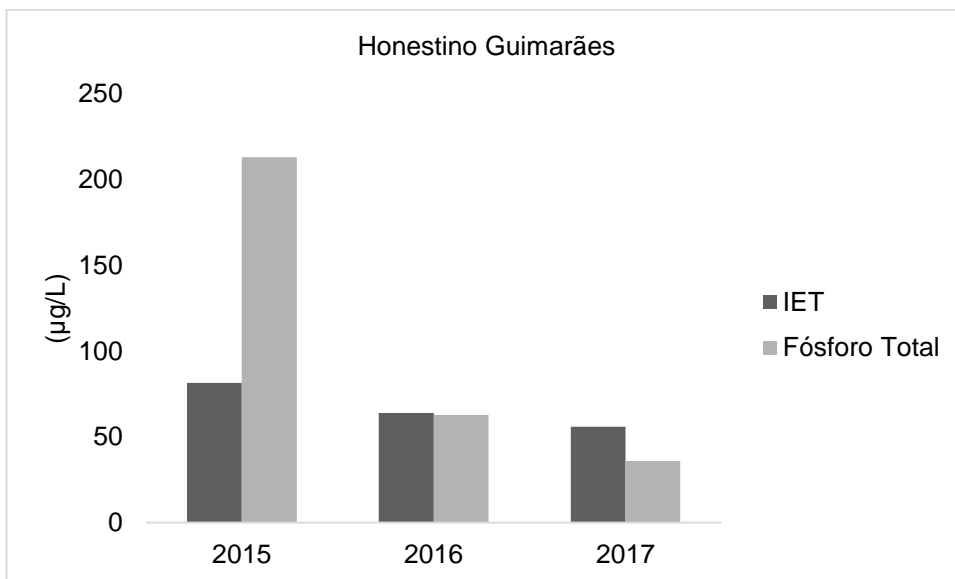


Figura 26- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Honestino Guimarães (Fonte: Adaptado de ADASA).

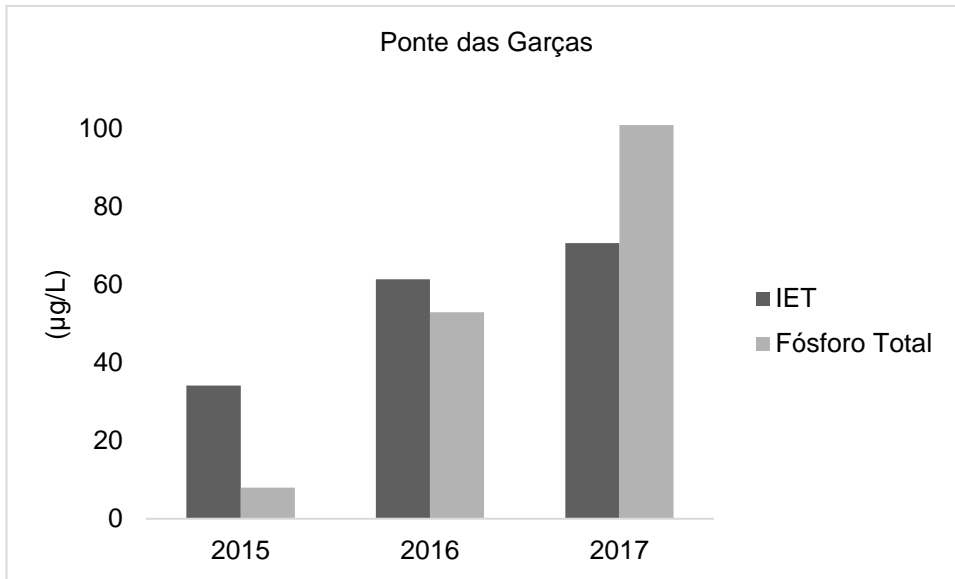


Figura 27- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Ponte das Garças (Fonte: Adaptado de ADASA).

