

A qualidade da água do Lago Paranoá: uma análise temporal e tendência de 1992-2022

Ana Lis Rangel Ferreira

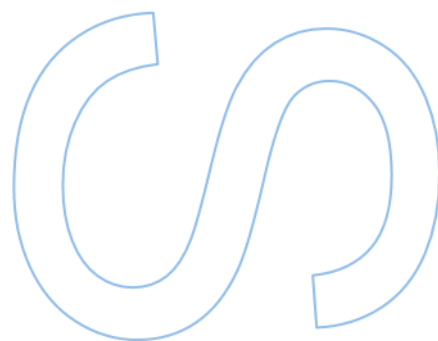
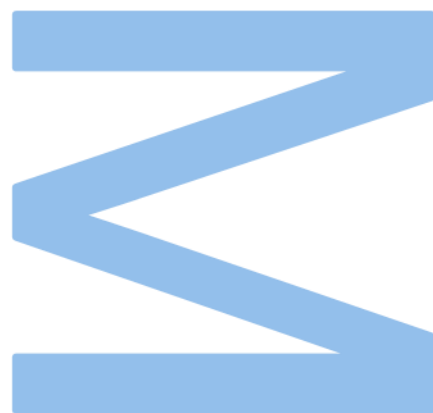
Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2023

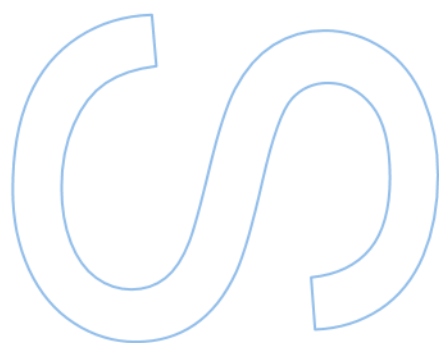
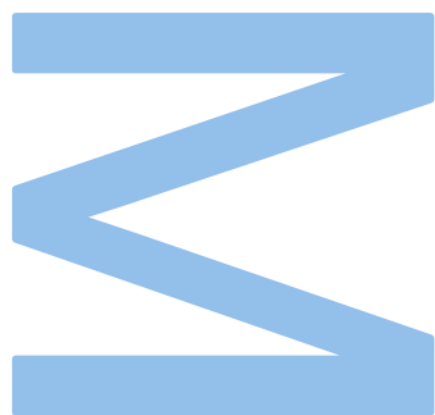
Orientador

Mauro Roberto Felizatto, Pesquisador Colaborador, UNB
(Universidade de Brasília)

Coorientador

José Américo Sousa, Professor Auxiliar, FCUP/UPT





A todos aqueles que me fizeram forte nos meus momentos de maior fragilidade, e que acreditaram em mim quando nem eu mesma acreditei.

Eu sou o que sou por que nós somos.

Agradecimentos

Devo começar meus agradecimentos citando a minha própria pessoa, já que somente eu sei de todas as milhares de vezes em que pensei em desistir, e mesmo assim, decidi dar ouvido às pessoas que amo e que me convenceram sempre do contrário. Dentre essas, meus maravilhosos pais, que nunca pensaram em cortar minhas asas, e sempre me deram impulso para voar, e um lar ao qual voltar. Obrigada por me adotarem, vocês escolheram me amar, me colocaram em vossas vidas de bom grado e me fazem feliz desde o nosso primeiro dia juntos nesta terra. A minha tia Maria, que cuidou dos meus pais durante o tempo em que morei fora, e que cuida de mim desde que eu cheguei nessa família, eu sou e serei sempre eternamente grata por todo carinho e dedicação. Ao meu companheiro, Paulo Henrique, que abandonou sua vida inteira para voar comigo até o outro lado do mundo e me apoiar incansavelmente durante a vida que tive em Portugal, eu vou passar todos os meus dias lhe agradecendo e nunca será o suficiente! Minha família biológica, minha mãe e minhas irmãs, que sempre despositaram sua fé em mim, enchugaram milhares de lágrimas (inclusive a distância) e me trouxeram e trazem conforto mesmo durante as tempestades. A minha melhor amiga Raissa, que me provou que a distância é de fato somente alguns números, a conexão de alma ignora todos os fatores e nada pode mudar ou abalar isso. A minha amiga Laura, porque mesmo ambas brasileiras e nascidas no mesmo dia, a vida nos apresentou somente em Portugal, exatamente no momento em que eu mais precisava de luz, você foi a minha. Ao meu coorientador e professor José Américo, o senhor me enxergou quando eu estava invisível, me estendeu a mão e fez mais por mim em 1 mês do que outros haviam feito em 1 ano. São Professores humanos e gentis como o senhor que mudam e salvam vidas, obrigado pelo olhar de cuidado com os seus alunos, sem fazer qualquer tipo de distinção. Ao meu orientador Mauro Felizatto, que mesmo em sua melhor fase de vida, em plena aposentadoria, abraçou ao meu propósito e a mim, cuidou de forma individual de cada um dos meus medos e inseguranças, e me mostrou que as coisas não são tão pesadas quanto parecem ser, quando temos no nosso caminho pessoas boas e cheias de luz. Aos colegas da CAESB, pela disponibilidade dos dados aqui utilizados, mas principalmente um agradecimento especial por todas as palavras de força e incentivo, pelo apoio e carinho. Por fim, à espiritualidade que me acompanha desde antes do meu nascimento, me cuida e nunca desampara, e que me apresentou a minha família de Santo, que me ensina diariamente a ser uma pessoa melhor, a acreditar mais em mim e a ter mais fé. Eu sou grata porque eu sou uma mas não sou só.

Resumo

O Lago Paranoá, localizado em Brasília, a Capital do Brasil, é um dos maiores lagos artificiais do mundo. É utilizado para prover água à população, além de auxiliar na regulação do clima tipicamente seco do bioma cerrado/savana e servir de área de lazer aos habitantes. A qualidade da água do lago já foi considerada muito ruim devido a intensos processos de eutrofização, mas com a criação de Estações de Tratamento e com intervenção de especialistas, é notável a melhora dessa água com o passar dos anos. O presente estudo tem por objetivo analisar dados providos pela CAESB coletados no Lago Paranoá ao longo dos últimos 31 anos, para através de 3 metodologias: Índice do Estado Trófico (tropical e subtropical) em comparação ao CONAMA 357/2005, Índice de Conformidade ao Enquadramento e Método Simplificado (proposto por Sallas e Martino) CEPIS e um Teste de Tendência (Mann-Kendal). Os resultados obtidos são capazes de demonstrar a evolução e a melhora da qualidade da água do Lago Paranoá de 1992 até 2022.

Palavras-chave: Lago Paranoá, qualidade da água, IET, CONAMA 357/2005, ICE, Salas e Martino.

Abstract

The Paranoá Lake, located in Brasília, the capital of Brazil, is one of the largest artificial lakes in the world. It is used to supply water to the population, in addition to assisting in regulating the typically dry climate of the cerrado/savanna biome and serving as a recreational area for the inhabitants. The lake's water quality was once considered significantly poor due to intense eutrophication processes, but after the creation of treatment stations and expert intervention, a noticeable improvement in the water quality has occurred over the years. The present study aims to analyze data provided by CAESB collected at Paranoá Lake over the past 31 years, using three methodologies: Trophic State Index according to CONAMA 357/2005, Compliance Index for Water Quality Standards, and Simplified CEPIS (for Salas e Martino) and a Trend Test (Mann-Kendal). The results obtained are able to demonstrate the evolution and improvement of the water quality of Paranoá Lake from 1992 to 2022.

Keywords: Paranoá Lake, water quality, TSI, CONAMA 357/2005, WQI, Salas and Martino.

Índice

Lista de Tabelas	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Abreviaturas	viii
Introdução.....	1
1. Material.....	7
1.1. Área de estudo	7
1.2. Dados limnológicos.....	9
2. Métodos.....	10
2.1 Método Simplificado de Salas e Martino	10
2.1.1 Teorema de Bayes	13
2.2 Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE).....	14
2.3 Índice do Estado Trófico (IET)	18
2.4 Análise estatística – Teste de Tendência (Mann Kendall)	20
3. Resultados.....	21
3.1 SALAS E MARTINO	21
3.2 ICE	28
3.3 IETtst.....	36
3.4 TESTE DE MANN-KENDALL	44
Conclusão.....	45
Referências Bibliográficas	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores de fósforo total e clorofila-a de média e desvio padrão utilizados nos cálculos. Fonte: adaptado de Salas e Martino (1990).	12
Tabela 2 - Categorias de classificação do WQI adaptadas para a língua portuguesa. Fonte: CCME WATER QUALITY INDEX USER´S MANUAL 2017 UPDATE	16
Tabela 3 - Classificação IETtst, adaptado de Cunha et al. (2013).....	19
Tabela 4 - Resultado Teste de Mann-Kendall para ICE e IET	44

Lista de Figuras

Figura 1 - pontos de amostragem da CAESB no Lago Paranoá, braços A, B, C, D e E	9
Figura 2 - Distribuição de probabilidade de nível trófico de lagos tropicais quentes com base no fósforo total. Fonte: CEPIS (1990).....	10
Figura 3 - Distribuição de probabilidade de nível trófico de lagos tropicais quentes com base na clorofila-a. Fonte: CEPIS (1990).....	11
Figura 4 - Modelo Conceitual do Índice de Conformidade ao Enquadramento. Fonte: adaptado CCME (2001)	14
Figura 5 – Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Lago Paranoá de 1992 até 2022.....	21
Figura 6 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Lago Paranoá de 1992 até 2022.....	22
Figura 7 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço A de 1992 até 2022.....	22
Figura 8 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço A de 1992 até 2022.....	23
Figura 9 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço B de 1992 até 2022.....	24
Figura 10 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço B de 1992 até 2022.....	24
Figura 11 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço C de 1992 até 2022.....	25
Figura 12 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço C de 1992 até 2022.....	25
Figura 13 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço D de 1992 até 2022.....	26
Figura 14 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço D de 1992 até 2022.....	26
Figura 15 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço E de 1992 até 2022.....	27
Figura 16 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço E de 1992 até 2022.....	27
Figura 17 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Lago Paranoá de 1992 até 2022	28
Figura 18 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço A de 1992 até 2022	29

Figura 19 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço B de 1992 até 2022	29
Figura 20 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço C de 1992 até 2022	30
Figura 21 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço D de 1992 até 2022	30
Figura 22 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço E de 1992 até 2022	31
Figura 23 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Lago Paranoá de 1992 até 2022	32
Figura 24 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço A de 1992 até 2022	33
Figura 25 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço B de 1992 até 2022	33
Figura 26 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço C de 1992 até 2022	34
Figura 27 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço D de 1992 até 2022	34
Figura 28 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço E de 1992 até 2022	35
Figura 29 – Resultados da aplicação do IETtst no Lago Paranoá de 1992 até 2022 ..	36
Figura 30 - Resultados da aplicação do IETtst no Lago Paranoá de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005	37
Figura 31 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço A de 1992 até 2022	37
Figura 32 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço A de 1992 até 2022 de acordo com o CONAMA 357/2005.....	38
Figura 33 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço B de 1992 até 2022	39
Figura 34 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço B de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005	39
Figura 35 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço C de 1992 até 2022.....	40
Figura 36 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço C de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005.....	40
Figura 37 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço D de 1992 até 2022.....	41
Figura 38 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço D de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005	41
Figura 39 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço E de 1992 até 2022	42
Figura 40 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço E de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005.....	42

Lista de Abreviaturas

CAESB	COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO
CCME	
CEB	COMPANHIA ENERGÉTICA DE BRASÍLIA
CEPIS	CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CHLA	COLORÍMETRO
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
DF	DISTRITO FEDERAL
ETE _s	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO
GDF	GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
ICE	ÍNDICE DE CONFORMIDADE DO ENQUADRAMENTO
IET	ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO
IET _{TST}	ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO TROPICAL E SUBTROPICAL
N-NH ₃	NITROGÊNIO AMONÍACO
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
OECD	ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
OMS	ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE
PNUD	PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO
PT	FÓSFORO TOTAL
TURB	TURBIDEZ
WQI	WATER QUALITY INDEX

Introdução

A água encontra-se dividida de forma desigual pelo mundo, estando em sua maioria (97%) água salgada e imprópria para consumo, e em minoria (3%) água doce, com boa parte adequada para consumo. A maior parte dessa água salgada encontra-se distribuída por mares, oceanos e alguns poucos lagos salinos, e esta não é comum de ser utilizada para consumo, abastecimento ou irrigação (a menos que passe por metodologias de dessalinização). O pouco de água doce disponível em nosso planeta localiza-se, a maior parte, em forma de gelo nas calotas polares, seguido das águas subterrâneas (lençóis freáticos e aquíferos) e, apenas 0,9% em lagos e rios, que são, diversas vezes os principais pontos de obtenção do recurso em determinados locais (PENA, 2022).

A Resolução CONAMA nº 357, de 2005, classifica no Brasil as águas de acordo com a quantidade de salinidade em: doce (igual ou inferior a 0,5%), salobra (entre 0,5 e 30%) e salina (superior a 30%). Cada uma delas é dividida em outras classes, para determinar sua aplicabilidade e quais padrões específicos devem ser seguidos para manter a qualidade da água.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) é responsável por acompanhar e recomendar o padrão de valor máximo de tóxicos presentes na água, através de estudos e publicações realizadas por todo o mundo. No Brasil, os padrões de potabilidade seguidos são os recomendados pela OMS no *Guidelines for drinking-water quality* (WHO, 1996).

Esses padrões são referências seguidas a fim de obter água de qualidade, seja essa obtida de forma natural/bruta ou através de tratamentos químicos efetuados. Porém, a existência de regras reguladoras não garante que os padrões sejam, de fato, seguidos. É essencial a participação de uma sociedade ativa, a comunidade científica e os setores públicos, para garantir que os valores determinados estão sendo seguidos e a lei sendo cumprida (FREITAS; FREITAS, 2005).

O controle da água própria para consumo humano é responsabilidade da Portaria GM/MS Nº888, de 2021, do Ministério da Saúde, que define a frequência com que deve ocorrer a amostragem da água para análise da qualidade, dentro dos padrões estabelecidos de microrganismos e substâncias químicas (BRASIL, 2021).

No Brasil, 35 milhões de pessoas não possuem água tratada e 104 milhões não têm acesso à coleta de esgoto. Desses brasileiros não alcançados pelo serviço de esgoto,

40% tem como renda até um salário mínimo (R\$1.100/€ 220), enquanto apenas 2% dos que não têm acesso a água tratada recebem até 5 salários mínimos (R\$5.500/ €1.100) (IBGE, 2019).

O aumento da urbanização, conseqüentemente, gera o aumento da presença de substâncias químicas e biológicas nas águas das áreas que banham ao redor, causando problemas relacionados a hidrocarbonetos, amônia, quantidade de oxigênio, presença de metais e sólidos. Costumam ser observados maiores quantidades de fósforo e alguns contaminantes orgânicos formados a partir de hidrocarbonetos alifáticos e petróleo (PAUL; MEYER, 2001).

No Brasil, a capital apresenta altos índices de coleta e tratamento de esgoto, diferente das demais cidades do país. Ainda, ecossistemas de água doce apresentam sensibilidade e, mesmo que os efluentes cheguem tratados, o aporte de nutrientes, principalmente do fósforo, limita a produtividade local. Por tanto, avaliar as condições tróficas dos lagos é essencial para preservar a qualidade da água (RODRIGUES *et. al*, 2007).

Durante o ciclo da água, diversas impurezas podem se acumular, em função de atividades humanas, o que afeta a capacidade da água de ser utilizada em algumas funções. Entretanto, definir a água como “poluída” é uma missão um tanto quanto profunda, já que as situações são muito diversas e, por vezes, a definição correta é “contaminada”. Assim, tem-se a contaminação como a presença de substâncias indevidas no local, e a poluição quando essas substâncias prejudicam e degradam o ambiente, dependendo do poluente, da quantidade e do contexto (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

Para cuidar devidamente da saúde da população é necessário compreender doenças que têm relação com o saneamento básico, principalmente as vias de transmissão e o funcionamento do ciclo dos patógenos. A interação entre o ser humano e o meio ambiente é a principal forma de propagação destas doenças, dependendo da área onde a população está localizada e a organização do território (BRASIL, 2004).

As doenças de veiculação hídrica são organizadas em 4 grupos, de acordo com a forma como são transmitidas: transmissão por inseto (quando há procriação na água ou a pessoa é picada); transmissão pela ingestão d’água; transmissão por higiene (quando há falta de higiene doméstica e pessoal); transmissão por animais aquáticos (consumo de indivíduos infectados) (CAIRNCROSS & FEACHEM, 1993; HELLER, 1997).

Doenças graves como hepatite A e E, cólera, febre tifóide, e as causadas por *E.coli* e *Shigella spp.*, podem ser transmitidas através da água, mesmo que o sistema de abastecimento através de tratamento químico reduza o risco de contaminação, não há como garantir a plena certeza. O que se pode afirmar é que o uso do cloro, por exemplo, tem algum sucesso contra patógenos protozoários; a turbidez da água de fato dificulta a desinfecção dos microrganismos e incita a multiplicação de bactérias (OMS, 2006).

Assim, outras formas de tratamento se fazem necessárias, além da filtração, proteção das fontes de abastecimento, o armazenamento e distribuição. É importante monitorar também os vírus entéricos, que são responsáveis por causar de 30 a 90% das gastroenterites no mundo atualmente (BOSCH et al., 2008).

O Brasil é considerado uma área de grande risco para a Hepatite A (a hepatite viral mais severa) e sua transmissão ocorre através da via fecal-oral, em alimentos lavados com água contaminada com o vírus tipo A, ou em animais aquáticos contaminados que foram consumidos por seres humanos (FERREIRA; SILVEIRA, 2004).

