



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Ciências Humanas - IH
Departamento de Geografia - GEA

**ESTUDO PRELIMINAR DA INFLUÊNCIA DA ATUAÇÃO DE SISTEMAS
FRONTAIS FRIOS NA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A NO LAGO
PARANOÁ/DF**

Pedro Alves da Silva

Brasília
2021

PEDRO ALVES DA SILVA

**ESTUDO PRELIMINAR DA INFLUÊNCIA DA ATUAÇÃO DE SISTEMAS
FRONTAIS FRIOS NA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A NO LAGO
PARANOÁ/DF**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à
Universidade de Brasília (UnB), como parte das
exigências para a obtenção dos títulos de
Licenciado e Bacharel em Geografia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ercília Torres Steinke

Brasília
2021

Em memória à Irene Alves Ferreira

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a todos meus familiares, especialmente a minha tia Mirene Ferreira Ribeiro pelo amor e cuidado incondicionais.

Agradeço a todos os professores que tive durante esses anos de graduação. Especialmente a Roselir de Oliveira Nascimento, Heloisa Sinatora Miranda, Dante Flávio da Costa Reis Júnior e Rafael Rodrigues da Franca pelas oportunidades cedidas e palavras de encorajamento.

Agradeço particularmente a Prof^a Dr.^a Ercília Torres Steinke pela dedicada e paciente orientação durante esse trabalho.

Agradeço aos muitos amigos que fiz graças a Universidade de Brasília, principalmente a Lucas Lima, Maria Melo, João Matheus, Bárbara Costa, Wallace Viera, Fernanda Almeida, Juliana Dias, Miguel Lima, Luiza Couto, Neandher Galvão, Beatriz Breves, Peri Martins entre outros que fizeram esses anos tão felizes e especiais.

Agradeço aos meus amigos de infância pelo companheirismo de tantos anos.

Agradeço a Universidade de Brasília por me proporcionar vivências e oportunidades inimagináveis.

RESUMO

O presente trabalho visa identificar a relação entre a atuação de eventos de sistemas frontais frios no Distrito Federal e estimativas de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), nos meses de abril a setembro da série histórica entre 2004-2018. É sabido que a dinâmica climática influencia ecossistemas aquáticos, especialmente parâmetros biológicos, entretanto pouco se sabe sobre a influência direta de variáveis meteorológicas, como a passagem de frentes frias, no contexto climático do Brasil Central. Portanto, foi estruturado banco de dados públicos em frequência mensal correspondente a variáveis meteorológicas e parâmetros de qualidade d'água. Os anos climáticos foram classificados de acordo com frequência e intensidade, sendo confeccionados de testes de correlações entre o parâmetro biológico clorofila-a e as classes de anos. Os valores dos coeficientes de correlação foram interpretados como principal indicativo de influência entre a atuação dos sistemas atmosféricos frios e o adensamento de clorofila-a. Os resultados indicam que o cenário climático mais propício ao adensamento do parâmetro biológico estudado ocorre em anos que a atuação dos sistemas frontais frios se dá de maneira em que frequência e intensidade tenham atuações discordantes, ou seja, anos que possuam frequências altas e intensidade baixas ou frequências baixas e intensidade altas.

Palavras-chave: Qualidade d'água, Clorofila-a, Sistemas frontais frios

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelo de sucessão fitoplanctônicas baseado na instabilidade da coluna d'água de acordo com a atuação de frentes frias.....	20
Quadro 2 - Condições do tempo atmosférico associadas às quatro fases da passagem de superfície frontal fria.	22
Quadro 3 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência alta / intensidade alta.	42
Quadro 4 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência alta / intensidade moderada.....	43
Quadro 5 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência alta / intensidade baixa.	44
Quadro 6 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência moderada / intensidade alta.....	45
Quadro 7 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência moderada / intensidade baixa.....	45
Quadro 8 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência baixa / intensidade alta.	46
Quadro 9 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência baixa / intensidade moderada.....	47
Quadro 10 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência baixa / intensidade baixa.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração de Clorofila-a nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro.....	34
Tabela 2 - Concentração de Fósforo e Nitrogênio Amoniacal nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro.	37
Tabela 3 - Classificação dos anos de acordo com a frequência e intensidade.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia do Lago Paranoá e Regiões administrativas que a compõem	25
Figura 2 - Unidades Hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá	27
Figura 3 - Climograma das normais climatológicas do Distrito Federal.	28
Figura 4 - Localização das estações de amostragem da CAESB.....	31
Figura 5 - Fluxograma das etapas realizadas durante o procedimento metodológico.	33
Figura 6 - Gráficos BoxPlot referente a concentração de Clorofila-a nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro.	34
Figura 7 - Gráficos BoxPlot referente a concentração de Fósforo e Nitrogênio Amoniacal nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro.	38

ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	9
1. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
1.1. Breve histórico da Climatologia	11
1.2. Ambientes aquáticos: lagos e reservatórios	15
1.3. Qualidade d'água: eutrofização	16
1.4. Indicadores de qualidade da água e o clima	18
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
2.1. Localização, problemáticas e histórico.	24
2.2. Caracterização do Meio Físico.....	26
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1. Distribuição dos dados de qualidade d'água.....	34
4.1.1. Clorofila-a.....	34
4.1.2. Dados químicos	36
4.2. Classificação dos anos de acordo com intensidade e frequência dos sistemas frontais frios	40
4.3. Resultados das correlações entre parâmetros biológicos de qualidade da água e a atuação dos sistemas frontais frios.....	41
5. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

INTRODUÇÃO

O clima e os eventos atmosféricos interferem em diversas questões fundamentais ao ser humano, como a disponibilidade e gestão de recursos, merecendo destaque as pautas relacionadas aos recursos hídricos. Sendo assim, pode-se afirmar que o clima é um importante componente espacial, possuindo intrínseca relação com as interações naturais e sociais que se dão no espaço geográfico, sendo um conceito muito rico a diversas áreas do conhecimento.