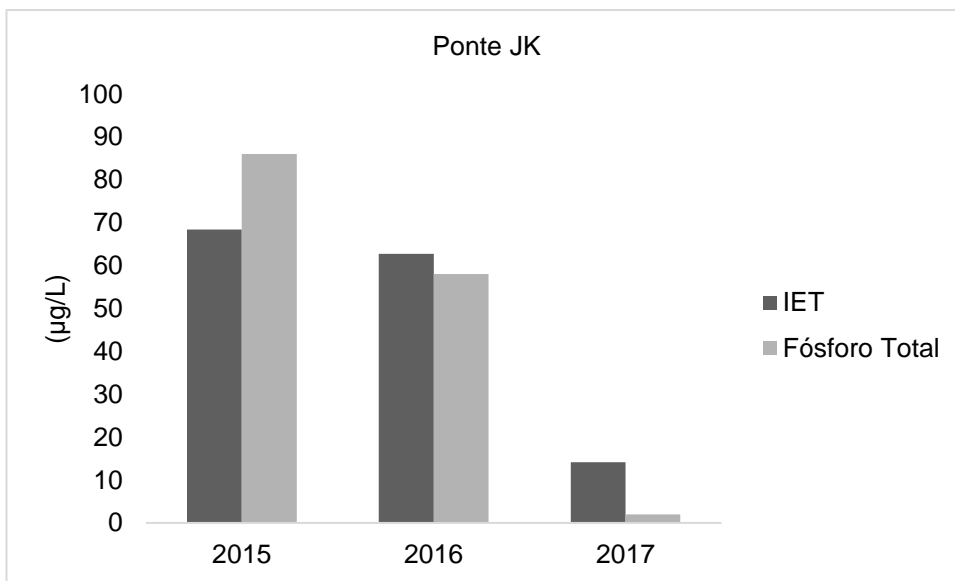


Figura 28- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Ponte JK (Fonte: Adaptado de ADASA).

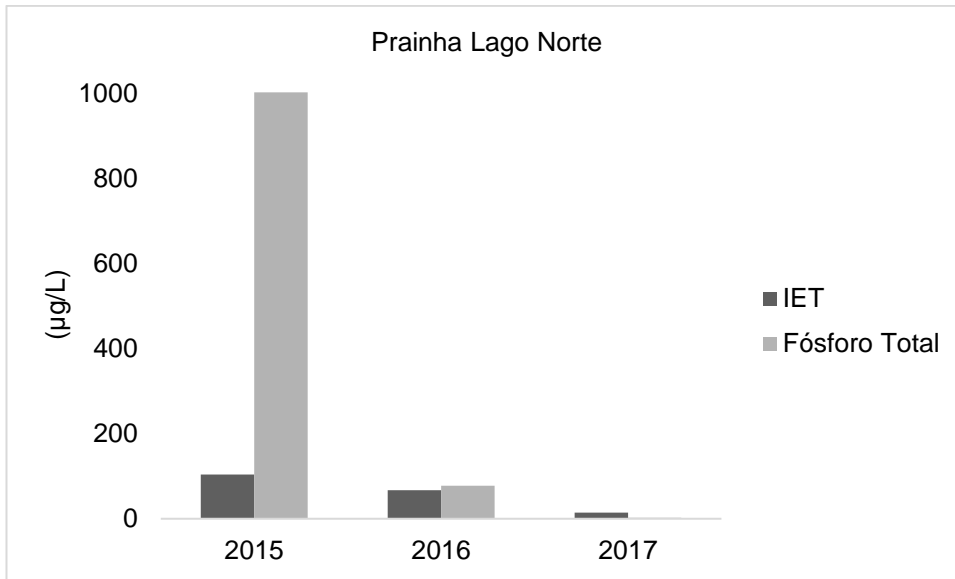


Figura 29- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Prainha Lago Norte (Fonte: Adaptado de ADASA).