Outro fenômeno, que também interfere no abastecimento e na qualidade da água distribuída à determinada população, é o crescimento da urbanização em ambientes sensíveis, como leitos d'água (Brasília, de certa forma, representa essa interação cidade-natureza). Lucio Costa, arquiteto de Brasília, planejou o Lago Paranoá como parte essencial de Brasília, que seria, logo então, a mais nova capital do Brasil, porém, considerou a necessidade de um cinturão verde ao redor do mesmo, para proteção do próprio lago. A escolha da localização veio através da Missão Cruls, que levou em conta o bioma cerrado da região, berço das águas e com boa disponibilidade de áreas verdes (CONSERVA; ANDRADE; DERNTL, 2021). Luiz Cruls, coordenador da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil, em 1892, notou que Brasília seria uma área excelente para a futura capital do país, pois havia água em abundância em localidades próximas: bacia do rio Maranhão, bacia Platina e a bacia São Franciscana (BERTRAN, 2011; CRULS, 1995).

Em seu planejamento, o arquiteto manteve a maior parte da região do lago em vegetação nativa, sem adição de casas ou ambientes populares (salvos poucos locais de recreação como restaurantes, núcleos de pesca e centros esportivos, que poderiam ter algum acesso à beira da água). Assim, o objetivo abrangeria lazer da população, geração de energia elétrica e suavizar a seca, natural do bioma cerrado (COSTA, 1957). O Lago Paranoá começou a encher em 1959, com o fechamento da barragem do Rio Paranoá (LUZ, 1967).

A expansão urbana predatória que se estabeleceu em Brasília, desequilibrou a relação de harmonia existente entre a natureza e a cidade, o que, por consequência, também causou danos aos recursos hídricos da mesma, pois um solo sem vegetação é um solo impermeável, na qual a água não adentra, diminuindo a produção das águas que alimentam o Lago Paranoá (CONSERVA; ANDRADE; DERNTL, 2021).

Apesar de Lucio Costa sempre constar em suas escritas a importância da não ocupação da orla do Lago Paranoá, atualmente são poucas as áreas livres da presença urbana, incluindo moradias (FERRER; DEL NEGRO, 2012).

Com a construção e a inauguração de Brasília, diversas pessoas foram atraídas pelas oportunidades de emprego. A cidade, que foi planejada para ser a sede do país, não estava de fato preparada para lidar com tamanha população, o que acabou por formar cidades satélites ao redor da bacia do Paranoá e do Distrito Federal (BRITO, 2009). Em 1960, na inauguração de Brasília, nova capital do Brasil, apenas alguns bairros já eram providos de água potável e esgoto: Asa Sul, Park Way e algumas quadras do Lago Sul e Norte (onde se concentravam os grupos de alta renda). Durante os primeiros 20 anos, a principal fonte de abastecimento de água da cidade era realizada pelas barragens do Torto e de Santa Maria (FONSECA, 2001; BRITO, 2009).

Próximo ao fim dos anos 70, o Lago Paranoá encontrava-se eutrofizado, impossível de servir suas múltiplas utilidades. A pressão exercida pelo aumento da população na bacia hidrográfica e a sensibilidade da área são fatores que colocam em perigo a qualidade do ambiente. Hoje em dia, apesar da grande melhoria na qualidade da água, ainda é importante atenção aos lotes irregulares, principalmente na orla do Lago, apesar de existir legislação, é necessário policiamento para que as regras sejam de fato cumpridas e a área preservada (PEREIRA, 2006).

O Lago Paranoá sendo utilizado para reter e amortecer a água da chuva e diluir as águas que chegam são ações que não estavam dentro do planejamento inicial, mas que hoje são essenciais para a cidade. Porém, o processo de eutrofização que ocorreu no final da década de 70 foi consequência do excesso de nutrientes que alcançou o lago, já que o planejamento era para receber quantidades bem menores, e assim, se excedeu a capacidade de assimilação. Foi consequência, principalmente, da entrada de esgoto não-tratado, a alta urbanização próximo à Bacia e o encaminhamento de afluentes e drenagem da chuva. Ocorreram elevadas taxas de mortalidade de peixes e se impregnou um cheiro desagradável, por isso, ao longo dos últimos 50 anos, aproximadamente, várias medidas de despoluição foram tomadas. Além disso, também foi implementado um sistema de coleta de esgoto, alcançando por volta de 90% dos

habitantes; foram criadas duas estações de tratamento (ETES SUL e NORTE); e a realização anual do deplecionamento (PEREIRA, 2006).

Uma operação de deplecionamento (redução do nível de água) é realizada todos os anos no Lago Paranoá, uma vez que durante períodos passados onde a água se encontrava inadequada, em 1998, foi realizado e pode-se observar uma melhora significativa na qualidade da água, contando com a redução da biomassa de algas e diminuição da concentração de fósforo (PEREIRA, 2006).

A CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) (2005) realiza o manejo da distribuição e da qualidade da água que abastece os brasilienses, e segundo a mesma, tudo é realizado com base na Resolução N° 357 CONAMA/2005 (para a água bruta), e na Portaria N°518 do Ministério da Saúde (para a água tratada).

Pereira (2006) confirma, após análise de dados da CAESB, que desde 1970 em diante, é facilmente notável a melhora da qualidade da água do Lago Paranoá. Pode-se citar, por exemplo, o aumento da transparência da água de 1998 até então. A melhora da água fez aumentar o uso recreativo das águas do lago, tornando a principal atração hídrica para lazer no Distrito Federal (CORDEIRO NETTO, 2004).

Em outubro de 2022, a população observou a presença de camarões na beira do Lago Paranoá, a notícia chocou a todos. Em reportagem para a Globo, o biólogo Fernando Starling explicou que se tratam de camarões-canela, que são nativos do Centro-Oeste e que já se faziam presentes há 30 anos. Entretanto, na década de 70 o lago passou por um momento de poluição e eutrofização muito intensa, que impediu estes animais de habitar aquele ambiente. Atualmente, após passar por despoluição, a qualidade da água do Lago Paranoá encontra-se em boa qualidade, comprovada, por exemplo, pelo crescimento em larga escala desta espécie de camarões, bioindicadora de qualidade da água (SANTOS; SILVA; PULJIZ, 2022).

Todo bimestre a CAESB realiza a análise de 32 amostras coletadas ao longo do lago, que servem para acompanhar a saúde das águas ao longo dos anos (PEREIRA, 2019). Os dados utilizados no presente trabalho são de coleta efetuada pela CAESB.

Avaliar a qualidade da água do Lago Paranoá, localizado em Brasília, capital do Brasil, desde 1992 até 2022, através da análise dos dados limnológicos disponibilizados pela CAESB e utilizando 3 metodologias distintas: Índice de Estado Trófico tropical e subtropical (IETtst); Índice de Conformidade e Enquadramento (ICE); e o Método Simplificado CEPIS proposto por Sallas e Martino; ainda, realizar teste de tendência, analisar os resultados e os comparar dentro dos métodos utilizados, a fim de definir

como se encontra a trofia do Lago Paranoá atualmente e compreender seu estado nos anos anteriores, são os objetivos deste trabalho.

1. Material

1.1. Área de estudo

O Distrito Federal possui 19 regiões administrativas, destas, 10 participam da Bacia do Lago Paranoá. Essas regiões em 2009 contavam com 609 mil habitantes, assim, pode-se ter ideia da quantidade de pessoas atualmente abastecidas somente por esta Bacia (CONCREMAT, 2003; IBGE, 2009).

Desde seu planejamento, os principais objetivos por trás da criação do lago eram a recreação/lazer da população e o paisagismo/embelezamento da cidade. Entretanto, o lago proporciona ainda mais usos diretos como: produção de energia elétrica, abastecimento de água, receptor de águas, drenagem pluvial urbana, transporte e pesca. Aproximadamente 3,5% do consumo de energia do Distrito Federal vem da energia elétrica produzida com os recursos hídricos do Lago Paranoá, segundo a CEB (Companhia Energética de Brasília). Ainda, são usos indiretos: auxílio no microclima da cidade, sendo o bioma cerrado conhecido por suas secas severas. Na época da seca em Brasília a umidade do ar reduz de forma intensa, alcançando, por exemplo, 12% de umidade. A criação do Lago trouxe um certo alívio aos brasilienses, percebido principalmente entre os meses de junho e setembro (CORDEIRO NETTO, 2004; PEREIRA, 2006; CONCREMAT, 2003).

A Bacia do Lago Paranoá percorre 1.034.07km² de área, abrangendo o Plano Piloto (região central) e outras regiões administrativas, como: Granja do Torto, Vila Planalto e Telebrasília (GDF, 2019), além de todo o DF. O lago é abastecido por diversos rios tributários, o que corrobora para melhor controle e investigação destes mananciais abastecedores. Pode-se dizer que estão, de alguma forma, ligadas ao Lago Paranoá todas as nascentes localizadas no Distrito Federal (FONSECA, 2001).

O planalto central do Brasil contempla uma reserva hídrica que alimenta grandes vias com água de suas nascentes, que se transforma de rios nacionais até águas do oceano Atlântico Sul, alcançando diversas populações. O Lago Paranoá possui as seguintes SubBacias Hidrográficas: o próprio lago; córrego Bananal; Riacho Fundo; Torto; Santa Maria e Gama (OLIVEIRA; STEINKE, 2020).

Durante, pelo menos, três décadas, o Lago Paranoá se encontrou eutrofizado, devido ao aporte de nutrientes decorrente do tratamento inadequado do esgoto, aumento das atividades humanas e ocupação das áreas de captação (FELIZATTO *et al.*, 1999).

Águas eutrofizadas exigem tratamento para que possam voltar a ser utilizadas, o que demanda gastos financeiros, e a vida aquática do ambiente e a qualidade da água podem ser afetadas por tal processo, por isso, tamanha preocupação dentro dos reservatórios (CUNHA *et al.*, 2013).

Uma das formas de tentar resolver a eutrofização do lago foi através de peixes. Estudos realizados por Starling e Rocha (1990) demonstraram que o controle da população de tilápias no Lago Paranoá evitaria o acúmulo de fósforo, diminuindo a quantidade disponível para produção primária. O controle se iniciou na área do lago mais eutrofizada, através da legalização da pesca com rede (SARTLING, LAZZARO; 2001).

Entretanto, a recuperação significativa da qualidade da água do Lago Paranoá se deu somente após o *flushing* de 1998. Em geral, o reservatório tinha tempo de residência entre 321 e 721 dias, porém naquele ano houve uma redução para 192 dias (MAIOR *et al.*, 2001). O *flushing* provavelmente foi o evento principal que transformou o estado trófico do sistema aquícola do lago, já que contribuiu com a redução da clorofila-a e, conseqüentemente, a biomassa de algas e transparência da água (ANGELINI *et al.*, 2008).

Após o *flushing* foram observadas algumas mudanças biológicas e abióticas no lago, como: (1) diminuição da dominância das cianobactérias; (2) reaparecimento de pequenos cladóceros e cocépodes; (3) diminuição da quantidade de clorofila-a encontrada (FONSECA *et al.*, 2009).

1.2. Dados limnológicos

Em 1976, a CAESB junto ao PNUD (Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento) deu início ao monitoramento de dados limnológicos no Lago Paranoá. Assim, o lago foi dividido em 5 braços de acordo com a morfologia das principais áreas de poluição e afluentes, e os dados são coletados 2 vezes ao mês na profundidade de 1 e 10 metros (FELIZATTO *et. al*; 1999).

Os dados limnológicos utilizados no presente trabalho foram coletados mensalmente de 1992 até 2022 pela CAESB, que os disponibilizou para esta análise. Todavia, existem momentos em que a coleta não pôde ser realizada, como na greve que ocorreu na CAESB em 2016 e o ano inicial da pandemia, em 2020.

A coleta de dados transcorreu ao longo dos últimos 31 anos no Lago Paranoá nos seguintes pontos: A, B, C, D e E; localizados respectivamente no Riacho Fundo, Gama, Área Central, Braço do Torto e Bananal, como demonstra a Figura 1.



Figura 1 - pontos de amostragem da CAESB no Lago Paranoá, braços A, B, C, D e E

As variáveis escolhidas para análise foram específicas de cada método. A escolha destas foi feita de acordo com a exigência do CONAMA 357/2005 e a disponibilidade completa dos dados ao longo dos 31 anos a serem avaliados. Além disso, foram usados apenas valores referentes a 1 metro de profundidade.

2. Métodos

2.1 Método Simplificado de Salas e Martino

O aumento demográfico na América Latina traz consigo o crescimento da demanda de água disponível para uso humano, entretanto, pelo mesmo motivo, nota-se muitos corpos hídricos sofrendo com eutrofização. Por isso, Salas e Martino em 1990 desenvolveram uma metodologia para calcular o grau de trofia de um lago tropical, que os classifica em 3 categorias: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico.

Em 1981, em São Paulo/Brasil, houve o “Programa Regional Para o Desenvolvimento de Metodologia Simplificadas para Avaliação da Eutrofização em Lagos/Reservatórios Quentes da América Latina e Caribe”, liderado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), em conjunto com o *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente* (CEPIS), localizado em Lima/Peru.

Castagnino (1982) constata que a diferença entre lagos temperados e lagos tropicais quentes não possibilita que seja usado o mesmo modelo simplificado sugerido na época pela OCDE, já que estes foram desenvolvidos através de lagos predominantemente temperados.

A definição de “lago tropical quente” considerada por Salas e Martino foi proposta por Vollenweider (1983), consultor do programa de desenvolvimento de metodologias, e consiste em águas de temperatura média anual mínima de 15°C, conforme demonstram as Figuras 2 e 3.

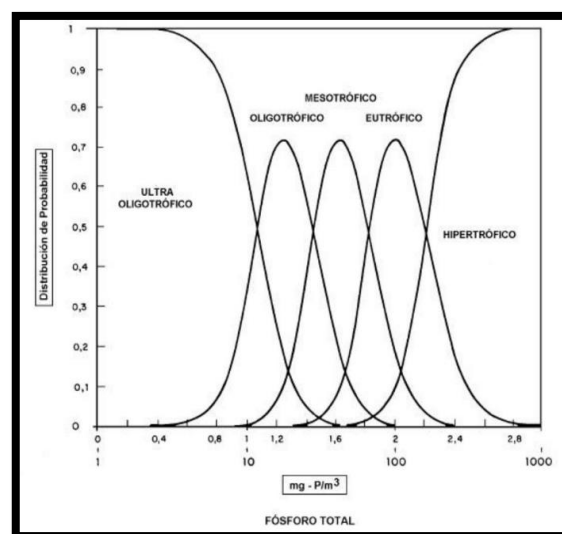


Figura 2 - Distribuição de probabilidade de nível trófico de lagos tropicais quentes com base no fósforo total. Fonte: CEPIS (1990)

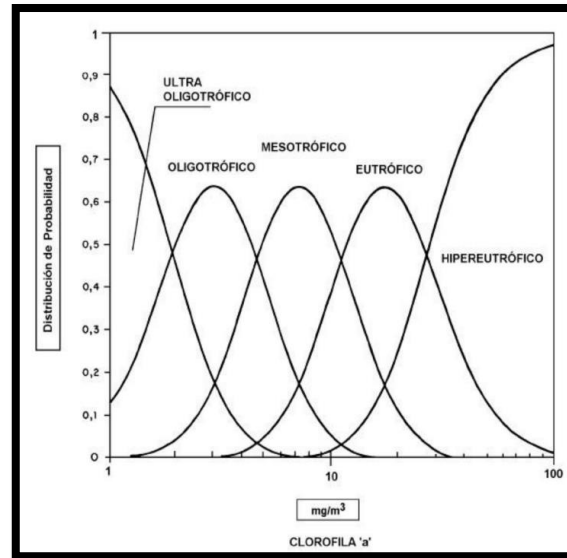


Figura 3 - Distribuição de probabilidade de nível trófico de lagos tropicais quentes com base na clorofila-a. Fonte: CEPIS (1990)

O esquema simplificado foi resumido nos seguintes passos (CHAPRA; TARAPCHAK, 1976):

- estimar a carga total de fósforo disponível no lago, pois é um dos indicadores de estado trófico;
- calcular a concentração média anual do fósforo total no lago;
- partindo da concentração média anual, determinar a concentração de fósforo total no período da primavera;
- a partir da concentração de fósforo total na primavera, determinar a concentração média de clorofila-a durante o verão.

Neste método, foi calculada a média geométrica do fósforo total e da clorofila-a separadamente em cada um dos anos, depois foi aplicado o logaritmo na base 10 em cada resultado, conforme indica o método. Houve a necessidade de multiplicar o resultado da média geométrica do fósforo total por mil, para transformar a unidade de medida de miligrama para micrograma por litro, da mesma forma como a clorofila-a já se encontrava.

Após, foi aplicada a sintaxe:

$$= DIST.N(X; média; desvio padrão; cumulativo)$$

Onde:

X = média geométrica anual;

Média = o fixo valor mais alto dentro da classificação;

Desvio padrão = o fixo valor mínimo dentro da classificação;

Cumulativo = verdadeiro.

A média e o desvio padrão para o fósforo e para a clorofila-a são determinados pela Tabela 1:

Tabela 1 - Valores de fósforo total e clorofila-a de média e desvio padrão utilizados nos cálculos. Fonte: adaptado de Salas e Martino (1990).