Entre os ramos da ciência que se debruçam sobre essa temática destaca-se a Climatologia Geográfica que se utiliza dos conceitos de tempo e clima em correlação com a sociedade e os diferentes contextos espaciais de uso e cobertura da terra. Portanto, as interações existentes entre atmosfera, sistemas naturais e sociais se configuram como um dos principais objetos de pesquisa dessa ciência.

A evolução da climatologia como ciência perpassou por períodos e aspectos diferentes, tendo se modernizado nos estudos práticos e dinâmicos que levam em consideração os efeitos de eventos climáticos nas mais diversas rugosidades da superfície terrestre. Os ambientes aquáticos são fundamentais para a humanidade estando associados a sobrevivência, economia, saúde, qualidade de vida e cultura. Entre a diversidade existente desses ambientes enfatiza-se a necessidade de compreender as dinâmicas de corpos hídricos urbanos, visto seu potencial para suprir as necessidades de centros cada vez mais habitados.

Os reservatórios urbanos são ambientes represados que possuem distintas finalidades, entre elas abastecimento de água, geração de energia, irrigação e lazer. Esses ambientes possuem peculiaridades quanto ao seu funcionamento ecossistêmico, sendo sensíveis a distúrbios antrópicos provocados principalmente pelo despejo de nutrientes.

O aumento progressivo de nutrientes pode levar ao processo de eutrofização, um desequilíbrio ambiental que altera o crescimento e a proporção da produtividade primária, que pode levar a consequências como o decréscimo de oxigênio, diminuição da transparência, mortandade de peixes e dominância de espécies tóxicas, em casos mais avançados podendo inviabilizar o uso do corpo hídrico.

O Lago Paranoá é um reservatório localizado em Brasília – Distrito Federal e foi, inicialmente, criado com o objetivo de gerar energia elétrica, como complementação

de demanda, o lago constitui um espaço de lazer, prática de esportes, pesca e desde 2018 serve, também, para abastecimento urbano. (GIACOMAZZO, 2020)

Durante as décadas de 1970 e 1980 as águas do lago se encontravam em estado crítico de eutrofização com florações de cianobactérias (PHILOMENO, 2007). Métodos de reversão foram aplicados, tendo o deplecionamento do lago ocorrido na década de 90, diminuindo o nível de trofia. Entretanto, o monitoramento e estudos da qualidade d'água no ambiente ainda se mantêm práticas fundamentais.

É sabido que a dinâmica climática influencia os ecossistemas de ambientes represados como o Lago Paranoá. Ademais, pesquisas afirmam que comunidades fitoplanctônicas sofrem influência das condições atmosféricas em parâmetros como crescimento, sucessão de espécies e densidade de indivíduos.

Entretanto, a gama de estudos que abordam essa relação, e possuem o Lago Paranoá como recorte geográfico, não foram realizados a luz da climatologia geográfica. Portanto, nesse contexto, o objetivo geral dessa pesquisa foi: identificar a relação entre eventos de sistemas frontais frios no Distrito Federal e estimativas de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), como parâmetros de qualidade da água no Lago Paranoá, entre os meses de abril a setembro na série histórica entre 2004-2018.

Como objetivos específicos têm-se: sistematizar e analisar os dados meteorológicos e de qualidade d'água; identificar a relação das variáveis climáticas com a produção de clorofila-a partir da análise estatística descritiva e analisar os índices de poluentes com a produção de clorofila-a a partir da análise estatística descritiva.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Breve histórico da Climatologia

A relação do ser humano com clima é ancestral, diversas civilizações desenvolveram conhecimentos nessa temática, sendo esses alinhados com as peculiaridades de cada grupo étnico. No Brasil, os conhecimentos constituídos de observações empíricas dos povos tradicionais, especificavam os fenômenos climáticos, assim como a regularidade e variação destes associados a diversas finalidades práticas (FERNANDES, 1989). Entretanto, o primeiro conceito foi estruturado ainda na Grécia antiga, de acordo com Jesus (1995) os gregos entendiam o “Klima” baseado nas inclinações da Terra aos Pólos. Essa base de conhecimento perdurou por séculos e foi utilizado nas primeiras tentativas de classificação climática.

Durante o período do Renascimento europeu e do Iluminismo filosófico uma nova relação entre a humanidade e os fatos naturais surge. O racionalismo, as experimentações e a quantificação dos fenômenos foram responsáveis por estruturar estudos sistematizados passíveis de comparação e replicação. As implicações nas ciências atmosféricas foram marcadas pela invenção do: termômetro por Galileu Galilei em 1593, do barômetro por Torricelli em 1643 e pela criação da primeira rede de estações meteorológicas por Fernando de Médicis em 1654, na Itália. A instrumentalização e a sistematização da Meteorologia foram basilares para o desenvolvimento dos estudos de Climatologia, assim como para seu desenvolvimento como campo do conhecimento científico (DE JESUS, 2008).