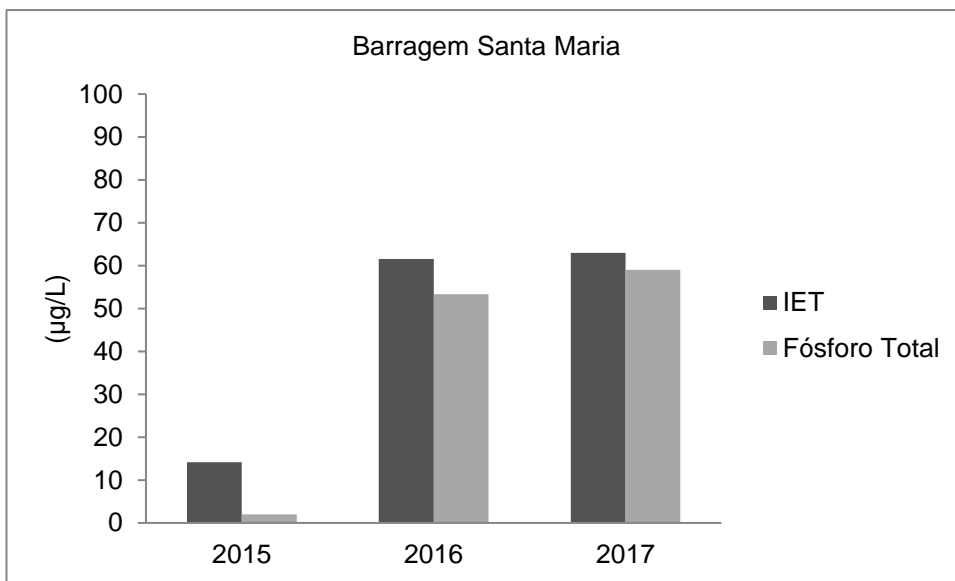


Figura 30- Variação IET e Fósforo Total (FT)-Barragem Santa Maria (Fonte: Adaptado de ADASA).

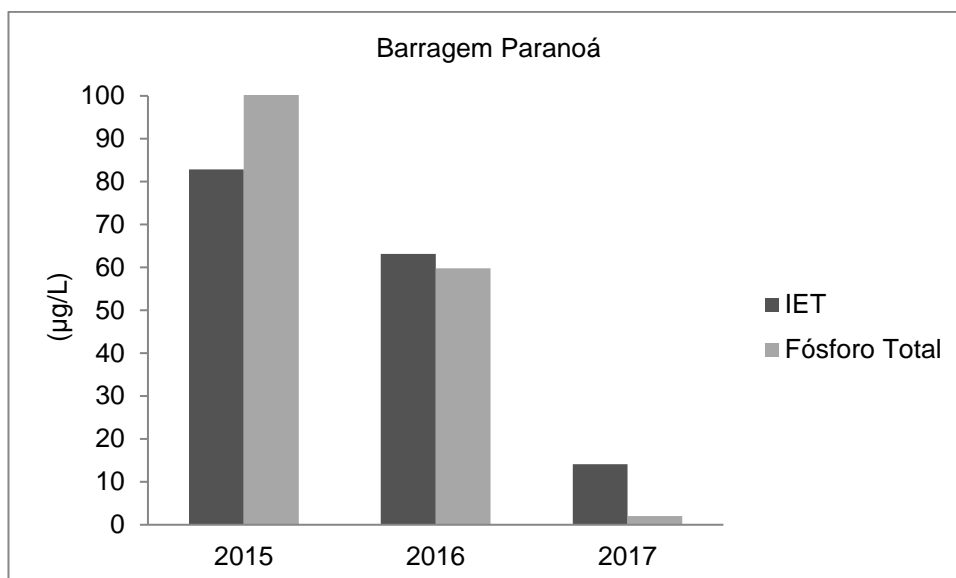


Figura 31- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Barragem Paranoá (Fonte: Adaptado de ADASA).

Após o cálculo do IET de todos os pontos (Figura 32), é possível classificar o Lago como mesotrófico (Tabela 7). Os valores encontrados nos três anos variam de 30 a 60 µg/L de fósforo, sendo em 2015 o seu maior valor, indicando assim um movimento de redução na concentração de fósforo e, conseqüentemente, uma diminuição da eutrofização no local. A concentração absoluta de fósforo total mostrou acentuada diminuição, sobretudo entre os anos de 2015 e 2016, quando passou de 177,45 µg/L para 51,67 µg/L. A amostra coletada em 2017 aponta, com o valor de 30,90 µg/L, um decréscimo mais leve, ao se comparar com o ano de 2016, entretanto, continua a inclinação nos três anos analisados de redução da concentração de fósforo no Lago Paranoá.

Tabela 14- Fósforo Total- Lago Paranoá (Fonte: Adaptado de ADASA).