	PT		Cl-a	
média	$\mu_{\text{Eutrófico}}$	2,074	$\mu_{\text{Eutrófico}}$	1,24
desv.pad.	$\sigma_{\text{Eutrófico}}$	0,316	$\sigma_{\text{Eutrófico}}$	0,255
média	$\mu_{\text{Mesotrófico}}$	1,598	$\mu_{\text{Mesotrófico}}$	0,824
desv.pad.	$\sigma_{\text{Mesotrófico}}$	0,137	$\sigma_{\text{Mesotrófico}}$	0,225
média	$\mu_{\text{Oligotrófico}}$	1,328	$\mu_{\text{Oligotrófico}}$	0,552
desv.pad.	$\sigma_{\text{Oligotrófico}}$	0,165	$\sigma_{\text{Oligotrófico}}$	0,234

2.1.1 Teorema de Bayes

A probabilidade mede a incerteza sobre algum acontecimento e apresenta as chances de um evento ocorrer em determinadas circunstâncias. O Teorema de Bayes é utilizado no cálculo do método simplificado de Salas e Martino, e se apoia em três pontos para encontrar as probabilidades dos eventos (JAYNES, 2003):

- Representação numérica: a quantidade numérica de certeza ou incerteza do evento ocorrer de acordo com alguma função matemática;
- Correspondência qualitativa com o senso comum: a probabilidade do evento ocorrer aumenta quando se obtêm informações sobre ou a favor do mesmo;
- Consistência: o resultado deve sempre ser único, mesmo que calculado de formas diferentes.

A fórmula utilizada no Teorema de Bayes é a seguinte (ANDERSON *et al.*, 2005):

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(A)P(B|A)}{P(B)} \text{ (equação 1)}$$

Onde:

$P(A)$ = Probabilidade a priori: a probabilidade de o evento ter ocorrido ou não;

$P(B|A)$ = Probabilidade condicional: a probabilidade do evento A ocorrer, sendo que um B já ocorreu;

$P(B)$ = Probabilidade total dos eventos ocorrerem;

$P(A|B)$ = Probabilidade a posteriori: é a probabilidade revista após novas informações.

2.2 Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)

O ICE é uma adaptação brasileira para o *WQI* (*Canadian water quality index*) de 2001 (CCME, 2017). A Política Nacional de Recursos Hídricos utiliza o enquadramento de corpos hídricos para avaliar a qualidade da água e definir suas utilidades, além de auxiliar na gestão e planejamento ambiental (PORTO, 2002). As categorias de utilização de águas brasileiras doces, salinas e salobras estão definidas pelo CONAMA nº357 de 2005.

O índice permite classificar a região hídrica e também verificar se a mesma permanece no enquadramento ou sofre alterações com o passar do tempo, necessitando talvez de um novo enquadramento. Isso facilita a gestão dos recursos hídricos por seus responsáveis, entretanto, há dificuldade no momento de classificá-los por conta das diversas variáveis que indicam a qualidade da água e que devem ser levadas em consideração (AMARO; PORTO, 2009).

Quanto mais próximo o resultado é de 100, melhor é a qualidade da água estudada, e quanto mais próximo de 0, pior é. Assim, valores mais altos significam que aquele corpo hídrico está próximo do enquadramento desejado, e valores menores demonstram distância do esperado de uma boa qualidade da água. A simplicidade desse entendimento torna este método confortável para compreensão de pessoas leigas na área, o que é um ponto muito positivo do mesmo.

O ICE é tridimensional, formado por três fatores: abrangência, amplitude e frequência (Figura 4).

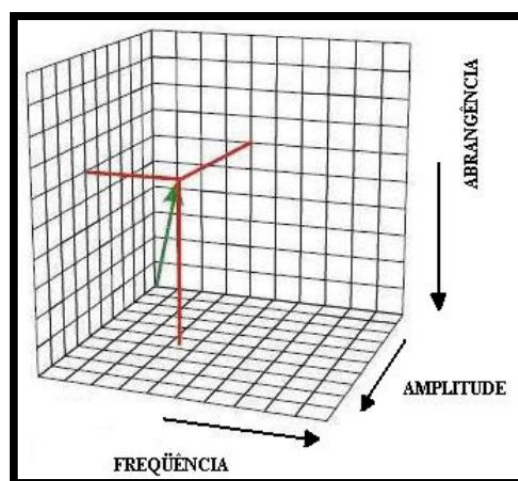


Figura 4 - Modelo Conceitual do Índice de Conformidade ao Enquadramento. Fonte: adaptado CCME (2001)

Fator 1 - Abrangência: a Equação 2 é a relação entre o número total de variáveis analisadas e as variáveis que tiveram algum tipo de falha dentro dos limites desejáveis.

$$F1 = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de variáveis que falharam}}{n^{\circ} \text{ total de variáveis}} \right) \cdot 100 \text{ (Equação 2)}$$

Fator 2 - Frequência: a Equação 3 representa a quantidade de vezes em que as variáveis se apresentaram em desconformidade com o padrão adotado, em relação ao número total.

$$F2 = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de variáveis inconformes}}{n^{\circ} \text{ total de variáveis}} \right) \cdot 100 \text{ (Equação 3)}$$

Fator 3 - Amplitude: é a quantidade de vezes em que o valor esteve inconforme. É calculado em três etapas:

- 1) É calculada a variação de cada teste.
- Com a Equação 4 no caso de um valor objetivo máximo

$$\text{variação} = \left(\frac{\text{valor do teste que falhou}}{\text{objetivo}_i} \right) - 1 \text{ (Equação 4)}$$

- Com a Equação 5 no caso de um valor objetivo mínimo

$$\text{variação} = \left(\frac{\text{OBJETIVO}_i}{\text{valor do teste que falhou}} \right) - 1 \text{ (Equação 5)}$$

- 2) É realizada uma soma das variáveis inconformes através da Equação 6, que será então dividida pela quantidade total. Chamamos de “soma normalizada das variações” (snv).

$$\text{snv} = \frac{\sum_i^N \text{variação}_i}{n^{\circ} \text{ total de testes}} \text{ (Equação 6)}$$

- 3) F3 é calculado através da snv padronizada entre 0 e 100, conforme a Equação 7, dando o resultado do distanciamento entre o resultado e o número ‘100’, o que descreve a posição dentro da conformidade ao enquadramento.

$$F3 = \left(\frac{\text{snv}}{0,01 \cdot \text{snv} + 0,01} \right) \text{ (Equação 7)}$$

Por fim, o valor do *WQI* é obtido baseado na soma dos três fatores que o compõe, como demonstra a Equação 8, sendo essa soma normalizada para escala de 0 a 100. A distância entre o valor obtido e 100 indica a conformidade ao enquadramento.

$$WQI/ICE = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \text{ (Equação 8)}$$

Na Tabela 2 podemos observar as categorias de classificação organizadas de acordo com os valores obtidos após os cálculos no Guia do Usuário do *WQI* (2017).

Tabela 2 - Categorias de classificação do *WQI* adaptadas para a língua portuguesa. Fonte: CCME WATER QUALITY INDEX USER'S MANUAL 2017 UPDATE

CATEGORIA	VALOR	ESTADO
Excelente	95 – 100	Condição muito próxima ao ideal
Bom	80 – 94	As condições raramente se afastam do ideal
Regular	65 – 79	A qualidade da água é ocasionalmente prejudicada.
Ruim	45 – 64	Frequentemente a qualidade da água é prejudicada.
Péssimo	0 – 44	Condição longe do ideal, qualidade da água intensamente prejudicada.

O CCME (2017) sugere que sejam utilizadas no mínimo 4 variáveis e 4 dados de monitoramento para a análise, e neste trabalho foram utilizados: OD (oxigênio dissolvido), N-NH₃ (nitrogênio amoniacal), Pt (fósforo total), TURB (turbidez), Chla (clorofila-a) e pH. O método sugere sempre utilizar a DBO (demanda química de oxigênio), entretanto, não foi possível pois a maior parte dos dados disponíveis se encontraram abaixo do limite de detecção (dados censurados).

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357 de 17 de março de 2005, define classificações para os corpos d'água de acordo com seus usos, estabelece padrões para o seu enquadramento e condições para lançamento de efluentes. São estabelecidas metas finais a serem alcançadas, para assegurar a qualidade das águas dentro dos padrões específicos, sendo que o enquadramento se baseia não apenas no estado atual, mas também no que deve ser obtido para atender as necessidades da comunidade. Assim sendo, considera o controle da poluição fator diretamente ligado à saúde humana, melhorando a qualidade de vida e mantendo um equilíbrio ambiental, garantindo os usos prioritários (BRASIL, 2005).

Dentro das classes em que separa o CONAMA 357/2005, neste trabalho iremos comparar os resultados encontrados na classe 1 e na classe 2. Dentro da classe 1 encontramos as águas que podem ser utilizadas para consumo humano após passarem por tratamento simplificado, que consiste na clarificação por meio de filtração, desinfecção e correção de pH quando necessário. A classe 2 também agrupa as águas que podem ser utilizadas para consumo humano, porém o tratamento deve ser convencional, que consiste na clarificação através de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH.

2.3 Índice do Estado Trófico (IET)

Compreender o estado trófico auxilia na compreensão das variações que ocorrem na qualidade da água de ecossistemas aquáticos. Ainda, agregam dados essenciais para o estudo dos indicadores biológicos da qualidade da água presentes no ambiente, daí sua importância (LIU; PAN; CHEN, 2016).

Os lagos temperados são categorizados de acordo com o grau de trofia pelo IET através da análise da qualidade da água, que pode variar de acordo com a quantidade de nutrientes disponível, afetando a população de algas e plantas aquáticas. A abundância de fósforo é relacionada à possibilidade de um ambiente eutrofizado, pois o aumento de disponibilidade deste elemento é a causa; enquanto a abundância de clorofila indica as águas reagindo à eutrofização, já que se eleva a quantidade de algas presentes. Além disso, é importante destacar que a transparência do corpo hídrico não está diretamente ligada ao grau de trofia, já que há influência da turbidez causada pela matéria em suspensão e não somente pela densidade de microrganismos (CETEBS, 2013).

O IET agrupa e organiza os dados dos recursos hídricos, auxiliando sua gestão e fornecendo orientação para decisões necessárias (GALVEZ-CLOUTIER; SANCHES, 2007), entretanto, em diferentes regiões climáticas não há um mesmo consenso sobre a coligação da quantidade de nutrientes e clorofila-a (HUSZAR *et al.*, 2006).

Sabe-se que em sistemas tropicais é mais frequente disponibilidade limitada do nitrogênio (LEWIS, 2002), porém, autores como Mazumder e Havens (1998) explicam que a variação da clorofila-a não se relaciona com a variação do nitrogênio no caso de corpos d'água tropicais e subtropicais. Sterner (2008), concluiu, portanto, que ainda não se havia uma regra que se utiliza o fósforo e o nitrogênio a disposição para caracterizar lagos e reservatórios temperados, com sistemas tropicais/subtropicais.

Os IET podem ser adaptados de acordo com o ambiente. Os fatores mais importantes a serem considerados são: a luz, a vazão e a temperatura, visto que o funcionamento de ecossistemas hídricos tropicais e temperados são distintos (SILVA *et al.*, 2018).

No presente trabalho, será utilizado o Índice de Estado Trófico de Carlson modificado para reservatórios tropicais/subtropicais (IET_{tst}) por Cunha *et al.* (2013).

A identificação do estado trófico lagos tropicais e subtropicais é um pouco mais confusa, pois os nutrientes, de certa forma, são mais controlados e restritos, assim como a reação do fitoplâncton residente. O maior incentivo para criação de um IET_{tst}, diferente do proposto por Carlson é, principalmente, que o dele leva em conta apenas a primavera e o verão (estações mais produtivas em lagos intemperados), sendo que sistemas

tropicais/subtropicais possuem produção primária durante o ano inteiro (CALIJURI; SANTOS, 2001). Estudos e análises realizados por Dellamano-Oliveira et al. (2008) apontaram diversidade nos graus de concentração de fósforo e nitrogênio nos períodos chuvosos e secos, o que comprova uma diluição em decorrência da chuva.

Os principais critérios utilizados para caracterizar a trofia em reservatórios, através da análise de nitrogênio, clorofila-a, fósforo e transparência da água são os sugeridos por Carlson (1977), OECD (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) (1982), Nürnberg (2001), e Environment Canada (2004), em ordem cronológica (GALVEZ-CLOUTIER; SANCHEZ, 2007).

A modificação realizada por Cunha *et al.* (2013) para adaptar o IET a lagos tropicais/subtropicais consiste na conversão de 2 variáveis: fósforo total e clorofila-a, utilizadas aqui através das Equações 9 e 10.

$$IET(PT)_{tst} = 10 \left[6 - \left(\frac{-0.27637 \ln PT + 1.329766}{\ln 2} \right) \right] \quad (\text{Equação 9})$$

$$IET(Chla)_{tst} = 10 \left[6 - \left(\frac{-0.2512 \ln Chla + 0.842257}{\ln 2} \right) \right] \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

IET(PT) = índice do estado trófico para o fósforo total

IET(Chla) = índice do estado trófico para a clorofila-a

O resultado dos cálculos foram comparados aos critérios da tabela 3, como fizeram Cunha *et al.* (2013):

Tabela 3 - Classificação IET_{tst}, adaptado de Cunha et al. (2013)

IET _{tst}	Classificação
≤51.1	Ultraoligotrófico
51.2 – 53,1	Oligotrófico
53.2 – 55.7	Mesotrófico
55.8 – 58.1	Eutrófico
58.2 – 59.0	Supereutrófico
≥59.1	Hipereutrófico

2.4 Análise estatística – Teste de Tendência (Mann Kendall)

O Teste de Mann-Kendall, desenvolvido por Gilbert (1987), é muito útil para avaliar a tendência monotônica (positiva ou negativa) em variáveis ambientais ao longo do tempo. É simples de ser utilizado por considerar apenas magnitudes relativas dos dados, e não os valores medidos. É um teste não paramétrico de tendência bastante útil para dados com falhas, por exemplo. Quando são 40 dados ou menos, funciona da seguinte forma: são organizados de forma cronológica e é adicionado um sinal (-1, 0, 1) na frente, dependendo se o dado é menor, igual ou maior que o anterior, assim:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= 1 \text{ se } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 \text{ se } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 \text{ se } x_j - x_k \leq 0 \end{aligned}$$

A Equação 11, aplicada na estatística de Mann-Kendall utiliza o número de diferenças positivas menos o número de diferenças negativas:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \text{ (Equação 11)}$$

Este teste será aplicado para realizar a análise estatística de tendência através do IETtst e ICE, aplicados no Lago Paranoá como um todo.

3. Resultados

3.1 SALAS E MARTINO

- **Lago Paranoá**

De 1992 até 1998 a quantidade de clorofila-a do Lago Paranoá o classificava, aproximadamente, entre 30 e 35% dentro de cada uma das classes (eutrófico, mesotrófico e oligotrófico). Porém, a partir de 1999, logo após o evento *flushing* isso muda, classificando a trofia do lago como oligotrófico até 2022 (77,5%), conforme demonstra a Figura 5.

Em relação a classificação de acordo com o fósforo total do Lago Paranoá, pode-se observar no Gráfico 4 que a classificação do mesmo de acordo com Salas e Martino seria sempre oligotrófico (100%), apesar de a porcentagem nos anos iniciais se apresentar um pouco mais baixa do que nos demais.

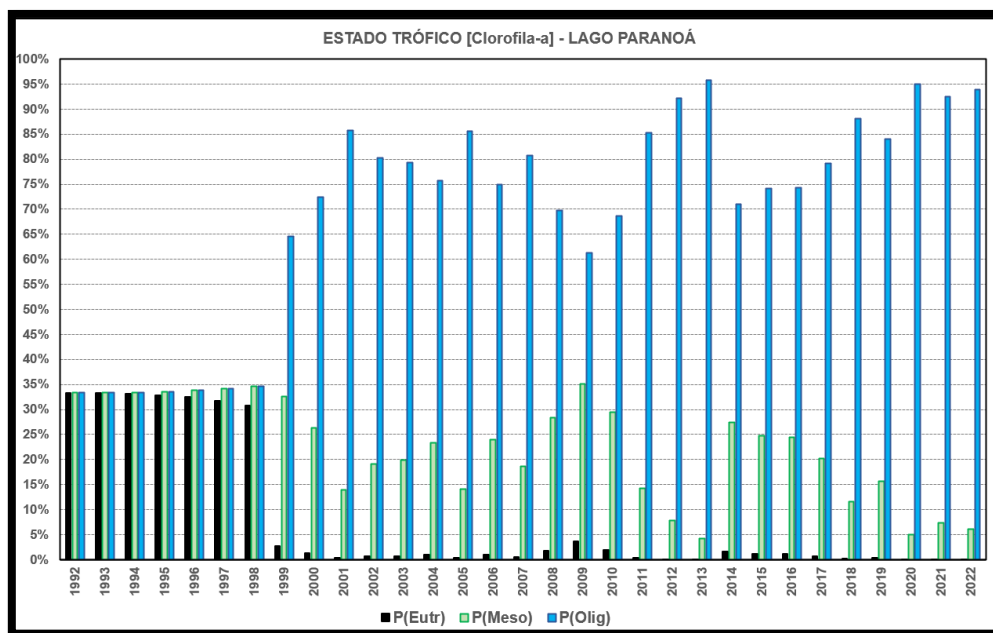


Figura 5 – Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Lago Paranoá de 1992 até 2022

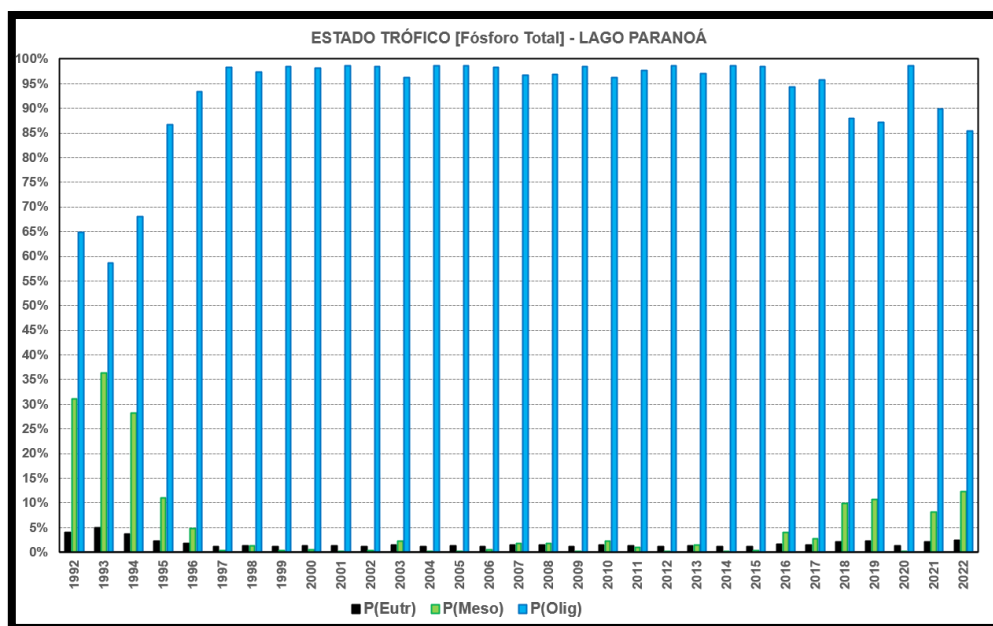


Figura 6 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Lago Paranoá de 1992 até 2022

- **Braço A**

De 1992 até 1998 o estado trófico se dividia nas 3 classificações entre 30% e 35%. Após o *flushing* de 1998, a porcentagem de “eutrófico” sempre foi menor do que as outras classes, e “oligotrófico” se fez presente em 77,5% ao longo de todo o período, indicando uma melhora significativa na qualidade da água neste braço A na Figura 7.