A partir da busca pelo rigor científico, estabelecido no período da Idade Moderna, Julius Von Hann elaborou o primeiro manual de climatologia “*Handbuch der Klimatologie*”. Essa obra marcou a história da ciência ao apresentar objetos e métodos que possibilitaram a confecção de estudos coesos e coerentes, dentro dos padrões anteriormente citados, além de apresentar a seguinte definição de clima: “[...] o conjunto dos fenômenos *meteorológicos* que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da Terra.” (HANN, 1882 *apud* MONTEIRO, 1976^a, p.22) e tempo: “[...] somente uma fase da sucessão dos fenômenos, cujo ciclo completo, reproduzindo-se com maior ou menor regularidade em cada ano, constitui o clima de qualquer

localidade.” (HANN, 1882 *apud* MORIZE, 1922^a, p.7). Esses conceitos conduziram os estudos tradicionais nesse ramo da ciência.

Os estudos de Wladimir Köppen também foram de grande importância para a Climatologia tradicional. Visto que desde os anos 1870, do século XIX, o autor elaborou os pioneiros ensaios de climatologia sinótica, utilizando uma série temporal diária de dois anos dos elementos atmosféricos (STRINGER, 1972). Sendo reconhecido até a atualidade pela sua proposta de classificação climática (atualizada e reformulada até versão final de 1931), assim como pelo emprego da média aritmética na comparação dos dados de elementos meteorológicos e no estudo dos tipos de tempo. Os estudos de Köppen são considerados pilares na construção das bases metodológicas dos estudos tradicionais do clima (ARMOND e SANT’ANNA NETO, 2016).

Entretanto, diversos aspectos da climatologia tradicional começaram a ser questionados ainda na primeira metade do séc. XX. Sendo que autores inspirados nos conceitos da meteorologia dinâmica publicaram trabalhos celebres. Sant’Anna Neto (2004) escreve que a Escola de Bergen, encabeçada por Vilhelm Bjerknes, elaborou conceitos ricos a criação dos primeiros modelos de Meteorologia Sinótica, assim como a proposta de uma nova interpretação da atmosfera física. De acordo com Burroughs (1998) a escola de Bergen realizou esse avanço significativo entre os anos de 1918 e 1923, ao apresentarem a teoria de que a atividade meteorológica se concentra nas fronteiras entre as massas frias e quentes. Os estudos desenvolvidos na Escola de Bergen, apesar de fundamentados em tratamentos estatísticos, permitiram a incorporação dos conceitos de tipos de tempo pela movimentação das massas de ar, o que levaria a uma Climatologia Dinâmica.

Entre os conhecimentos existentes nessa abordagem da Climatologia, as massas de ar se mostram um dos princípios básicos e podem ser definidas como: corpo de ar com milhares de quilômetros de diâmetro com características uniformes (BORSATO, 2016, p.79). Portanto, a Climatologia Dinâmica foi responsável pela apropriação dos termos meteorológicos, assim como pelo estudo da circulação atmosférica das massas de ar, tendo como objeto: a gênese, trajetória e influencia dessas no espaço geográfico.

No Brasil Joaquim de Sampaio Ferraz foi o primeiro autor a implementar esses paradigmas, sendo um dos pioneiros a trabalhar com análises sinóticas no país e publicando em 1934 sua obra “Meteorologia do Brasil”. Entretanto, foi apenas com a

melhoria da rede meteorológica de superfície que célebres trabalhos mais aprofundados começaram a surgir no Brasil. Serra (1938 e 1939) publicou seus primeiros ensaios caracterizando centros de ação e sistemas atmosféricos presentes no Brasil e na América do Sul. Entretanto, Serra e Ratisbonna (1959, 1960) foram capazes de emitir ensaios mais completos sobre a circulação atmosférica desses territórios, sendo capazes de caracterizar e descrever a trajetória das massas de ar atuantes.

Além do avanço no conhecimento da dinâmica atmosférica brasileira, Serra e Ratisbonna (1941) emitiram estudo de caso sobre a friagem na Amazônia, incorporando a análise de cartas sinóticas e atribuindo a gênese do fenômeno ao anticiclone polar atlântico. Sant’Anna Neto (2004) afirma que de certa forma Sampaio Ferraz, Serra e Ratisbonna sedimentaram as bases teóricas que possibilitaram o desenvolvimento das ciências atmosféricas no Brasil. Portanto, os estudos produzidos nessa época deixaram claro avanços metodológicos ao aderir análises dinâmicas e tratar de episódios eventuais.

De acordo com Caracristi (2002) o uso abusivo das medias climatológicas e abordagem separatista dos elementos climáticos, na Climatologia clássica, levavam a formulações generalistas e abstratas. Portanto, os valores numéricos usados para caracterizar as condições climáticas dentro do paradigma de Hann, assim como as metodologias traçadas por Köppen, se mostraram responsáveis por mascarar a complexidade da realidade.

Dentre os autores que contribuíram para a problematização dos paradigmas mais tradicionais, merece destaque os escritos de Maximilien Sorre que em seu tratado “*Fondments de La Géographie Humaine*” abriu uma nova definição de clima baseada nos avanços da meteorologia dinâmica, superando os parâmetros estatísticos médios. A partir dessas reflexões Sorre (1948) apresenta em sua obra as seguintes interpretações quanto aos conceitos substanciais para ciências atmosféricas:

[...] O clima em um determinado local, é a série de estados da atmosfera, em sua sucessão habitual. E o tempo que faz nada mais é do que cada um desses estados considerados isoladamente. Essa definição conserva o caráter sintético da noção de clima, enfatiza seu aspecto local e, ao mesmo tempo, evidencia o caráter dinâmico do clima, introduzindo as ideias de variação e de diferenças incluídas nas de sucessão. (SORRE, 1948:32)

Segundo Barros e Zavattini (2009), foi graças a revisão proposta por Max Sorre, em 1951, que novas abordagens em Climatologia foram desenvolvidas. No Brasil o professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro (1976), desenvolveu uma abordagem utilizando o paradigma do ritmo, ou seja, o “encadeamento sucessivo e contínuo dos estados atmosféricos e suas articulações no sentido de retorno aos mesmos estados” (MONTEIRO, 1976, p. 20). Monteiro (1971) afirma que a compreensão do ritmo climático se dá através da análise e representação diária dos elementos fundamentais do clima, concomitante a representação da circulação atmosférica regional. Essa técnica ele nomeou de “Análise rítmica”.