Anos	IET- Lago Paranoá
2015	60,67
2016	55,21
2017	39,2

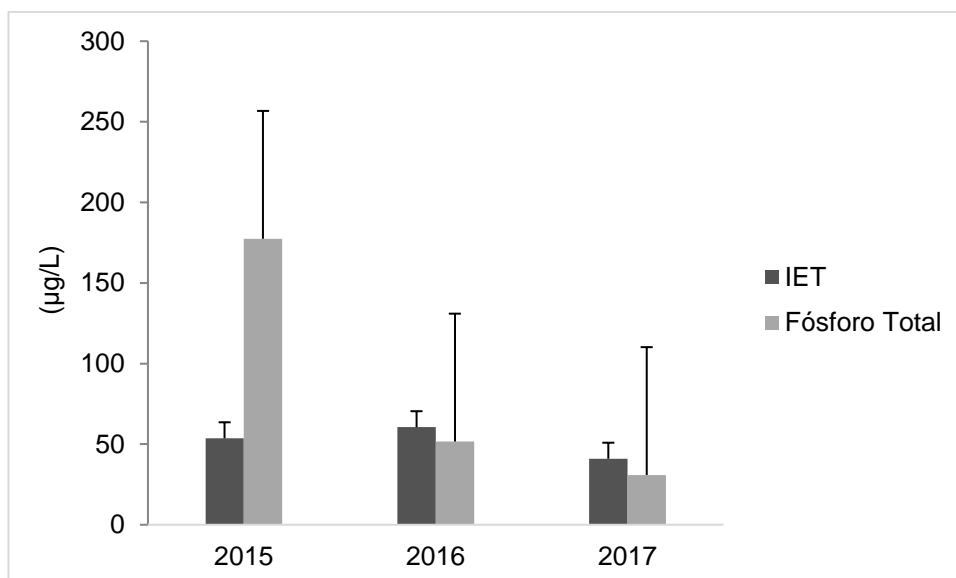


Figura 32- Variação IET e Fósforo Total (FT)- Lago Paranoá (Fonte: Adaptado de ADASA).

3.2 DISCUSSÃO

De acordo com a ADASA (2014), o Lago Paranoá apresenta as características associadas aos corpos d'água de água doce da classe 2, da Resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), todavia, as concentrações estabelecidas devem seguir as normativas da classe 1 (de maior restrição de usos e preservação). Os valores de fósforo total em ambientes lênticos precisam ser de no máximo 0,020 mg/L, e em tributários diretos, com períodos de permanência de 2 a 40 dias, com o limite de 0,025 mg/L.

Com os resultados adquiridos por meio do Índice de Estado Trófico, de 30 a 60 µg/L de fósforo total, é possível categorizá-lo como mesotrófico nos três anos utilizados como amostra (Tabela 7). Esse estado trófico é caracterizado a corpos hídricos com produtividade primária intermediária, com concentrações medianas de nutrientes, e estes, com uma dinâmica baixa; corpos d'água com transparência restrita, com inconstante presença de macrófitas, ressaltando em pequeno dano aos usos múltiplos da água, como por exemplo, natação, mergulho e irrigação de hortaliças (BRASIL, 2005; WALT et al. 2007). Os valores absolutos de fósforo total 177,45 µg/L em 2015, 51,67 µg/L em 2016 e 30,90 µg/L em 2017 (1,77 mg/L, 0,51mg/L e 0,30 mg/L após conversão) estão acima dos determinados pela Resolução CONAMA 357/05, e caso continuem nessa tendência, poderiam alterar o estado trófico do Lago Paranoá, tornando-o eutrófico. Transformando-se em eutrófico, a qualidade da água estaria mais deteriorada, influenciando mais nos usos múltiplos estipulados para a classe 2, entre eles o fornecimento de água após tratamento convencional (BRASIL, 2005; CETESB, 2009).

Para um melhor manejo, demandam-se ações dos órgãos governamentais responsáveis (BRASIL, 2005). A partir das informações do IET e fósforo total, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) seria capaz de monitorar, por exemplo, os pontos amostrais com maior estado trófico e concentração de fósforo total, especialmente

aqueles de trajetória ascendente, como nos Calçadão da Asa Norte, Iate Clube, Ponte das Garças e Barragem Santa Maria (Figuras 15, 17, 20 e 30) (STARLING et al. 2008). Essa iniciativa teria por objetivo restabelecer a qualidade d'água do Lago Paranoá, ao passo que, a ação conjunta entre o monitoramento, índices de qualidade ambiental e ações efetivas poderiam mitigar danos ao ecossistema aquático, além de evitar gastos maiores com tratamento d'água (USEPA, 2000b, STARLING et al. 2008).