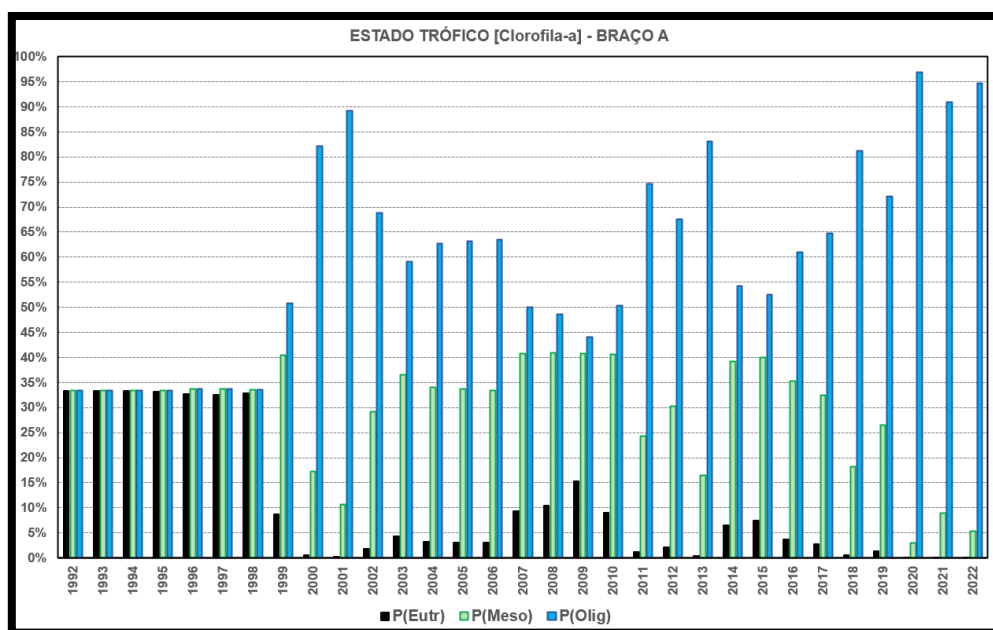


Figura 7 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço A de 1992 até 2022

Em relação aos resultados de Salas e Martino no braço A referente a quantidade de fósforo total, é importante observar que desde o início a porcentagem de “eutrófico” já era pouca, enquanto a porcentagem para “oligotrófico” sempre foi a maior e predominante de 1992 até 2022 (100%), de acordo com a Figura 8. Porém, sabe-se que a qualidade da água do lago, e inclusive deste braço, era de eutrófico principalmente nos anos iniciais deste estudo.

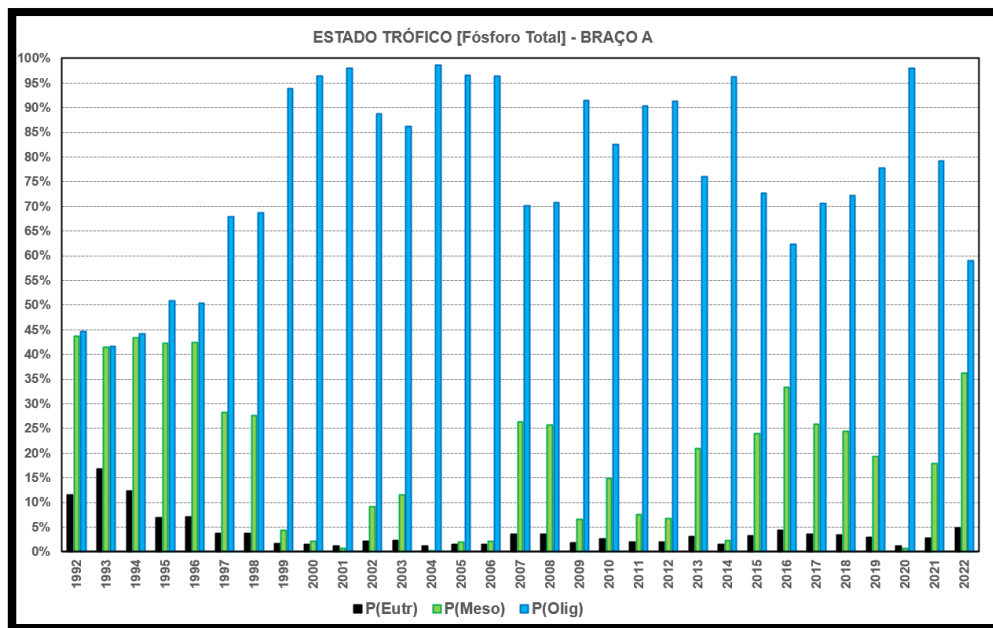


Figura 8 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço A de 1992 até 2022

- **Braço B**

No braço B, assim como no A, podemos observar que a clorifila-a se apresenta de forma muito parecida de 1992 até 1998 entre 30 e 35%, a partir de então podemos observar na Figura 9 uma melhora na classificação, de 1999 até 2022 em 100% do tempo se caracterizou como “oligotrófico” e houve uma diminuição quase que total da condição “eutrófica” neste braço.

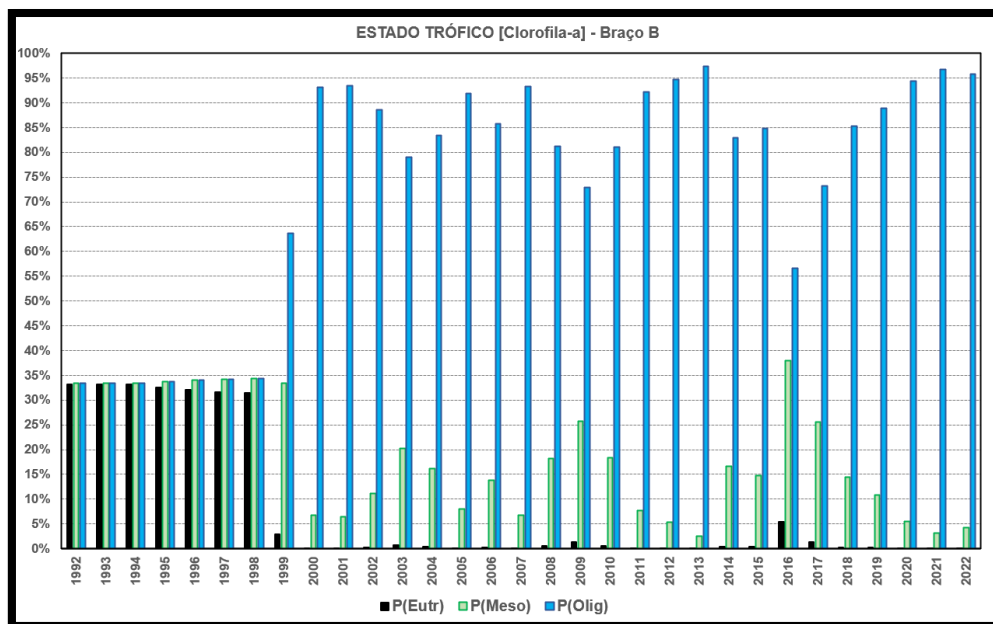


Figura 9 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço B de 1992 até 2022

Já na Figura 10, no braço B e de acordo com a quantidade de fósforo total, a condição “eutrófica” é mínima ao longo de 100% do período analisado, enquanto “oligotrófico” é predominante.

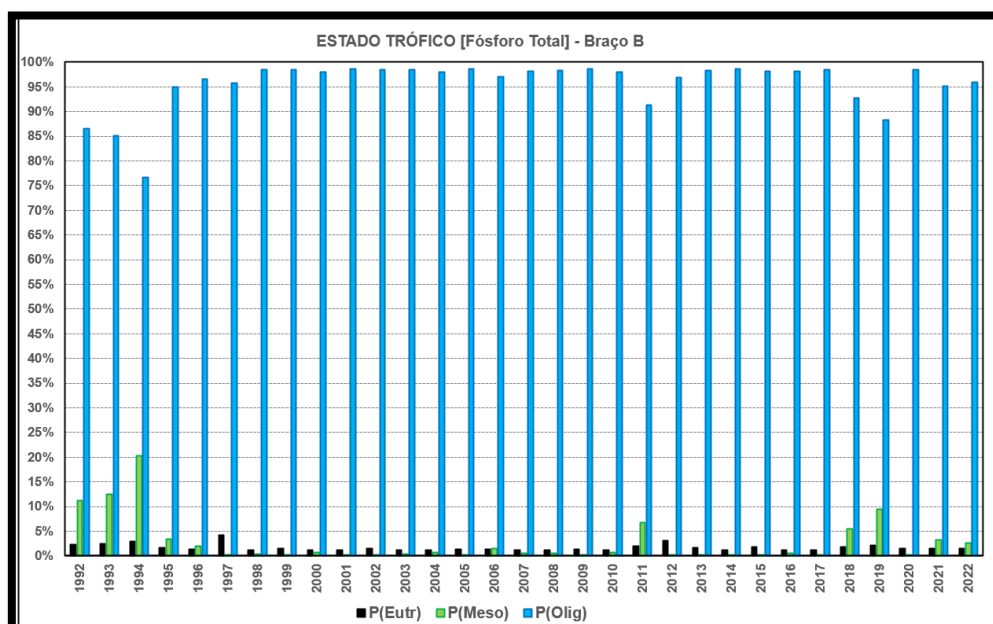


Figura 10 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço B de 1992 até 2022

- **Braço C**

No braço C a condição “eutrófica” praticamente desaparece a partir de 1999, quando “oligotrófico” se torna dominante pelo restante do período (80,6%), conforme a Figura 11.

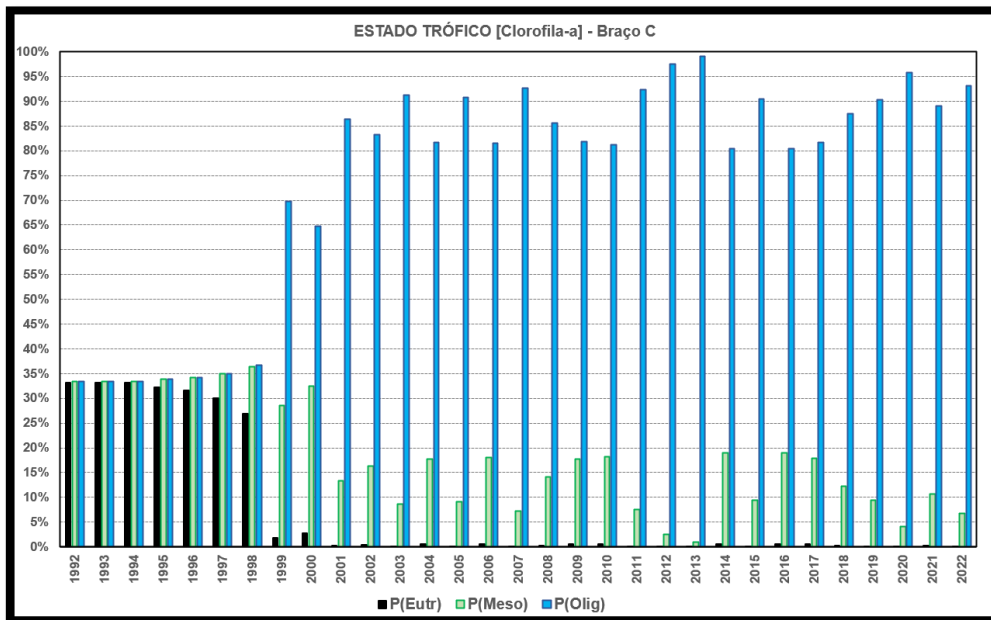


Figura 11 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço C de 1992 até 2022

Assim como nos braços anteriores, no braço C também podemos observar que de acordo com o fósforo total a água esteve classificada como “oligotrófica” em 100% do período, enquanto a porcentagem de “eutrófica” se aproxima a 0% na Figura 12.

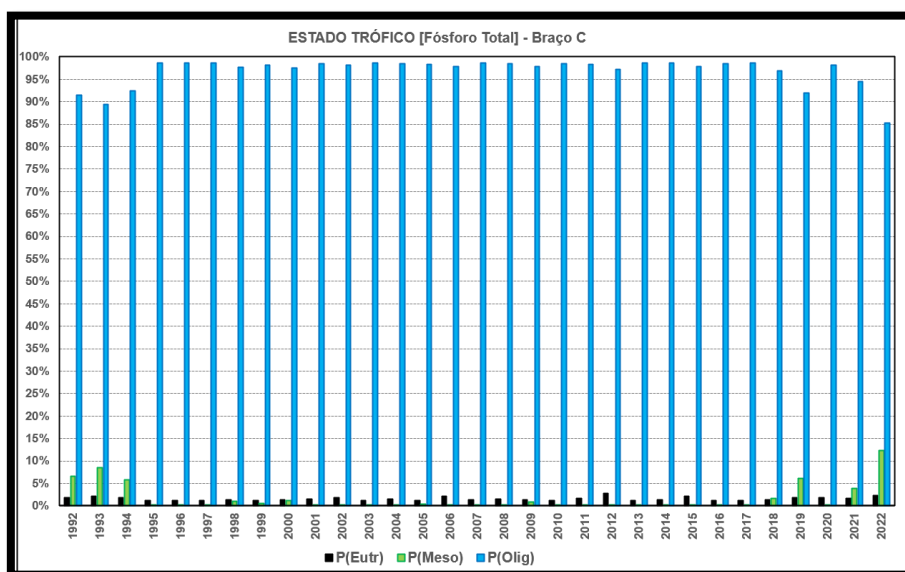


Figura 12 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço C de 1992 até 2022

- **Braço D**

O braço D se apresentou como os demais em relação a clorofila-a, onde até o ano 1998 as classes estavam equilibradas e a partir de 1999 “oligotrófico” se tornou predominante (77,5%), com “eutrófico” praticamente desaparecendo na Figura 13.

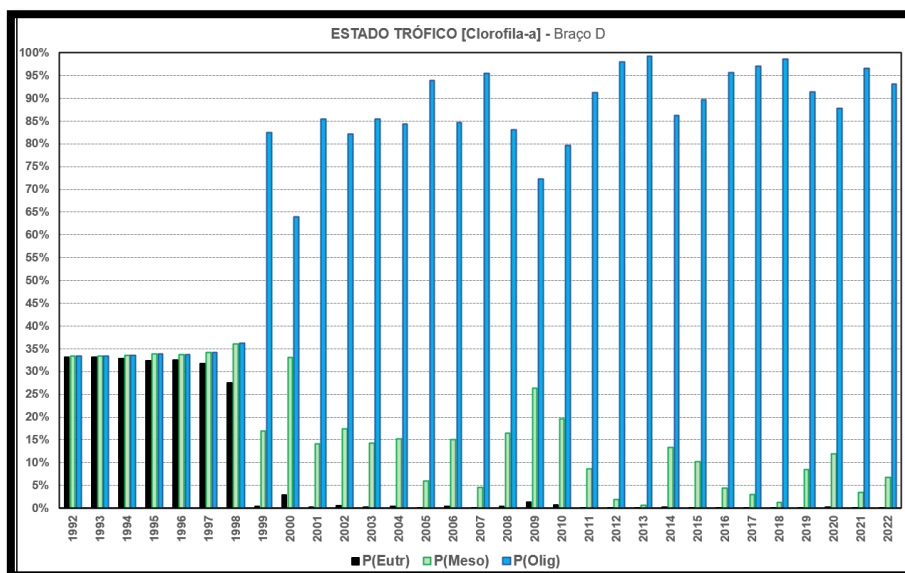


Figura 13 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço D de 1992 até 2022

Observamos na Figura 14 pela primeira vez na análise do fósforo total, a condição “eutrófica” aparece como 100% no ano 2000, sendo este o único em que “oligotrófico” não se apresenta como dominante (96,7%).