De acordo com Sant’anna Neto (2004) foram os trabalhos desenvolvidos por Monteiro os guias de estudos sobre a realidade climática brasileira. Dentre as publicações, desenvolvidas pós paradigma de Monteiro, merecem destaque pelo enfoque dinâmico e as relações com o espaço geográfico, as obras: “*Climatologia do Brasil*” de Edmon Nimer (1989) e a “*A dinâmica climática do Brasil e massas de ar*” por Victor Borsato (2016). As duas obras abordam a incursão das massas de ar em território brasileiro, a trajetória dessas, assim como suas gêneses e área de maior atuação.

Além de Monteiro, outro ilustre autor a progredir com os estudos climatológicos, baseado em Sorre, foi Pierre Pédelaborde (1970) ao publicar sua obra “*Introduction à l’étude scientifique du climat*”, propondo o método sintético das massas de ar e adotando como paradigma “a totalidade dos tipos de tempo”. Ao analisar a obra de Pédelaborde, Zavattini (2000) evidencia o caráter geográfico ao apontar como: “[..] estuda as características da atmosfera no seu contato com a superfície terrestre, preocupando-se com a distribuição espacial destas características”. Outro ponto retratado foi como os ramos da Geografia Física fornecem subsídios aos estudos em Climatologia, visto que “o relevo, os solos, os rios, os lagos, os oceanos, o meio vegetal e as cidades exercem influência no clima”.

Os autores que sucederam os pensamentos de Maximilien Sorre foram capazes de avançar na compreensão da Climatologia Geográfica, formulando teorias e elaborando métodos que possibilitam trabalhos essencialmente geográficos, transpassando as barreiras de modelos gerais e viabilizam estudos do comportamento climático sobre as diferentes rugosidades da superfície terrestre.

O geógrafo francês Emmanuel de Martonne ainda em 1920 publicou em seu livro *“Traité de géographie physique: Climat, Hydrographie, Relief du sol, Biogéographie”* dizeres que expõem a necessidade dos estudos do clima sob ambientes aquáticos, que segundo ele pode “exercer importante função para a estabilidade do ambiente”. Esses ecossistemas fazem parte da paisagem brasileira e desenvolvem papéis fundamentais na estrutura de diversas cidades.

1.2. Ambientes aquáticos: lagos e reservatórios

Ambientes aquáticos são diversos e complexos, além de fundamentais para a humanidade, tendo sido um influente fator no desenvolvimento tanto de civilizações antigas quanto das cidades atuais. De acordo com Sperling (1993) esses ambientes são utilizados em todo o mundo com distintas finalidades, com destaque para abastecimento de água, geração de energia, irrigação, aquicultura, harmonia paisagística e lazer. Portanto, entende-se a importância desses territórios além das funções naturais, estando associados a economia, saúde, qualidade de vida e cultura.

Apesar da extrema relevância, esses ambientes veem sofrendo diversas alterações em consequência de ações antrópicas. Em estudo de mapeamento espaço-temporal das águas superficiais, Pekel et al. (2016), foi capaz de atestar mudanças em diversas áreas do planeta, mostrando tanto aumento como perda de área alagada. Reservatórios, lagos artificiais e empreendimentos hidrelétricos são algumas das obras de engenharia formadas por represamento de rios que contribuíram para o aumento de áreas alagadas em diversas localidades do planeta.

Mundialmente, metade dos rios apresentam interferências em conectividade (GRILL et al., 2019). Mostrando o tanto que esses ambientes antrópicos além de comuns, são importantes para diversas áreas habitadas. De acordo com Margalef (1983) e Esteves (1998) ecossistemas represados como reservatórios são sistemas lênticos mistos entre lagos e rios naturais, apresentando características intermediárias a esses meios, como a renovação de água.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) afirmam que reservatórios apresentam gradientes horizontais bem definidos em três regiões: influenciada pelos tributários, transicional e lacustre. Além de apresentar organização vertical dinâmica, passível de estratificação e mistura em detrimento de diversas interações entre interfaces, como a climática.

Elementos meteorológicos como radiação, temperatura e ausência de ventos podem ser determinantes na formação de barreiras físicas verticais (CORRÊA, 2011). De acordo com Esteves (1998) quando as diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, ocorre a estratificação térmica no sistema. Esse fenômeno, causa a ausência de mistura das colunas d'água podendo levar a redução da concentração de oxigênio dissolvido, levando a estratificação química (SILVA, 2016). Portanto, os ritmos climáticos e as variações de tempo influenciam na formação de estratos durante diferentes épocas do ano. Sendo que de acordo com Liporoni (2012) as estratificações em ambientes tropicais podem ocorrer no transcorrer do dia.

As características físicas de ambientes represados podem interferir na biota desses meios. De acordo com Esteves (1998) na zona fótica, existe a presença de plâncton – conjunto de organismos que se caracterizam pela capacidade de flutuar na água - constituídos por zooplâncton (pequenos animais invertebrados) e fitoplâncton (algas e cianobactérias uni e pluricelulares). Sendo o fitoplâncton a principal porção autotrófica de ambientes aquáticos, apresentando sensibilidade a alterações ecológicas, principalmente ao acréscimo de nutrientes e modificações da estrutura das colunas verticais d'água. (HARRIS, 1980; FERNANDES et al., 2005; GAUDARD, 2019).