Os resultados obtidos a partir do cálculo do IET e das concentrações absolutas de fósforo total podem indicar também um funcionamento ineficiente das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Para melhorar esse cenário, poderia ser realizado o flushing, que consiste na abertura das portas do reservatório, resultando na saída da camada superior da água (STARLING; PEREIRA; ANGELINI, 2002; ANGELINI; BINI; STARLING, 2008). Esse evento já aconteceu no ano de 1999, contribuindo significativamente na diminuição das concentrações de fósforo, comprovando assim a sua aplicação (MACHADO & BAPTISTA, 2016). Outra relevante intervenção para essa situação seria o aumento da rede de esgoto, sobretudo nas regiões urbanas (KLEIN et al. 2012). Há exemplos advindos de outros países para embasar o foco específico no saneamento básico, pois na Dinamarca o despejo de fósforo de fontes difusas e pontuais foi amenizado. O aprimoramento no tratamento das águas residuais urbanas e industriais originou a diminuição de 22% a 57% a concentração de fósforo nos corpos hídricos do país nos anos de 1990 (SOUZA et al. 2014). O valor de 30,9 µg/L (0,3 mg/L após conversão da unidade) evidenciado em 2017, mais de 10 vezes acima do permitido pela Resolução CONAMA 357/05, salienta ainda mais a necessidade de investimento em saneamento básico no Distrito Federal como uma alternativa produtiva para a controle das concentrações de fósforo no Lago Paranoá.

4. CONCLUSÃO

Nos anos analisados, foi observada redução do IET, entretanto, os valores de fósforo ainda continuam muito acima do permitido pela Resolução CONAMA 357/05. O uso do índice assegurou informações relevantes sobre o estado trófico dos pontos de amostragem, e essa informação não seria encontrada somente ao considerarmos o enquadramento deste corpo hídrico. A partir dos dados alcançados é necessário o desenvolvimento de mais pesquisas que possam aferir o motivo da discrepância entre o resultado de alguns pontos. Aqueles com tendência crescente de IET (FT) poderiam futuramente alcançar concentrações ainda maiores de fósforo, e chegar ao estado eutrófico, alterando ainda mais o ecossistema aquático e o uso da água do Lago Paranoá.

Todo esse cuidado com a água não é em vão, preservar os corpos d'água é fundamental, ainda mais se tratando da atual crise hídrica no Distrito Federal, e do fato do lago em ser uma fonte de fornecimento público para a cidade. Com isso, torna-se cada vez mais essencial a melhoria na gestão do lago, visando ações que possam propiciar seus diversos usos pela população do DF, como também manter as comunidades que nele residem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A, BAPTISTA et al. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 39-48. 2014
- A, BARROS. **Modelagem da poluição pontual e difusa: Aplicação do modelo moneris à bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco**. Mestrado em Engenharia Civil- Centro em Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2008.
- ADASA. Disponível em: ><http://www.adasa.df.gov.br/abastecimento-de-agua-e-esgoto/fiscalizacao/sistema-de-esgotamento-sanitario><. Acessado em: 10 de novembro de 2017.
- A, FIORUCCI; E, FILHO. A importância do oxigênio dissolvido nos ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**. 2005.
- A, MAIA et al. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.20, n.4. São Paulo, 2015.
- A, PARENTE. **Lago Paranoá: Lazer e Sustentabilidade Urbana**.2006.150f. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- A, SILVA et al. Ocorrência de algas cianofíticas em água de dessedentação de bovinos criados extensivamente. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. 2014.
- B, JARDIM. **Variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da bacia do Rio das Velhas- MG e sua associação com as florações de cianobactérias**. Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos- Escola da Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- BRASIL. **Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, Brasília, 2005.
- CARLSON, E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v.22, p.361-369, 1977.
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas interiores de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2004.
- C, BICUDO et al. **Águas do Brasil: Análises estratégicas**. Universidade de São Paulo- Instituto de Botânica. São Paulo, 2010.
- C, KLEIN; S, AGNE. Fósforo: de nutriente à poluente! **Revista Eletrônica em Gestão**, Educação e Tecnologia Ambiental. v(8), nº 8, p. 1713-1721. 2012.
- C, NOZAKI et al. Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. **Atas da Saúde Ambiental**, v.2, n.1. 2014.

C, SILVEIRA et al. **Determinação do índice de estado trófico de um manancial receptor de efluentes de estação de tratamento de esgoto.** II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. João Pessoa, 2011.

D, AGUSTINHO. **Complexidade na governança da água no DF: desafios para o Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Paranoá.** 2012.170f. Mestrado em Desenvolvimento Sustentável- Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

D, BICUDO et al. **Processo de eutrofização durante o antropoceno em represa urbana tropical com base no registro sedimentar de diatomáceas.** XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA III Encontro do Quaternário Sulamericano. Armação de Búzios, 2011.

E, CHENG. **Modelagem de Dados Geográficos e Aplicação de Indicadores para a Gestão dos Recursos Hídricos – Estudo de Caso da Bacia do Lago Paranoá – DF.** Mestrado em Geociências Aplicadas- Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

E, MARTINS et al. **Evolução geomorfológica do Distrito Federal.** Brasília, 2004.