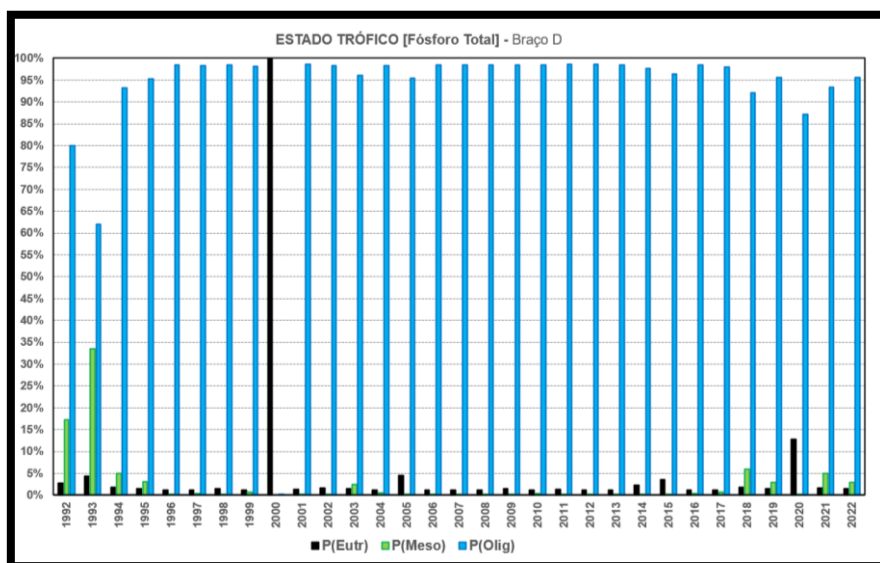


Figura 14 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço D de 1992 até 2022

- **Braço E**

Semelhante aos demais, o braço E apresenta até o ano 1998 as classes bem divididas em 30-35%, e a partir de 1999 “oligotrófico” dominando os demais anos (77,5%), segundo a Figura 15.

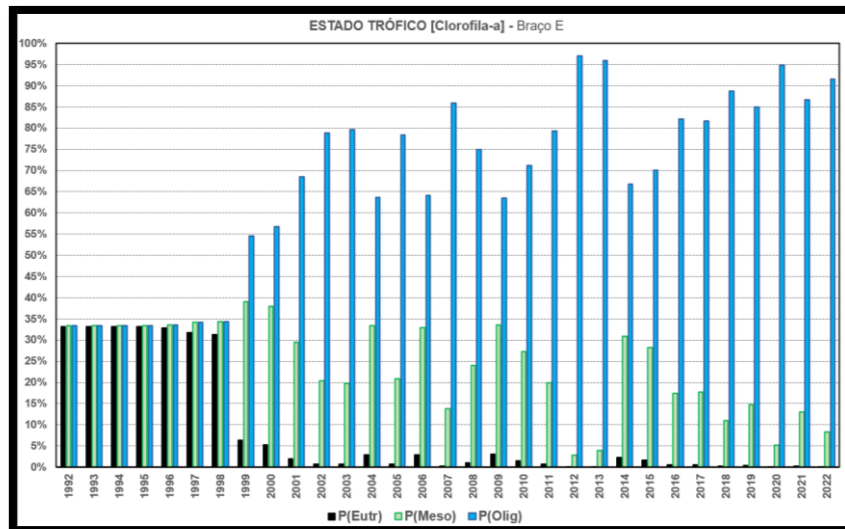


Figura 15 - Resultado do método de Salas e Martino para clorofila-a no Braço E de 1992 até 2022

Em relação aos outros braços, o fósforo total do braço E nos anos iniciais apresentou uma porcentagem um pouco mais baixa de “oligotrófico” até 1996, enquanto os outros logo no início do período já apresentavam porcentagem alta, como demonstra a Figura 16. Mesmo assim, “oligotrófico” foi categorizado em 100% dos anos analisados.

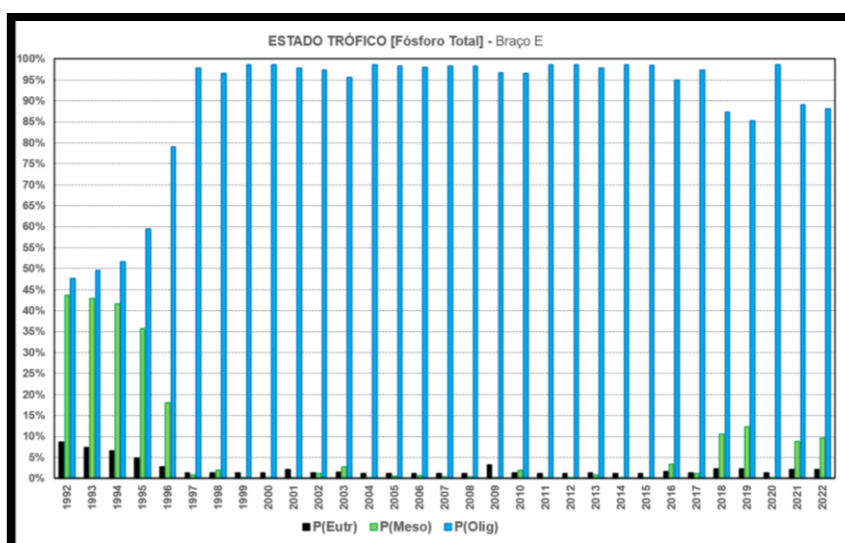


Figura 16 - Resultado do método de Salas e Martino para fósforo total no Braço E de 1992 até 2022

3.2 ICE

3.2.1 CLASSE 1

Para classificar o estado da água neste método utilizamos a tabela 2.

- **Lago Paranoá**

O lago como um todo apresentou significativa melhora na qualidade da água de acordo com este método. É possível observar na Figura 17 que no ano inicial da nossa pesquisa o Lago Paranoá se encontrava na categoria “ruim” (3,2%), alguns anos se encontravam como “regular” (19,3%) e a maior parte do período analisado se encontra na categoria “excelente” (48,4%), o que indica imensa melhora na qualidade da água do Lago Paranoá como um todo.

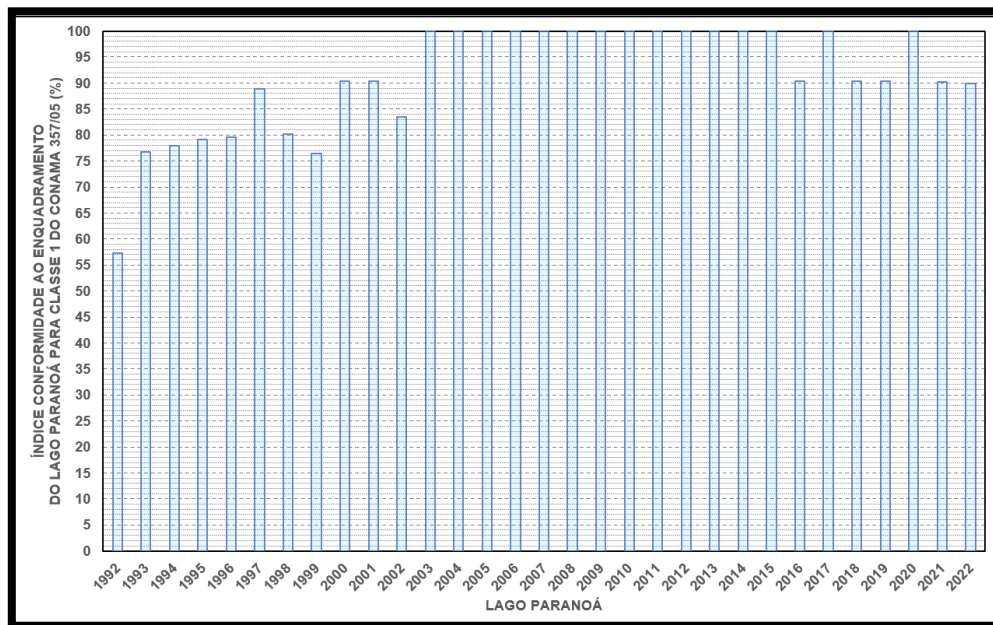


Figura 17 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Lago Paranoá de 1992 até 2022

- **Braço A**

A Figura 18 demonstra os resultados obtidos pelo ICE Classe 1 no braço A, do Riacho Fundo. Este braço é característico por ser o de pior qualidade dentre os braços, e de fato, observamos que apenas a minoria dos anos analisados está dentro da categoria “excelente” (19,3%), porém a maioria deles se encontra como “bom” (45,2%) de acordo com este método.

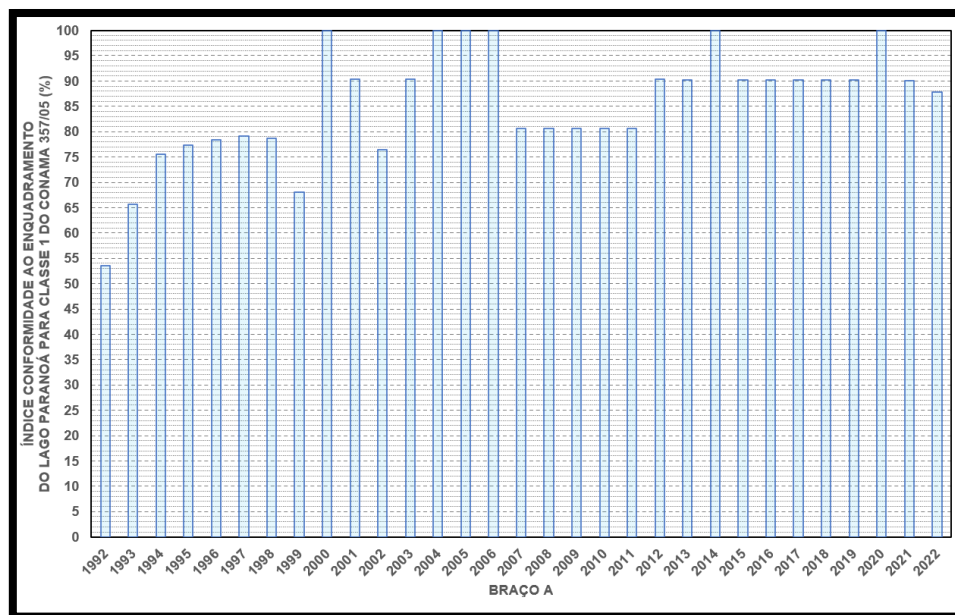


Figura 18 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço A de 1992 até 2022

- **Braço B**

Assim como o Lago Paranoá como um todo, a Figura 19 mostra que o braço B também teve a maioria de seus anos analisados categorizados como “excelente” (54,8%) para a qualidade da água, apenas o primeiro ano analisado se apresenta como “ruim” (3,2%) três anos como “regular” (9,7%) e 9 como “bom” (29%).

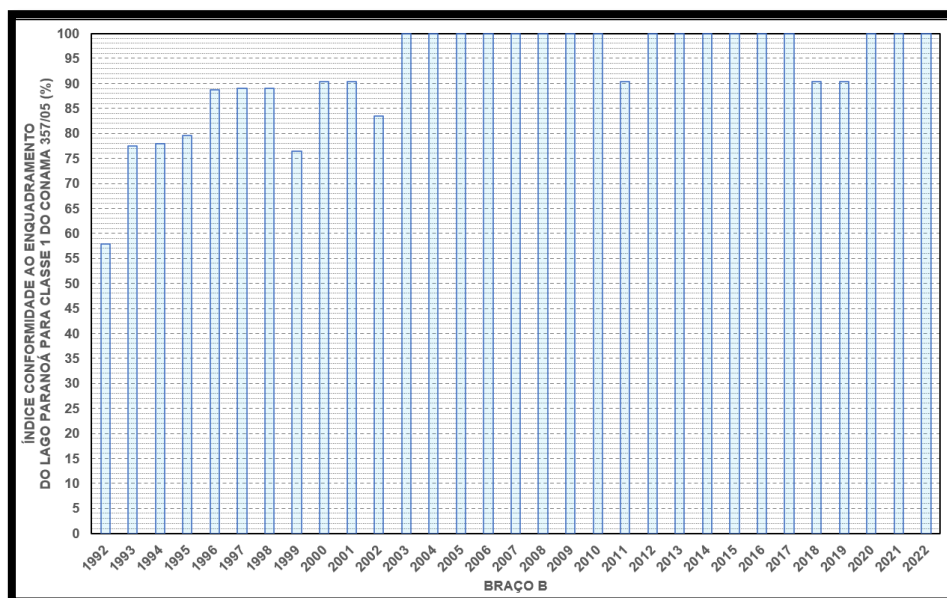


Figura 19 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço B de 1992 até 2022

- **Braço C**

A Figura 20 traz os resultados obtidos para o braço C, que se localiza na área central do lago. Novamente, apenas o ano 1992 é categorizado como “ruim” (3,2%), enquanto poucos são “regular” (12,9%), alguns “bom” (29%) e a maioria é “excelente”(54,8%).

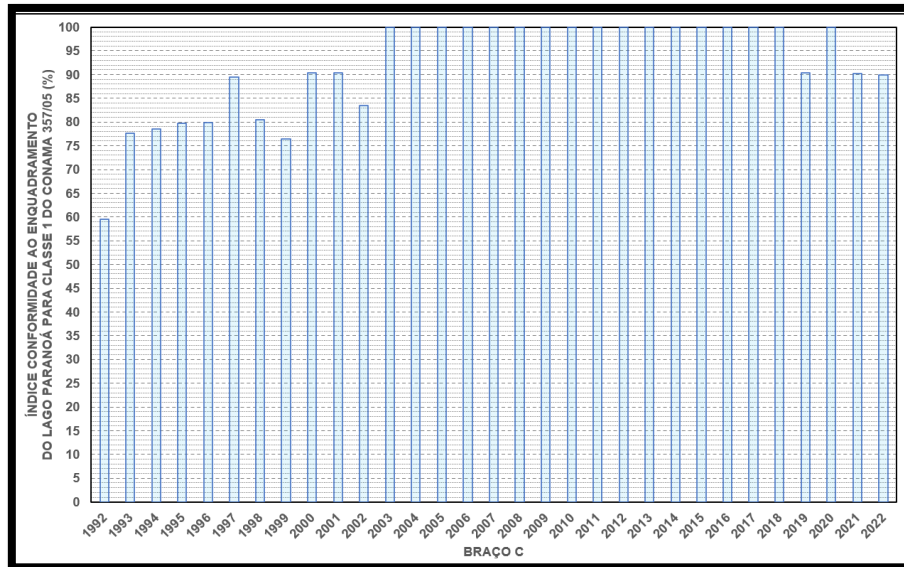


Figura 20 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço C de 1992 até 2022

- **Braço D**

A Figura 21 nos traz os resultados do método no braço D, e nos aponta 1992 (o primeiro ano da pesquisa) como “ruim” (3,2%) e 2022, o último, como “excelente”. A melhora na qualidade da água do lago é significativa não apenas no Lago Paranoá como um todo, mas também em áreas específicas como este braço, sendo alguns anos como “regular” (9,7%), outro como “bom” (29%) e a maioria como “excelente” (58%).

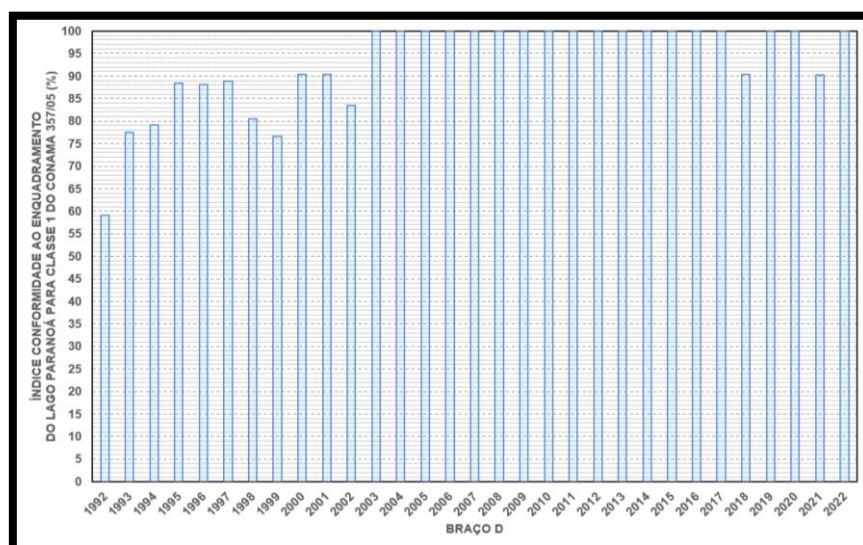


Figura 21 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço D de 1992 até 2022

- **Braço E**

O braço E apresentou o resultado mais baixo de todas as áreas no ano de 1992, conforme demonstra a Figura 22, se categorizando como “ruim” (3,2%), poucos como “regular” (16,1%), alguns como “bom” (32,2%) e a maioria como “excelente” (48,4%). Sendo assim, para o ICE Classe 1 nenhum período de nenhuma área analisada se encontrava em estado “péssimo”, seguindo a classificação do método.

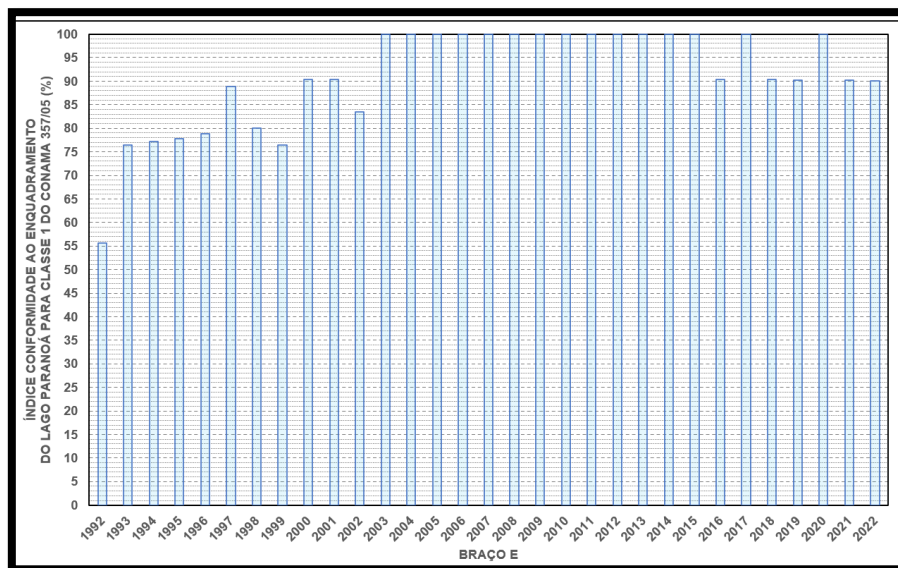


Figura 22 – Resultado do método ICE Classe 1 para o Braço E de 1992 até 2022

3.2.2 CLASSE 2

Assim como para a Classe 1, para classificar a Classe 2 deste método também utilizaremos a tabela 2.