O fitoplâncton em decorrência da excitabilidade perante alterações no ambiente, pode gerar informações que indicam o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e conseqüentemente da qualidade das águas (CORRÊA, 2011; GAUDARD, 2019). Configurando-se como uma das variáveis chave para compreender a disponibilidade do recurso hídrico mais acessível a sociedade, a água em superfície.

1.3. Qualidade d'água: eutrofização

As ações antrópicas podem gerar diferentes questões relacionadas à segurança hídrica, dentre as pressões exercidas está a geração de produtos residuais e a introdução de materiais e nutrientes (COSTA et al., 2008). Tundisi et al. (1988) ao analisar as atividades exercidas em bacias hidrográficas detectou alterações através de análises das propriedades físicas, químicas e biológicas. Essas alterações podem comprometer a saúde ecossistêmica, assim como alterar a qualidade d'água para uso humano. Segundo Falkenmark e Allard (1991) todas as áreas povoadas do planeta já sofrem com distúrbios e diversos são os grupos de substâncias que em concentrações instáveis podem se tornar poluentes. Sendo que a poluição de um ambiente aquático abarca diferentes processos

que comprometem a qualidade d'água como contaminações, assoreamentos e eutrofização.

A eutrofização é um processo considerado por Smith (2003) como o aumento progressivo na concentração de nutrientes, que leva a um enriquecimento de organismos vivos e matéria orgânica. Segundo Mehner e Benndorf (1995) as consequências desse processo variam de decréscimo de oxigênio dissolvido, formação de gás sulfídrico, mortalidade de peixes, diminuição da transparência e dominância de espécies mais conservativas e persistentes. De acordo com Wetzel (1990) a eutrofização é um problema crescente nas áreas tropicais podendo causar o impedimento da utilização múltipla do recurso hídrico.

Moraes e Jordão (2002) afirma que os despejos urbanos e industriais são fontes de contaminação e podem levar ao desencadeamento desse distúrbio. No Brasil já é documentado que a ocupação e expansão urbana têm aumentado os impactos antrópicos em ambientes aquáticos (ICLEI BRASIL, 2011; MIRANDA e DECESARO, 2018). Dentre esses impactos o lançamento de efluentes não tratados em corpos d'água se destacam (VON SPERLING et al., 1998), especialmente visto o baixo índice de atendimento pela rede pública de esgotos, além da estrutura sanitária brasileira que é composta de poços e fossas, que podem vir a gerar crises sanitárias (TUCCI, 2006).

A construção e a incorporação de ambientes lênticos, tais como lagos e reservatórios em ambientes urbanos é comum no país, sendo também comum a subutilização desses ambientes em detrimento da poluição biológica, como atestado por: Tundisi (2001); Lamparelli (2004); Padovesi-Fonseca e Philomeno (2004); Nardini e Nogueira (2008) e De Oliveira Santos et al. (2020) que registraram alto grau de trofia e elevados valores de densidade para bactérias fotossintetizantes, em lagos urbanos do Brasil.

De acordo com Esteves (1998) uma das consequências em destaque do processo de eutrofização é a potencial predominância de indivíduos do filo Cyanobacteria. O Ministério da Saúde define esses microrganismos como procariotos autotróficos, capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial, podendo produzir toxinas com efeitos adversos a saúde (BRASIL, 2004, art, 4º.).

Visto a relevância desse grupo taxonômico é importante ressaltar que foi observada relação direta entre a densidade de espécies pertencentes a este como *Cylindrospermopsis raciborskii* e os valores de clorofila-a (GIANI, 1984; TOLEDO,

1986; MATTOS ET AL., 1986; BRANCO E SENNA 1996; PADOVESI-FONSECA E PHILOMENO, 2004). Sendo a clorofila-a um dos pigmentos mais abundantes em seres fotossintetizantes e um parâmetro de eutrofização com propriedades opticamente ativas e comumente monitorado.

1.4. Indicadores de qualidade da água e o clima

Apesar do protagonismo de elementos como o nitrogênio e o fósforo no desencadeamento do processo de eutrofização (VOLLENWEIDER et al., 1971), existem outras variáveis e interações físicas capazes de gerar influências sobre a estrutura das comunidades e na qualidade de água (PHILOMENO, 2007). Havendo publicações que evidenciam fatores além do aumento de nutrientes, muitas vezes com associação de diversas variáveis (LITCHMAN et al., 2003).

Trimbee e Harris (1983) estudaram como perturbações causadas por oscilações ambientais alteram estruturas de comunidades fitoplanctônicas, principalmente ao causar instabilidade na disposição vertical dos parâmetros químicos. Enquanto Straškraba (1990, 1993) mostrou que essa quebra na estratificação da coluna d'água pode ser promovida pela ação dos ventos, causando mixagem de nutrientes e alterações nessas comunidades biológicas. Outros fatores isolados pertencentes à natureza climática também já foram avaliados como parâmetros físicos capazes de gerar alterações ao desenvolvimento de fitoplâncton, como temperatura e radiação solar (GANF, 1974; REYNOLDS, 1987; TALLING e LEMOALLE, 1998).