E, RIVERA. **Modelo sistêmico para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de água.** Mestrado em Engenharia de Alimentos- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas. Campinas, 2003.

F, SANTOS et al. **Transparência associada à reflectância da água do reservatório Passo Real.** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. João Pessoa, 2015.

G, BAPTISTA & M, NETO. **O processo de eutrofização artificial no lago Paranoá, Brasília-DF.** Brasília, 2013.

I, COSTA; M, FERRARI. **Construção do lago artificial de Brasília e sua questão socioambiental.** VI Congresso Ibero Americano de Estudios Territoriales y Ambientales. São Paulo, 2014.

J, FARAGE et al. Determinação do índice de estado trófico para o fósforo em pontos do rio Pomba. **Engenharia na agricultura**, v. 18, n.4. Viçosa, 2010.

J, MEDEIROS. **Parques lineares ao longo de corpos hídricos urbanos: Conflitos e possibilidades; O caso da orla do Lago Paranoá-DF.** Doutorado em Arquitetura e Urbanismo- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

J, SOUZA et al. Aplicação das concentrações e proporções de nutrientes no diagnóstico da eutrofização. **Vértices**. V.16, n.1, p. 199-218. 2014.

L, BARRETO et al. **Eutrofização em rios brasileiros.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.9, N.16; p 15. Goiânia, 2013.

L, BARROS. **O índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense.** Mestrado em Gestão de Recursos Hídricos- Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

- L, DIAS. **Modelagem dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do lago Paranoá: 1998-2020**. Mestrado em Geociências Aplicadas- Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, 2011.
- L, LIPIRONI. **Estudo preliminar da qualidade da água do lago Paranoá, Brasília-DF, utilizando um modelo de qualidade de água bidimensional**. Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos- Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2012.
- M, COSTA. **Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do lago Paranoá**. Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos- Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2013.
- M, COSTA et al. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil**. ANA- Superintendência de Planejamento dos Recursos Hídricos. Brasília, 2007.
- M, LAMPARELLI. **Grau de trofia em corpos d'água no estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos- CETESB, 2004.
- M, MACHADO; G, BAPTISTA. **Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do lago Paranoá (DF)**. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.21, n.2. Rio de Janeiro, 2016.
- M, NETO; G, BAPTISTA. **O processo de eutrofização artificial no Lago Paranoá**. **Geonomos**, v.2, n.2. Brasília, 1994.
- M, PHILOMENO. **A comunidade fitoplânctonica e a restauração do lago Paranoá, Brasília-DF**. Doutorado em Ecologia- Instituto de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2017.
- M, POMPÊO. **Monitoramento e Manejo de Macrófitas Aquáticas em Reservatórios Tropicais Brasileiros**. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- M, SPERLING. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. DESA-UFMG. 1996.
- N, COSTA. **Estudo geoquímico e de contaminantes emergentes na bacia do lago Paranoá**. Mestrado em Geociências Aplicadas- Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, 2014.
- R, ANGELINI et al. **Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do Lago Paranoá**. 2008.
- R, BOTELHO; V, TORNISIELO. **O processo de eutrofização artificial no Lago Paranoá**. **HOLOS Environment**, v.14, 2014.
- R, BROSTEL. **“Lago Paranoá: Visão de Futuro”**. CAESB. 2015.
- R, OLIVEIRA; C, VALLE. **Impactos da eutrofização em uma lagoa urbana em Manaus/AM**. Manaus, 2009.
- R, ROSA et al. **Importância dos Ciclos Biogeoquímicos para a o desenvolvimento sustentável**. Universidade de São Paulo- Instituto de Química. São Carlos, 2003.

SABESP. **Norma Técnica Interna SABESP: Método de Ensaio**. São Paulo, 1997.

S, SILVA et al. **Análise crítica da Resolução CONAMA 357 à luz da diretiva quadro da água da União Européia: Estudo de Caso (represa do Guarapiranga)**. São Paulo, 2015.

T, FREITAS. **A expansão urbana no Distrito Federal e a dinâmica do mercado imobiliário: o caso do Gama**. Mestrado em Geografia- Departamento de Geografia, Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

Z, PESSÔA. **Efetivação do enquadramento de corpos d'água para fins de consumo humano em regiões semiáridas: Avaliação conforme Resolução CONAMA 357/2005 e Portaria MS 2914/2011**. Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento- Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.