- **Lago Paranoá**

A Figura 23 demonstra que de acordo com o ICE dentro da Classe 2, o Lago Paranoá se classifica ainda melhor do que na Classe 1, em comparação com o gráfico 17. Vale lembrar que a diferença entre as classes está na forma de tratamento simplificado e convencional para Classe 1 e 2, respectivamente. Observamos que apenas um ano se encontra como “regular” (3,2%), poucos como “bom” (25,8%) e a maioria como “excelente” (71%).

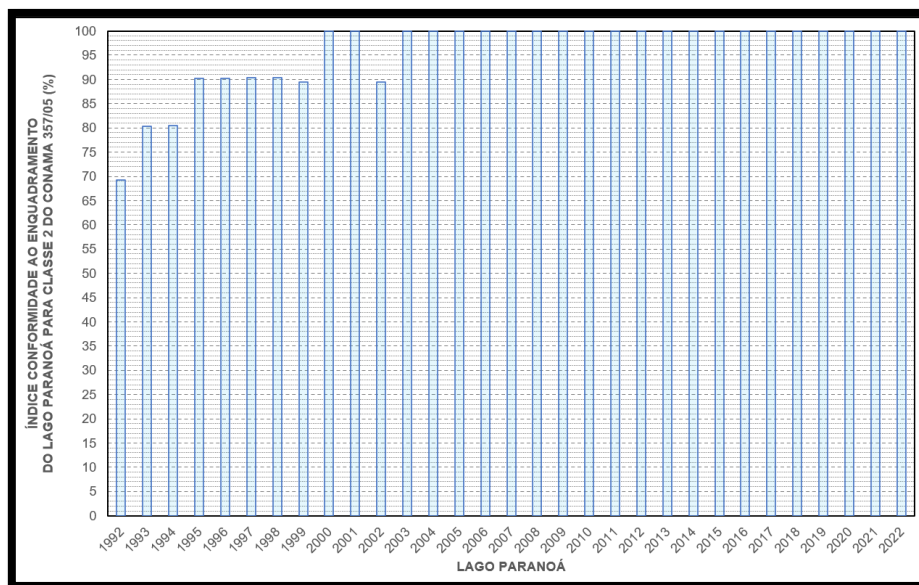


Figura 23 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Lago Paranoá de 1992 até 2022

- **Braço A**

Em comparação ao resultado da Classe 1 na Figura 19, podemos observar na Figura 24, na Classe 2, uma melhora no primeiro ano de análise, onde antes se categorizava como “ruim” agora se apresenta como “regular” com mais dois outros anos (9,7%), a maioria como “bom” (48,4%) e alguns como “excelente” (41,9%).

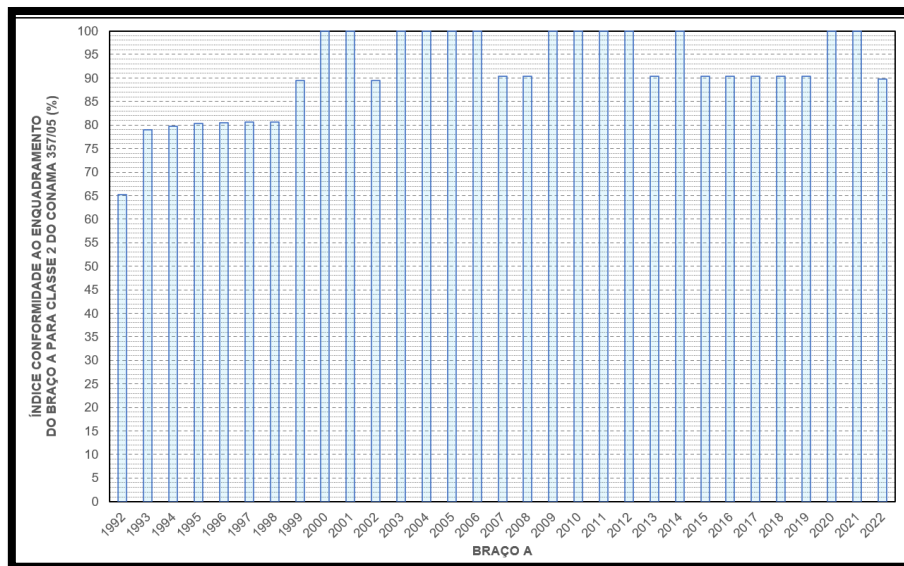


Figura 24 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço A de 1992 até 2022

• Braço B

De acordo com a Classe 2 para o braço B, a classificação da água como “excelente” já se inicia no ano 2000, como demonstra a Figura 25, resultado este diferente no gráfico 19 onde temos a Classe 1 para o mesmo braço, que começou a se classificar como tal apenas em 2003. Ainda, os anos de 2011, 2018 e 2019 que antes eram tidos como “bons” agora se apresentam como “excelentes”. Dessa forma, na Figura 25 observamos 9 anos como “bom” (29%) e o restante como “excelente” (71%).

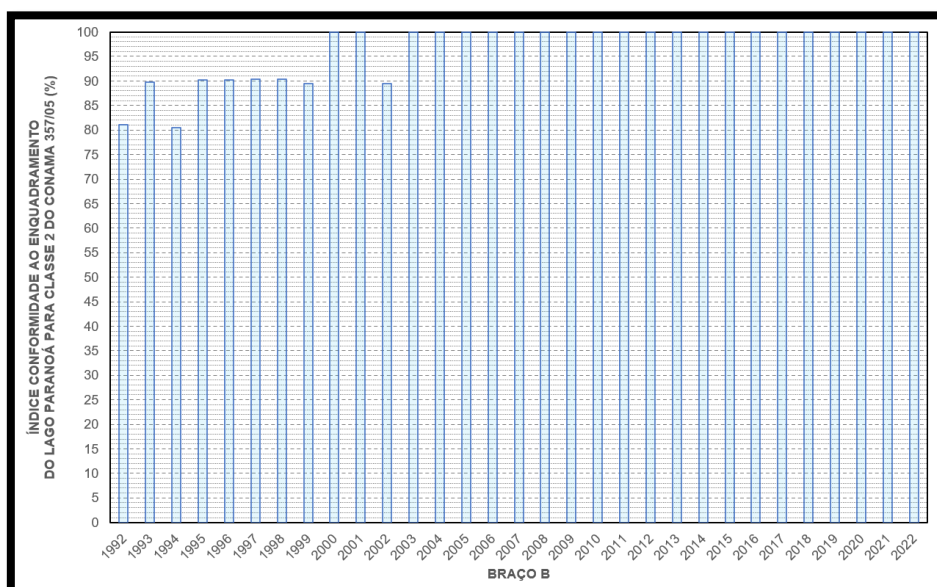


Figura 25 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço B de 1992 até 2022

- **Braço C**

A Figura 26 demonstra os resultados do ICE de acordo com a Classe 2, e apresenta uma parte dos anos como “bom” (25,8%) e a maioria como “excelente” (74,2%), sem apresentar em nenhum momento “ruim”, diferente do braço C de acordo com a Classe 1 como podemos observar na Figura 20.

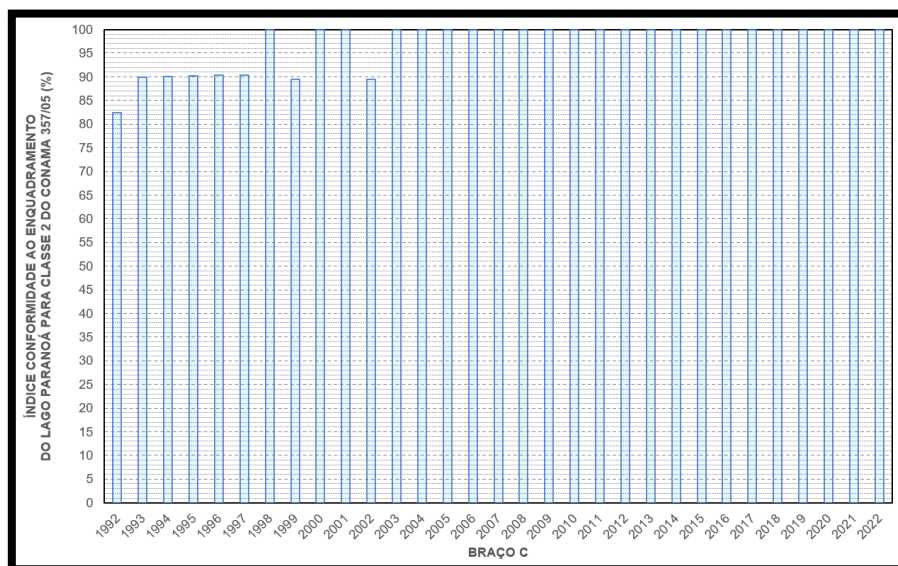


Figura 26 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço C de 1992 até 2022

- **Braço D**

A Figura 27 nos mostra uma melhora bem significativa na água deste local de acordo com a Classe 2, visto que a classificação mais baixa é “bom” (25,8%) e a maioria “excelente” (74,2%).

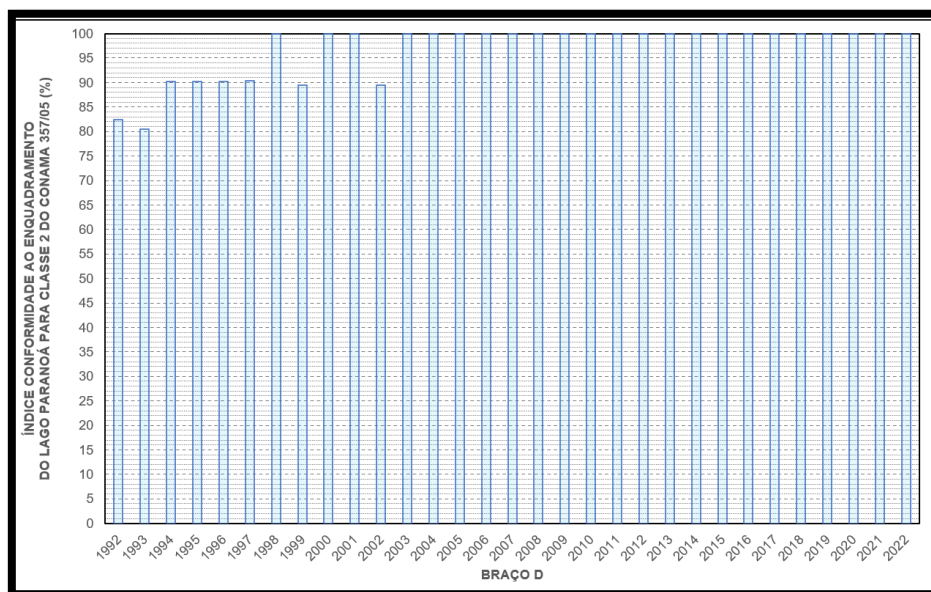


Figura 27 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço D de 1992 até 2022

- **Braço E**

A maior parte do período analisado no braço E de acordo com o ICE Classe 2 é categorizada como “excelente” (71%), apenas 1992 como “regular” (3,2%) e o restante como “bom” (25,8%), assim como demonstra a Figura 28.

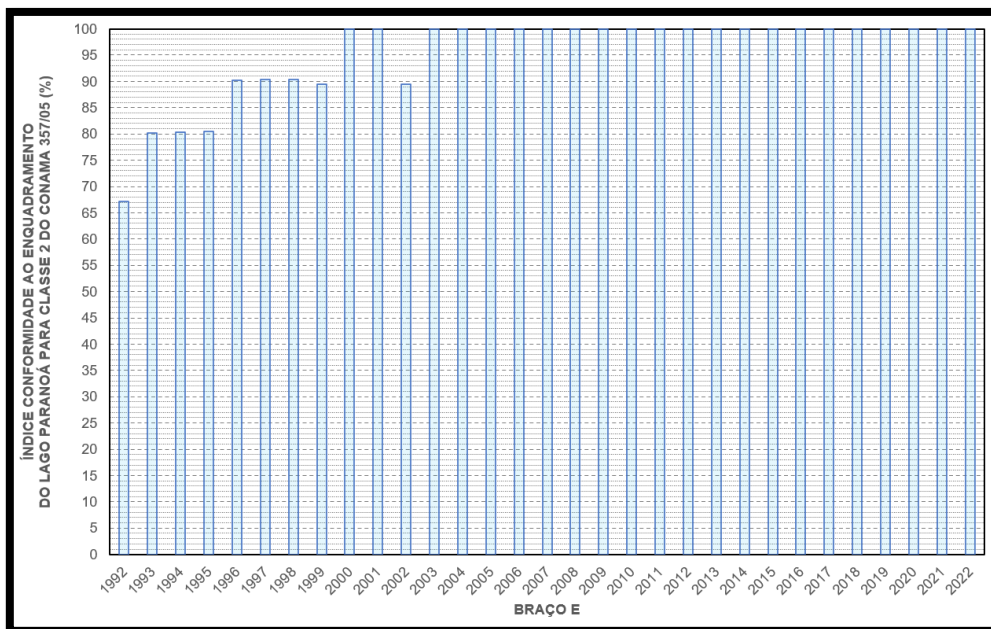


Figura 28 – Resultado do método ICE Classe 2 para o Braço E de 1992 até 2022

3.3 IETtst

- **Lago Paranoá**

Na Figura 29, inicialmente, o lago se apresentava como hipertrófico (9,7%), em uma condição muito ruim. Com o passar do tempo nota-se a melhora deste quadro, sendo que podemos observar um salto de eutrófico diretamente para oligotrófico (61,3%) logo após o acontecimento do *flushing* (de 1998 para 1999). Em 2020 o estado do lago é ultraoligotrófico (9,7%), entretanto esse resultado não pode ser considerado 100% correto, devido a pandemia do Covid-19.

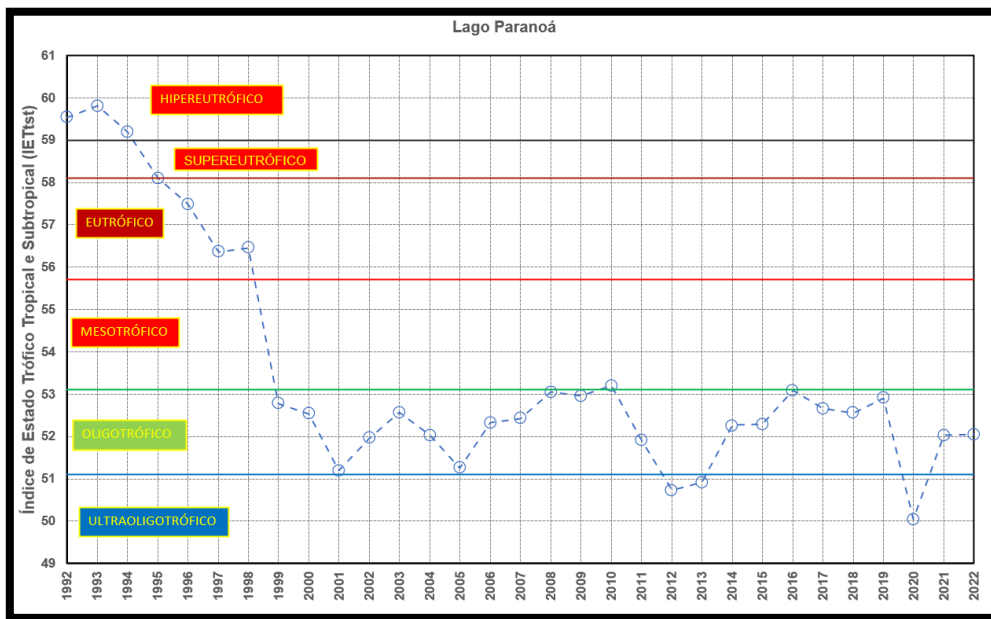


Figura 29 – Resultados da aplicação do IETtst no Lago Paranoá de 1992 até 2022

- CONAMA 357/2005

Dentro do CONAMA 357/2005, é possível ver que o Lago não chega a alcançar a “Classe 4”, considerada como a pior em relação a qualidade da água, e que permanece na maior parte do tempo dentro da “Classe 1” (77,5%), considerada a melhor qualidade, como observado na Figura 30, pouco tempo dentro da “Classe 3” (16,1%) e menos ainda na “Classe 2” (6,45%).

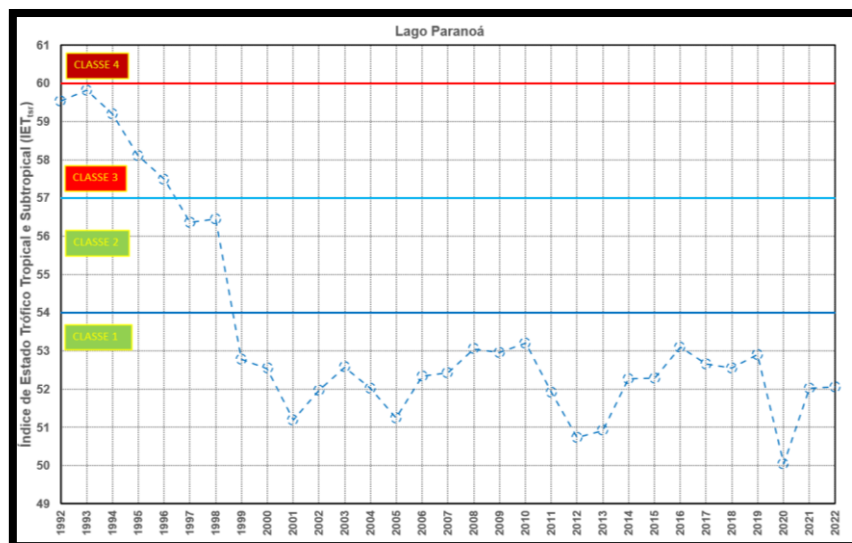


Figura 30 - Resultados da aplicação do IETst no Lago Paranoá de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005

- **Braço A**

Como citado anteriormente, o braço A é localizado no Riacho Fundo, e é considerado desde o início dos estudos referentes a qualidade biológica da água do Lago Paranoá como a região de pior qualidade. Assim, podemos destacar que a maior parte dos anos o braço A foi classificado como mesotrófico (58%), que pode ser considerado como uma água de qualidade mediana, nem ruim e nem ótima, os anos iniciais como “hipertrófico” (16,1%), os seguintes como “supereutrófico (6,45%), alguns como “oligotrófico” (16,1%) e apenas o ano de 2020 como “ultraoligotrófico” (3,2%) ,segundo a Figura 31.