De acordo com Legendre e Demers (1984) períodos de instabilidade atmosférica, associados a passagem de sistemas frontais, promovem mistura vertical e desestabilidade na coluna d'água o que influencia diretamente na distribuição e sucessão de espécies de fitoplâncton. Esse estudo foi um dos pioneiros a associar variações na ecologia dos ambientes lênticos com sistemas atmosféricos, superando abordagens separatistas das variáveis atmosféricas.

Ao estudar um dos maiores lagos rasos da Europa central, Padisak, Toth e Rajczy (1988, 1990) atestaram que sistemas capazes de promover eventos atmosféricos como, ventos intensos e tempestades, alteram de diferentes formas as comunidades fitoplanctônicas. Ao pesquisar a influência de distúrbios frequentes em quatro lagos da Europa central, Padisak (1993) mostrou que a velocidade e direção do vento pode alterar a diversidade e riqueza populacional de algumas espécies, enquanto períodos de maior estabilidade favorecem a dominância de alguns filos.

No Brasil, Stech e Lorenzetti (1992) apresentaram, por meio de modelos matemáticos como as frentes frias alteram regiões costeiras no sul do país, durante o inverno. Enquanto, Branco et al. (2009) ao analisar os impactos de eventos atmosféricos (ventos, temperatura e precipitação) na estrutura vertical de reservatórios, atestou que dependendo das condições climáticas existe tendência a quebra de estratificação termal, química e biológica. Em consonância aos estudos citados, Calijuri (2002) ao estudar um reservatório, eutrofizado em São Paulo, conseguiu atestar que a riqueza de organismos se alterava temporalmente, apresentando maiores valores em julho (inverno), enquanto em abril (outono) houve dominância de Cyanophyceae.

Portanto, pode-se afirmar que comunidades fitoplanctônicas sofrem influência das condições atmosféricas em parâmetros como crescimento, sucessão de espécies e densidade de indivíduos. Tundisi et al. (2004) descrevem o impacto da passagem de sistemas frontais em reservatórios rasos de São Paulo, atestando que durante frentes frias ocorre a mistura completa da coluna d'água.

[...] A frequência da incursão de frentes frias altera a dinâmica de reservatórios rasos, causando periodicamente mudanças na estrutura da coluna d'água e na distribuição vertical dos organismos planctônicos. Esse fenômeno é mais comum no inverno (Junho, Julho, Agosto e Setembro) quando os ventos polares se encontram fortalecidos. (TUNDISI et al., 2004)

Pesquisas utilizando ferramentas do sensoriamento remoto também foram realizadas na tentativa de compreender as relações entre comunidade fitoplanctônicas e as condições atmosféricas durante a passagem de sistemas frontais frios. Nascimento (2007) ao estudar a variabilidade da concentração de clorofila na região costeira de Ubatuba, constatou correlações significativas entre a temperatura da água e a concentração de clorofila *in situ* na camada superficial do mar, entretanto as correlações entre as condições meteorológicas e a população fitoplanctônica foram pouco consideráveis em decorrência da disponibilidade temporal das imagens de satélite.

Entretanto Cesar (2011) ao pesquisar sobre a influência dos sistemas frontais sobre a qualidade da água em um reservatório em Goiás, utilizando dados orbitais e análises de dados em campo, conseguiu atestar que a passagem de frentes frias mudou significativamente o comportamento dos parâmetros limnológicos. De acordo com o autor a atuação das frentes frias foi mais significativa nos meses de maio a agosto, sendo que após a passagem de sistemas frontais foi observado maior heterogeneidade nas águas superficiais assim como alterações nas características bio-ópticas do reservatório.

Trabalhos como o de Caraballo et al. (2010) relataram os impactos de sistemas frontais (friagem) na mistura da temperatura e redução dos níveis de oxigênio em superfície no lago Catalão, que fica localizado em Manaus e possui 12 metros de profundidade. Outros Episódios de avanço dos sistemas polares até latitudes ao norte do Brasil, conhecido como friagens, foram relatados em associação com a produção de gás sulfídrico e mortalidade de peixes, na Amazônia e no Pantanal (FEARNSIDE, 1995). Esses trabalhos são fundamentais na compreensão de que sistemas frontais alteram a dinâmica ecológica de ambientes lênticos em diversas latitudes da América do Sul.

A partir do conhecimento acumulado sobre os padrões de instabilidade atmosférica e ecologia de ambientes lênticos, Tundisi et al. (2010) propuseram um modelo de sucessão fitoplanctônica para lagos e reservatórios baseado na instabilidade da coluna d'água de acordo com a presença ou ausência de frentes frias. O autor defende que na ausência de frentes frias e na dissipação após a passagem desses sistemas é mais provável o adensamento de Cyanobacteria. Enquanto em períodos pré-frontais e frontais ocorre a quebra dessa dominância, quadro 1.

Quadro 1 - Modelo de sucessão fitoplanctônicas baseado na instabilidade da coluna d'água de acordo com a atuação de frentes frias.

Configuração atmosférica	Configurações do sistema	Resposta fitoplanctônica
1) Ausência de frentes frias	Ausência de mixagem.	Florações de Cianobactérias
2) Período pré-frontal	Alternância entre períodos de estabilidade e mixagem.	Quebra nas florações de Cianobactérias. Seleção por clorofíceas e pequenas diatomáceas.
3) Passagem da frente fria	Alterações ambientais, intensa mixagem vertical e horizontal e reposição dos nutrientes.	Predominância de clorofíceas e diatomáceas
4) Dissipação da frente fria	Novo ciclo de estabilidade. Aumento de luz e nutrientes em camadas estáveis.	Início do crescimento de cianobactérias. Condições prévias ao acontecimento de florações.

Fonte: Adaptado de Tundisi (2010).