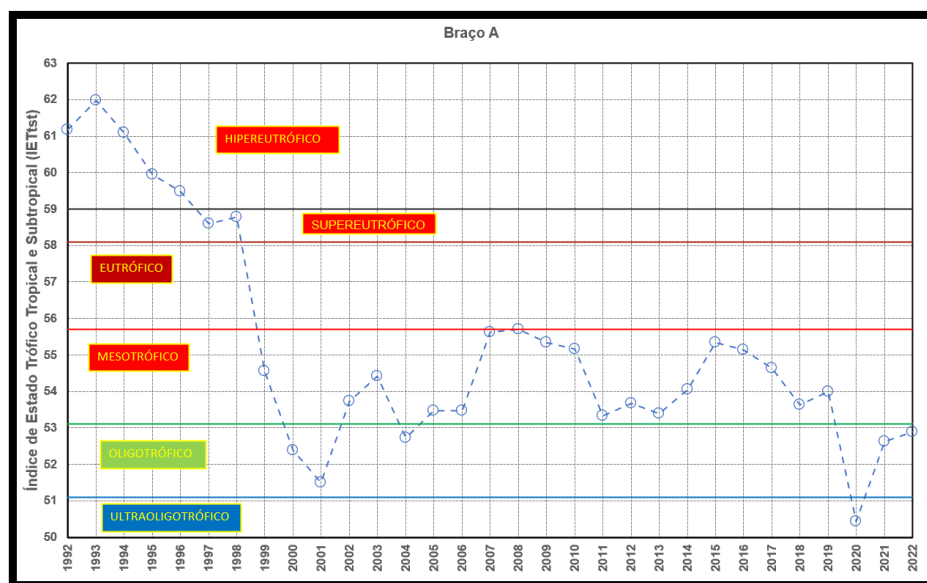


Figura 31 - Resultados da aplicação do IETst no Braço A de 1992 até 2022

- CONAMA 357/2005

Entretanto, no CONAMA 357/2005, o braço A permanece a maior parte do tempo dentro da melhor classificação como “classe 1” (45,2%), algum tempo como “classe 2” (29%), pouco como “classe 3” (12,9%) e menos ainda como “classe 4” (9,7%) de acordo com a Figura 32.

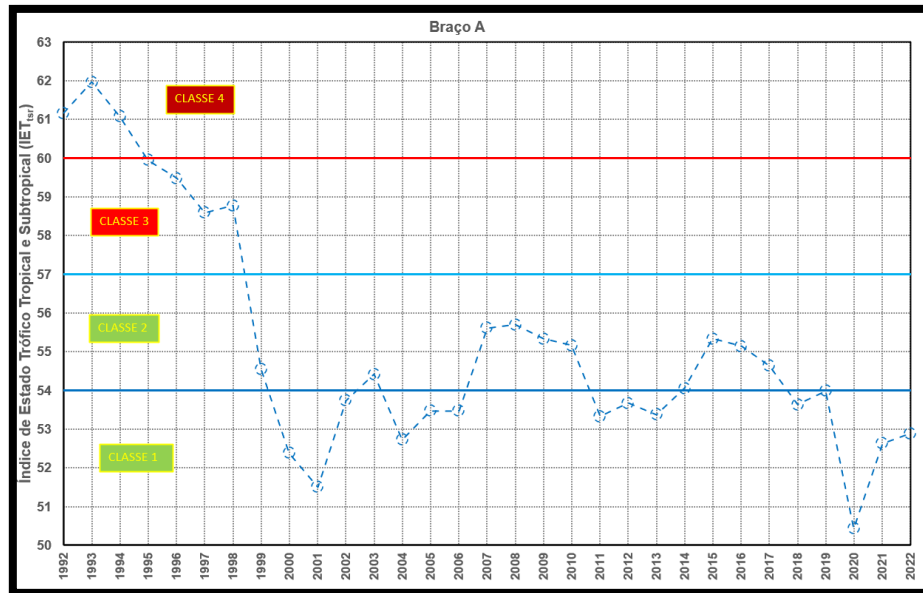


Figura 32 - Resultados da aplicação do IETst no Braço A de 1992 até 2022 de acordo com o CONAMA 357/2005

• Braço B

Na Figura 33 é interessante observar que o braço B em 1997 se encontrava como “mesotrófico”, piorando no ano seguinte e indo para “eutrófico”, e então após o *flushing* mudando diretamente para “oligotrófico”, uma condição boa da qualidade de água. Os anos de 2012 e 2013 foram os melhores classificados para este braço. Assim, a maior parte dos anos se classificaram como “oligotrófico” (38,7%), seguidos por “ultraoligotrófico” (32,2%).

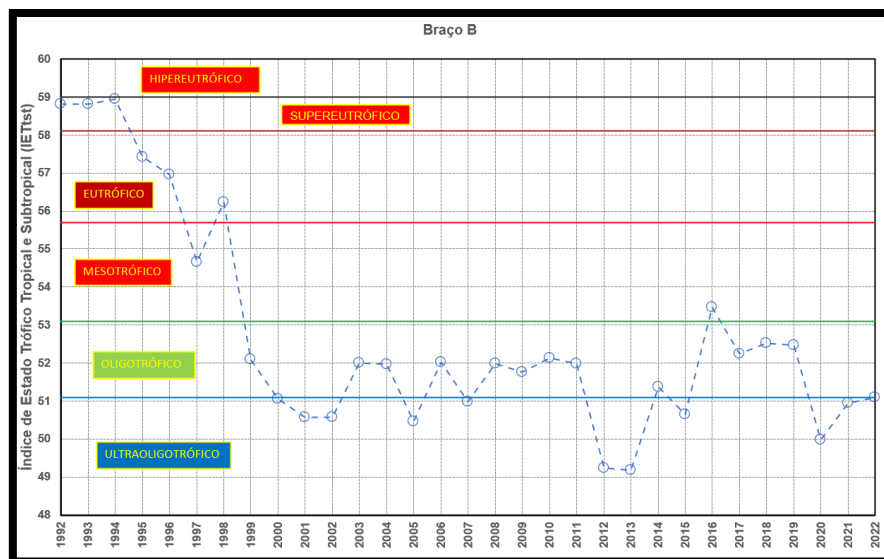


Figura 33 - Resultados da aplicação do IETts no Braço B de 1992 até 2022

- CONAMA 357/2005

Esta área do lago, referente ao braço B, de acordo com as classes do CONAMA 357/2005, não se encontrou em estado muito ruim (classe 4) em nenhum momento, e permaneceu em um bom estado (classe 1) durante a maior parte do período analisado (77,5%) como observado na Figura 34.

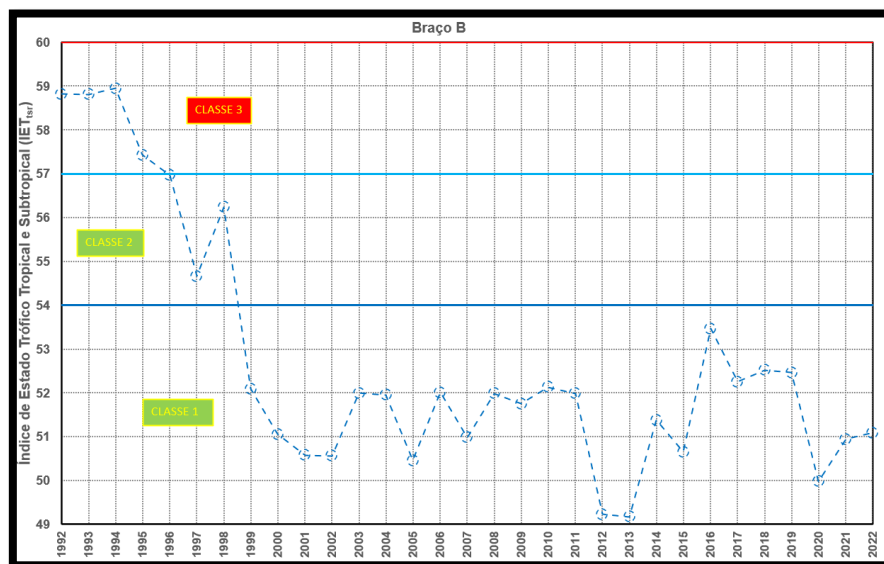


Figura 34 - Resultados da aplicação do IETts no Braço B de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005

- **Braço C**

Assim como no braço B, os melhores anos do braço C também foram 2012 e 2013, e o salto de “eutrófico” para oligotrófico” também se deu de 1998 para 1999, apesar de ter ocorrido uma leve piora no ano 2000 posteriormente, conforme a Figura 35. A maior parte do tempo os anos se classificaram como “ultraoligotrófico” e “oligotrófico”.

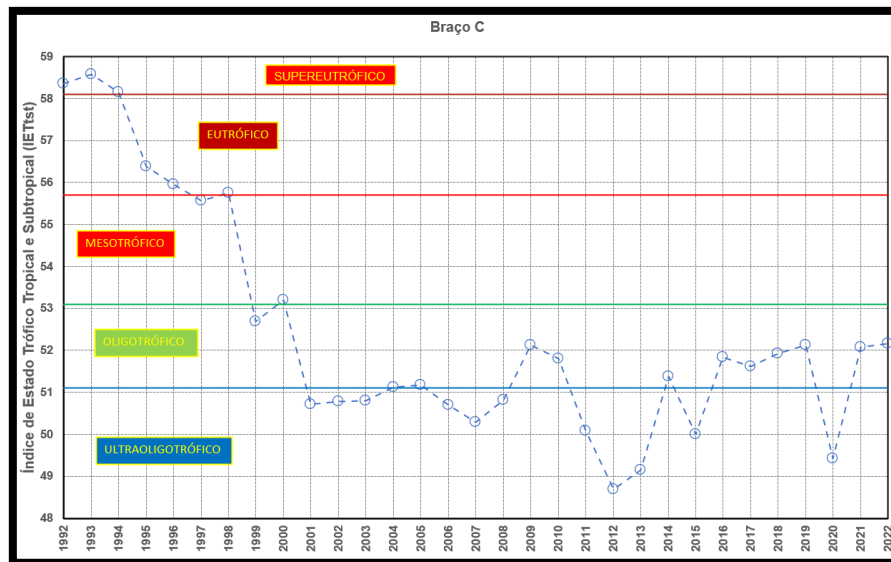


Figura 35 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço C de 1992 até 2022

- **CONAMA 357/2005**

Novamente, semelhante ao braço B, podemos observar na Figura 36 que o braço C também não esteve em momento algum em seu pior estado (classe 4) de acordo com o CONAMA 357/2005, e passou a maior parte do período analisado em seu melhor estado “classe 1” (77,5%). Os anos 2012 e 2013 seguem sendo os melhores também neste braço.

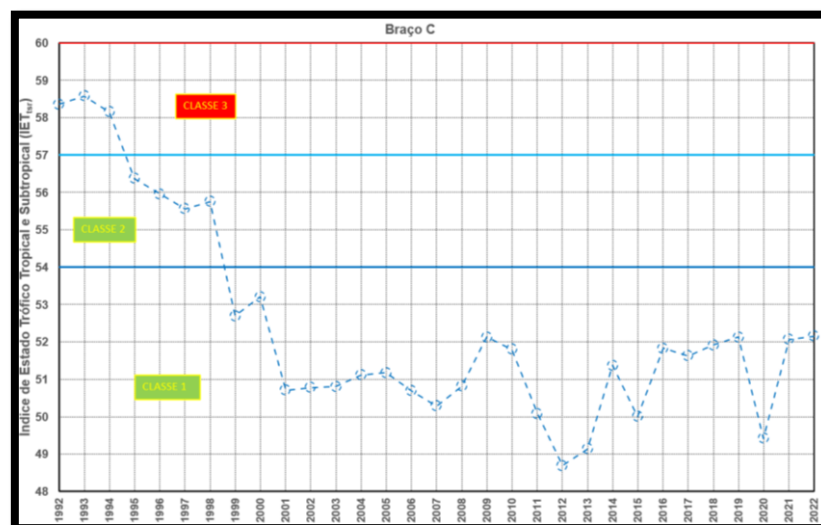


Figura 36 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço C de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005

- **Braço D**

Na Figura 37, referente ao braço D observamos que este apresentou seu melhor índice no ano 2000, seguido pelo ano de 2005. Durante a maior parte do tempo a classificação foi “ultraoligotrófica” (41,9%), seguido por “oligotrófico” (35,5%), “eutrófico” (12,9%), “supereutrófico” (6,45%) e “mesotrófico” (3,2%).

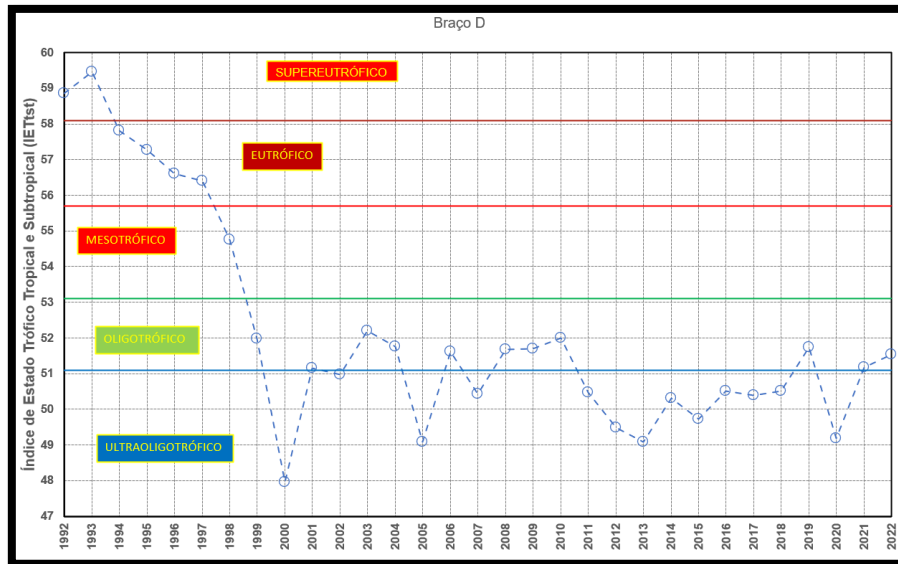


Figura 37 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço D de 1992 até 2022

- CONAMA 357/2005

Novamente, a classe 4 não é presente, e a maior parte do período o braço D se encontra na “classe 1” (77,5%), seguido pela “classe 3” (12,9%) e pela “classe 2” (9,7%), como na Figura 38.

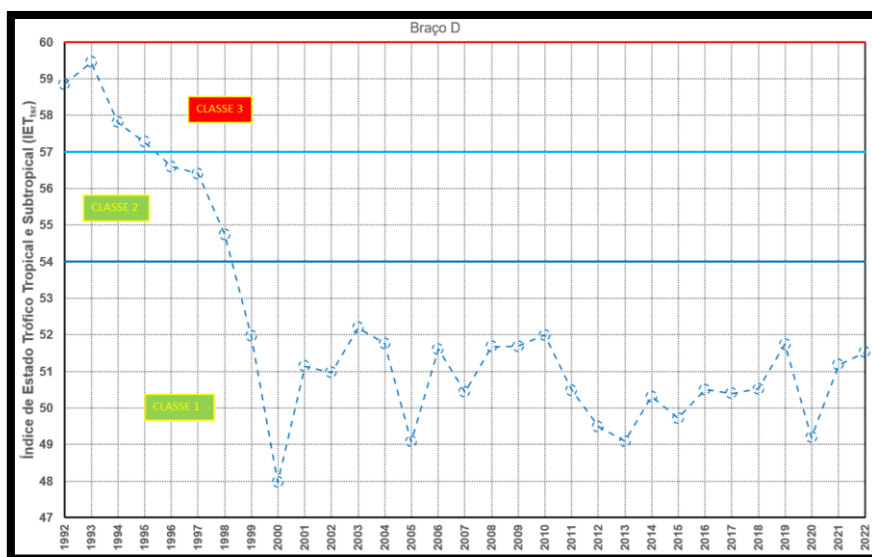


Figura 38 - Resultados da aplicação do IETtst no Braço D de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005

- **Braço E**

O braço E apresenta classificação “oligotrófica” (67,5%) durante a maior parte dos anos, conforme a Figura 39, apontando para uma boa qualidade da água. Seguidos por “supereutrófico” (16,1%), “ultraoligotrófico” (9,7%) e “eutrófico” (6,45%).

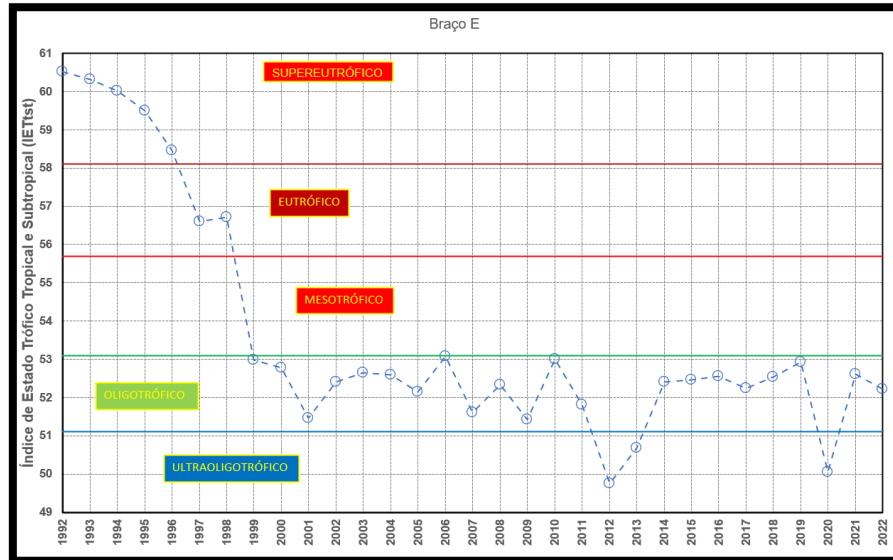


Figura 39 - Resultados da aplicação do IETst no Braço E de 1992 até 2022

- **CONAMA 357/2005**

De acordo com a Figura 40, inicialmente o braço E se classifica como “classe 4” (9,7%), apontando para uma qualidade muito ruim da água. Entretanto, depois que a melhoria acontece, a área se classifica por período maior de tempo na “classe 1” (77,5%). O ano 2012 foi o melhor para este braço.

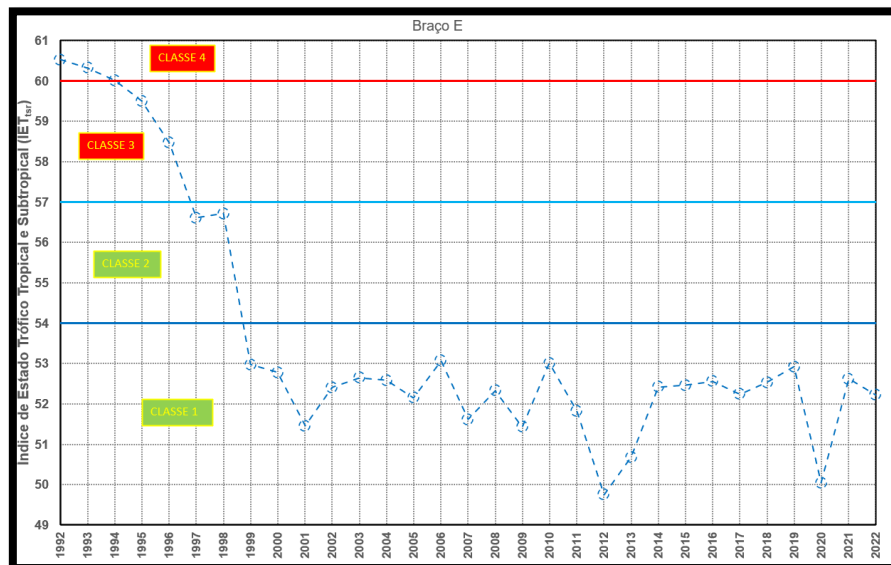


Figura 40 - Resultados da aplicação do IETst no Braço E de 1992 até 2022 de acordo com as condições do CONAMA 357/2005

Em todos os resultados encontrados foi possível observar uma mudança brusca no comportamento dos dados do ano 1998 para 1999, isso ocorreu devido ao *flushing* no Lago Paranoá em novembro de 1998, conforme explicou em entrevista o senhor Fernando Starling, doutor em Ecologia Aquática Aplicada e Aquicultura Ambiental. A entrevista ocorreu em Brasília/DF, no dia 25 de agosto de 2023, pessoalmente. Além da mestrandia e do entrevistado, também estava presente o senhor Mauro Felizatto, orientador do presente trabalho. O tema debatido foi a análise de dados realizada no presente trabalho de 1992 até 2022 e os resultados obtidos.

Já na pesquisa de Fonseca *et al.* (2009) o braço A se mostrava como a área mais eutrofizada do reservatório do Lago Paranoá, entretanto, notou-se uma melhora significativa na qualidade da água após o *flushing*, apresentando inclusive mudanças na biodiversidade em todo o local. Entretanto, mesmo após longos anos de melhoria e desenvolvimento, este mesmo braço permanece sendo o de menor melhora, enquanto o braço C, sendo a área central do lago, demonstra uma melhora muito significativa, conforme apresentado nos gráficos abaixo.

Nos gráficos em geral é possível observar resultados mais diferenciados no ano de 2020, entretanto, é preciso discutir a veracidade dos mesmos, visto que este foi o primeiro ano da pandemia do Covid-19 e, portanto, a CAESB não realizou a coleta dos dados da mesma maneira que nos demais anos, assim sendo, a quantidade de dados disponíveis para avaliar a qualidade da água do Lago Paranoá em 2020 não é equivalente aos demais anos.

3.4 TESTE DE MANN-KENDALL

O IETtst foi analisado de duas formas: quanto a trofia e quanto ao CONAMA 357/2005. O ICE foi analisado dentro do CONAMA nas classes 1 e 2.

Em ambos foram analisados o grau de significância de 1992 até 2022, que nos indica qual é a probabilidade de que ocorra algum erro na análise dos dados nesses métodos.

Obtivemos o resultado de 1% de significância para o IETtstT, IETtstC e ICEc1, enquanto o resultado para ICEc2 foi de apenas 0,1%, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado Teste de Mann-Kendall para ICE e IET

Série	Início	Fim	n°	Z	Signific.	%
IETtstT	1992	2022	31	-3,2	**	1,0%
IETtstC	1992	2022	31	-3,2	**	1,0%
ICEc1	1992	2022	31	2,81	**	1,0%
ICEc2	1992	2022	31	4,52	***	0,1%

Conclusão

Através do estudo realizado pudemos notar que a qualidade da água do Lago Paranoá melhorou significativamente após a inauguração das Estações de Tratamento Sul e Norte, isso porque os efluentes passaram a ser tratados de maneira correta ao invés de simplesmente serem despejados ao longo do lago, consequência essa que pode ser observada principalmente no braço A, referente a área do Riacho Fundo, onde mais ocorria o derramamento. O aparecimento de camarões canela, em outubro de 2022, é uma comprovação prática e visível desta melhora a toda a população do DF, inclusive os leigos ao assunto de qualidade da água e limnologia.

Dentre as áreas estudadas, o braço C corresponde a área central do lago e, portanto, possui resultados muito semelhantes ao Lago Paranoá como um todo. Em todos os métodos aplicados foi possível observar que no período inicial de análise, no ano de 1992, a má qualidade da água era muito presente e em 2022, no ano final, esta já se encontrava com outras características, comprovando sua melhora.

O *flushing* que ocorreu no final de 1998 alterou drasticamente todos os resultados referentes a água, e a partir de 1999 pode-se observar uma melhora imensa em todos os resultados, comprovando que o evento de fato aconteceu e que essa “lavagem” contribuiu grandemente para a melhora da qualidade da água não apenas no ano seguinte mas em todos os demais até a atualidade.

A maior recomendação a ser feita é aumentar a atenção específica ao braço A, que dentre todas as áreas analisadas, apresentou piores resultados, o que pode ser perigoso para o Lago Paranoá como um todo.

Uma outra recomendação seria o início do uso do Carbono Orgânico Total (Cot) dentro das análises, levando em conta que, por exemplo, o CONAMA 357/2005 solicita o uso da DBO mas este dado esteve sempre abaixo do limite de detecção nos 31 anos analisados.

Referências Bibliográficas

- AMARO, C. A.; PORTO, M. F. A. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande/MS, 2009. Disponível em: <<https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7503/ice-amaro-2009.pdf>>. Acesso em: 29 de novembro de 2022.
- ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A. Statistics for Business and Economics. Thompson, 2005.
- ANGELINI, R.; BINI, L. M.; STARLING, F. L. R. M. Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do lago Paranoá (Brasília – DF). Oecol. Bras., vol. 12, no. 3, p. 564-571, 2008.
- BERTRAN, P. História da Terra e do Homem no Planalto Central. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.
- BOSCH, A., GUIX, S., SANO, D., PINTO, R. M. New tools for the study and direct surveillance of viral pathogens in water. Current Opinion in Biotechnology, v.19, n.3, p.295-301. 2008.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde. Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica. Organização Pan-Americana da Saúde. – Brasília, 2004. 116 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº888, de 4 de maio de 2021. Brasília, 2021. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html>. Acesso em: 11 de novembro de 2022.
- BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Conselho Brasileiro para o Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em 05 de agosto de 2023.
- BRITO, J. De Plano Piloto a Metrópole: A Mancha Urbana de Brasília. Brasília: Universidade de Brasília, 2009.
- CAESB. Dados do programa de monitoramento da qualidade da água do lago Paranoá. Diretoria de Produção, Brasília-DF, 2005.

- CAIRNCROSS, S.; FEACHEN, R. G. Environmental Health Engineering in the tropics. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2ª Ed. 1993. 306 p.
- CALIJURI, M.C; SANTOS, A.C.A. Variações temporais no fitoplâncton primário produção em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP–Brasil). Hidrobiologia 445, 11-26, 2001.
- Canadian Water Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update. Disponível em: <<https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>>. Acesso em: 29 de novembro de 2022.
- CASTAGNINO, W.A. Investigação de modelos simplificados de eutrofização em lagos tropical. Organização Pan-Americana da Saúde, Centro Pan-Americano de Engenharia Ciências Sanitárias e Ambientais, 1982.
- CEPIS (*Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*). *Metodologias simplificadas para la evaluacion de eutrofication en lagos calidos tropicales*. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS, 1990.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Secretaria do Meio Ambiente, 2013. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/04.pdf>>. Acesso em 11 de novembro de 2022.
- CHAPRA, S.C.; TARAPCHAK. Um modelo de clorofila "a" e sua relação com parcelas de carregamento de fósforo para lagos. Pesquisa de Recursos Hídricos, 12(6):1260-1264, 1976.
- CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A Plano de Gestão e Preservação do Lago Paranoá. Relatório Final. Brasília-DF, 190 p, 2003.
- CONSERVA, C. S.; ANDRADE, L. M. S.; DERNTL, M. F. Cidade e natureza: Lago Paranoá, História e Modernidade na paisagem de Brasília. In: 14º SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL, 2021, Belém.
- CORDEIRO NETTO, O M. Contexto ambiental e econômico das medidas de proteção do lago Paranoá, no Distrito Federal, 2004.
- COSTA, L. Relatório do Plano Piloto de Brasília. Elaborado pelo ArPDF, CODEPLA, DePHA. Brasília: GDF, 1991. Disponível em:

<https://www.aman62.com/arquivos/jose_pessoa/relatorio_plano_piloto_de_brasilia_web2.pdf>. Acesso em 6 de novembro de 2022.

CRULS, L. Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil. São Paulo: relatório Cruls. Ed. especial. Brasília, DF: Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central, 1995.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). *Ecological Engineering*, v. 60, p. 126-134, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

DELLAMANO-OLIVEIRA, M.J.; VIEIRA, A.A.H.; ROCHA, O.; COLOMBO, V.; SANTANNA, C.L. Phytoplankton taxonomic composition and temporal changes in a tropical reservoir. *Fundamental and Applied Limnology*, v. 171, p. 27-38, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/1863-9135/2008/0171-0027>>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

FELIZATTO, M.R.; ITONAGA, L.C.; PINTO, M.A.; CAVALCANTI, C.G. Análise estatística da tendência dos dados limnológicos do Lago Paranoá e sua classificação do estado trófico com base na metodologia CEPIS. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, Rio de Janeiro, v.9, p.2159-2169.

FONSECA, F. O. Olhares sobre o Lago Paranoá. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, Brasília-DF. 425 p, 2001.

FONSECA, C. P.; PHILOMENO, M. G.; BATISTA, C. A. *Limnological features after a flushing event in Paranoá reservoir, central Brazil*. *Acta Liminol. Bras.*, vol.21, no. 3, p. 277-285, 2009.

FERREIRA, C. T; SILVEIRA, T. R. Hepatites virais: aspectos da epidemiologia e da prevenção. *Revista brasileira de epidemiologia*. Dez 2004, vol.7, nº.4, p.473-487.

FREITAS, M.B.; FREITAS, C.M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano - desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 10(4): 993-1004, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csc/a/WW5yn576ZGbM3FQNDWYKFKB/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em 4 de novembro de 2022.

- GALVEZ-CLOUTIER, R.; SANCHEZ, M. Avaliação do estado trófico de 154 lagos em Quebec, Canadá: monitoramento e recomendações. *Água Qual. Res. J. Pode.* 42 (4), 252-268, 2007.
- GDF – SEDUH - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação, 2019. Disponível em: <<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/#>>. Acesso em: 18 de novembro de 2022.
- GILBERT, R. O. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1987.
- HELLER, L. *Saneamento e saúde*. Brasília: Ed. Organização PanAmericana de Saúde/OMS, 1997.
- HUSZAR; VLM; CARACO; NF; ROLAND, F. Relações nutriente-clorofila em lagos tropicais-subtropicais: os modelos temperados se ajustam? *Biogeoquímica* 79 (1-2), 239-250, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagnostico_AE2019.pdf. Acesso em: 5 de novembro de 2022.
- JAYNES, E.T; *Probability Theory: The Logic of Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- LEWIS, W. M. Causas para a Alta Frequência de Limitação de Nitrogênio em Lagos Tropicais. *Proceedings of the International Limnology Association* 28, pp. 210–213, 2002.
- LIU, H.B.; PAN, D.; CHEN, P. A two-year field study and evaluation of water quality and trophic state of a large shallow drinking water reservoir in Shangai, China. *Desalination and Water Treatment*, v. 57, n. 20, p. 13829-13838, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1059370>>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.
- LUZ, Clemente. *Invenção da cidade: (Brasília)*. Editora: Record. Brasília, 1967. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/Inven%C3%A7%C3%A3o_da_cidade.html?id=RLwYAAAAYAAJ&redir_esc=y>. Acesso em 6 de novembro de 2022.

- MAIOR, G. S.; CHIARINI, H.; NETTO, P.B.; MORETTI, W. Geração de energia. In: Fonseca, FO. (org.). Olhares sobre o Lago Paranoá. Brasília: Secretaria do Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal, p. 191-197, 2001.
- MAZUMDER, A.; HAVENS, K.E. Relações Nutriente-clorofila-Secchi sob comunidades de pasto contrastantes de lagos temperados versus subtropicais. Posso. J. Peixe. Água Conhecer 55 (7), 1652-1662, 1998.
- MENDES, Benilde; OLIVEIRA, J.F.S. Qualidade da água para consumo humano. Lisboa – Porto: Lidel Edições Técnicas, IDA, 2004. 617 p.
- OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico). Eutrofização: monitorização, avaliação e controlo. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, Paris, 1982.
- OLIVEIRA, T. M. G.; STEINKE, V. A. A Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá como geopatrimônio fundante de Brasília, Brasil: unidade de paisagem referência de cultura e sustentabilidade geográfica. Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente, vol.2, nº1, p.41-62, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.21814/physisterrae.2572>>. Acesso em: 18 de novembro de 2022.
- PAUL, M.J.; MEYER, J. L. Streams in the urban landscape. Annual Reviews. Ecology System. Nº32, p. 333–65, 2001.
- PORTO, M. F. A. Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro. 2002. 131 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- PEDROSO, E. R. P. Água e eletrólitos. In: DUTRA-DE-OLIVEIRA, J. E.; MARCHINI, J. S. Ciências Nutricionais. São Paulo: Sarvier, 1998.
- PENA, R. F. A. "Distribuição da água no mundo"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-mundo.htm>. Acesso em 03 de novembro de 2022.
- PEREIRA, D. C. O uso consciente do Lago Paranoá. Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- PEREIRA, L.P. Avaliação Econômica do Uso do Lago Paranoá para Atividades Recreacionais. 187p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ UnB/ Brasília, 2006.

- RODRIGUES, G.H.; FELIZATTO, M.R.; STARLING, F.L.; PEREIRA, C.E. Avaliação atual da qualidade da água do Lago Paranoá, Brasília-DF. In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2007, Belo Horizonte, v.043, p.1-17.
- SANTOS, T.; SILVA, M.; PULJIZ, M. VÍDEO: camarões são encontrados na margem do Lago Paranoá, em Brasília. Globo, 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2022/10/17/video-camaroes-sao-encontrados-na-margem-do-lago-paranoa-em-brasilia.ghtml>>. Acesso em: 7 de novembro de 2022.
- SILVA, D. C. D. R. *et al.* Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, vol.23, n.4, 627-635, jul/ago, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/DFc5kHsRj5DG4XHTCLYXSmG/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.
- SOUSA, D.S.; FELIZATTO, M.R.; BRITES, C.R.; GURGEL, L.S. Análise de tendência de ICE (WQI) modificado em corpos receptores - estudo de caso no DF (Brasil). In: 18º SILUBESA, 2018, Porto, p.1-9.
- STARLING, F.L.R.M; Entrevista pessoal. Brasília, 25 de agosto de 2023.
- STARLING, F. L. R. M.; LAZARRO, X. Controle da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais por biomanipulação- estudo de caso: lago Paranoá (Brasília, Brasil). In: Di Bernardi, R. and Giussani, G. (eds.). Diretrizes para o gerenciamento de lagos: biomanipulação para o gerenciamento de lagos e reservatórios, 234 p, 2001.
- STARLING, F. L. R. M.; ROCHA, A. J. A. Experimental study of the impacts of planktivorous fishes on plankton community and eutrophication of a tropical Brazilian reservoir. *Hydrobiologia*, vol. 200/201, no. 1, p. 581- 591, 1990.
- STERNER, R. W. Sobre o paradigma de limitação de fósforo para lagos. *Int. Rev. Hidrobiol.* 93 (4-5), 433-455, 2008.
- TOLEDO, A. P.; AGUDO, E. G.; TOLARICO, M.; CHINEZ, S.J. Aplicação dos modelos simplificados para avaliação de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais; CETESB, 1984.
- VOLLENWEIDER, R.A. Eutrofização. Notas distribuídas durante a II Reunião do Projeto Regional de Eutrofização de Lagos Tropicais, 1983.

WHO (World Health Organization) 1996. Guidelines for drinking - water quality, vol.2.
WHO, Geneva.