Segundo Borsato (2016), um sistema frontal frio se caracteriza por uma estreita faixa de ar convergente. Na América do Sul, essa faixa ou linha da frente, apresenta, ao sul, ar mais frio que avança horizontalmente, deslocando-se de sudoeste para nordeste. Nas condições de não haverem bloqueios atmosféricos, a frente fria, após ultrapassar a latitude de 30 graus sul, desloca-se para o interior do oceano Atlântico. No Brasil, essa

configuração está associada à convergência de ventos de nordeste oriundos da massa Tropical Atlântica (mTa) com as correntes de sul oriundas da massa Polar Atlântica (mPa).

No sul do continente sul americano essa dinâmica é constante e ocorre em todas as estações do ano (BORSATO, 2016). No inverno, a massa polar se intensifica e avança com mais frequência pelo interior do continente. No verão, a massa polar se desloca mais pelo interior do Atlântico e raramente pelo interior do continente. Sobre a dinâmica das frentes frias no centro-sul do Brasil Galvani e Azevedo (2013) afirmam:

A atuação da massa polar atlântica (mPa) no centro-sul do Brasil influencia significativamente os totais pluviométricos nesta região. Em sua borda, no contato com os sistemas atmosféricos tropicais, configuram-se extensas zonas de pressão relativamente baixa e intensa convergência, usualmente chamada de frente polar. Estas frentes comportam-se como verdadeiros rios atmosféricos, canalizando importantes volumes de ar em fluxo concentrado em direção a centros de baixa pressão, que normalmente atingem seu máximo aprofundamento e atividade sobre o oceano atlântico. A passagem do sistema frontal, que antecede a chegada do ar polar propriamente dito, promove condições de forte instabilidade gerando chuvas antes, durante e depois da passagem da frente em várias áreas do território paulista (GALVANI E AZEVEDO, 2013: 1).

Para descrever a dinâmica da passagem de sistemas frontais, Monteiro (1968) desenvolveu o conceito de ciclo de onda de frio, sendo um dos pioneiros a compartimentar e descrever as diferentes configurações dos elementos atmosféricos durante o fenômeno. De acordo com o autor a passagem do sistema apresenta 4 fases distintas: fase de transição, fase de prenúncio, fase de avanço e fase de domínio, quadro 2.

Quadro 2 - Condições do tempo atmosférico associadas às quatro fases da passagem de superfície frontal fria.

SEQUENCIA DAS CONDIÇÕES NORMAIS DE TEMPO ASSOCIADAS À PASSAGEM DE UMA SUPERFÍCIE FRONTAL FRIA MONTEIRO (1968)				
ELEMENTO	FASES DO CICLO EVOLUTIVO DE UM ONDA DE FRIO			
	TRANSIÇÃO	PRENÚNCIO (PRÉ-FRONTAL)	AVANÇO (FRONTAL)	DOMÍNIO DA mPa (PÓS-FRONTAL)
Pressão atmosférica	Oscila	Diminui	Aumenta bruscamente	Aumenta progressivamente
Temperatura do ar	Começa a aumentar	Aumenta	Diminui	Diminui
Umidade relativa	Começa a aumentar	Aumenta	Aumenta	Diminui
Nebulosidade	Céu começa a ficar encoberto	Céu encoberto	Céu encoberto	Céu limpo
Precipitação	Sim	Sim	Sim (elevada)	Diminui
Vento	NE e E	NW e NE	Sem rajadas	S
Tipo de nuvem	Ac, As, Ce e Cb	Ac, As, Ce e Cb	Cb	Sc, Cu / Sem nuvens
Tempo presente	Início da chuva	chuva	Chuva com granizo, relâmpagos e raios	Chuvisco/sem chuva

Fonte: Adaptado de Monteiro (1968).

De forma geral, é possível resumir as condições do tempo descritas no quadro 1 da seguinte forma: o ar polar que vem na retaguarda, por ser ligeiramente mais denso, avança pelo continente sul-americano elevando o ar mais quente do sistema tropical que se encontra em sua trajetória. A elevação resulta em resfriamento adiabático da parcela de ar deslocada pelo ar mais denso. A parcela atinge a saturação dando início à formação de nuvens Cumulus e, em seguida, de Cumulonimbus. Galvani e Azevedo (2013) ressaltam que não é massa polar que massa polar atlântica que transporta umidade, mas sim, o seu deslocamento em direção aos trópicos que gera condições necessárias para a ocorrência de chuvas. Boa parte da umidade que resulta em chuva está presente, de fato, no ar do sistema tropical empurrado pelo ar polar. Na região de aproximação da frente fria ocorre o aumento da temperatura do ar e a diminuição da pressão atmosférica. Após a passagem da frente polar, com o predomínio do ar de origem polar, observa-se condições caracterizadas pelo aumento progressivo da pressão atmosférica, céu limpo, ar relativamente frio e umidade relativa mais baixa.

Ogashawara (2014) se utilizou da dinâmica climática associada às frentes frias para investigar sua influência na qualidade da água de reservatórios urbanos. Para isso analisou a distribuição temporal e espacial das cianobactérias por meio da técnica elaborada por Monteiro, análise rítmica. Em seu trabalho ele observou que as maiores

florações de cianofíceas ocorriam durante a primavera e verão, sendo potencializadas às elevadas temperaturas ocorrentes após uma queda na mesma, associada ao domínio pós-frontal de ventos intensos, com gênese polar. O autor também verificou que a incursão frequente de frentes polares, assim como a permanência da massa Polar Atlântica não geraram condições favoráveis para o desenvolvimento das cianobactérias, no inverno paulista.

Apesar da diversidade de estudos apresentados, os estudos sobre a relação entre a dinâmica atmosférica e a ecologia de ambientes lênticos eutrofizados possui lacunas no Brasil central. Philomeno (2007) afirma que os períodos climáticos regionais – seca e chuva – exercem influência sobre a estrutura da comunidade e na qualidade da água, afirmando que “... o biovolume de *C. raciborskii* é mais elevado nas estações de estiagem...”.

Machado e Baptista (2016) utilizaram ferramentas de sensoriamento remoto para monitoramento da qualidade da água no Lago Paranoá, em Brasília, mapeando o histórico trófico da área durante períodos de seca. Enquanto Sá (2018) ao utilizar métodos empíricos de sensoriamento remoto para estimar Clorofila-a, na mesma área, atestou que os maiores picos ocorriam nos períodos de inverno e primavera.

De acordo com Gaudard (2019) a desestratificação térmica e as concentrações de nutrientes devido ao menor volume de água, fenômenos desencadeados pela estiagem e pelo fortalecimento dos ventos durante o inverno do Brasil central, podem estar associados a variações mesmo que pouco acentuadas dos níveis tróficos durante esse período. Entretanto, poucos são os trabalhos que exploraram de forma protagônica a relação entre as variáveis climatológicas e limnológicas no Brasil central.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização, problemáticas e histórico.

A área de estudo dessa pesquisa é o Lago Paranoá, localizado dentro do perímetro urbano de Brasília, região central do Distrito Federal. Essa unidade federativa está localizada no Planalto Central do Brasil, na região Centro-Oeste, entre os paralelos de 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos de 47°25' e 48°12' de longitude oeste (CODEPLAN, 2006). o Distrito Federal possui área total de 5.802 km², com população estimada em 3.094.352 moradores e sendo dividido em 33 Regiões Administrativas (IBGE, 2021).

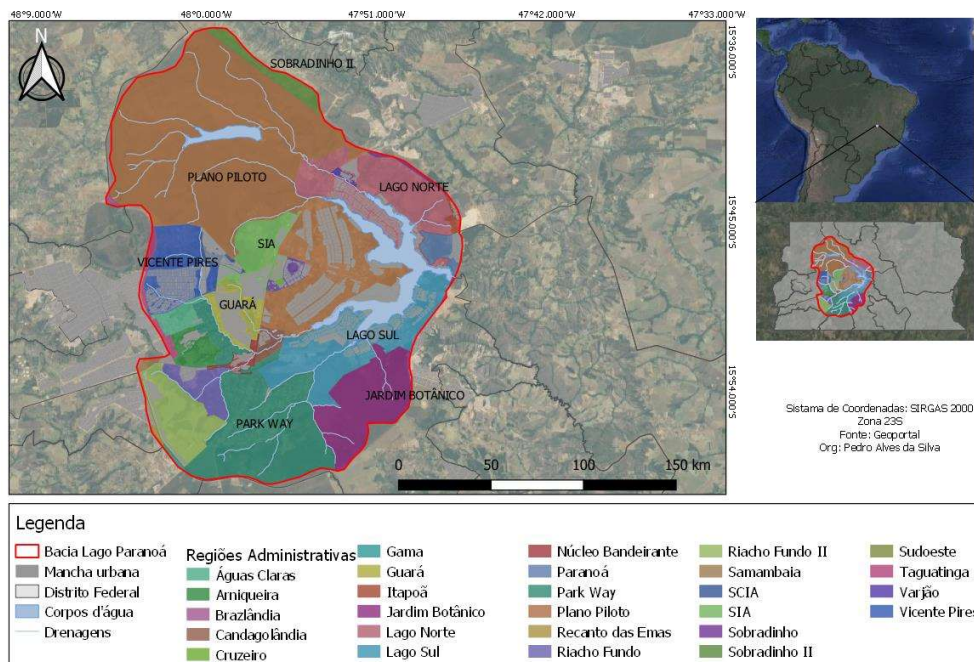
O projeto de transferência da capital federal para a região central do país, no final da década de 50, culminou na inauguração oficial de Brasília em abril de 1960. O Lago Paranoá estava inserido no projeto urbanístico da cidade para fins paisagísticos. Apesar do nome o lago na verdade é um reservatório que foi idealizado ainda em 1895 pelo francês Auguste François Marie Glaziou, porém a barragem do ribeirão Paranoá ocorreu apenas em 1959 e a inauguração ocorreu conjunta a cidade de Brasília.

A importância atual desse corpo hídrico para a cidade é profunda, sendo parte funcional do saneamento básico, da composição paisagística e área de lazer da capital brasileira, além de apresentar a possibilidade de geração de energia, abastecimento hídrico e alteração do microclima local, aliviando a baixa umidade do ar durante a estação seca em suas proximidades (FONSECA, 2001; GIACOMAZZO, 2020).

O lago possui cerca de 38 km² e é considerado relativamente raso, com profundidade média de 14m e máxima de 40m (ELMOOR-LOUREIRO et al. 2004). Apresenta além da área central, quatro braços correspondentes aos principais tributários e pode ser classificado como sistema polimítico, devido a contribuição desses canais, ou seja, há mistura na coluna da água durante todo o ano, entretanto com microestratificações não persistentes (PEREIRA, 2001).

A bacia hidrográfica de contribuição direta para o Lago Paranoá ocupa aproximadamente 18% do território do DF (FERRANTE et al., 2001). Tendo sua área ocupada por 27 Regiões Administrativas das 33 existentes, sendo a única bacia hidrográfica integralmente localizada no Distrito Federal, figura 1.

Figura 1 - Localização da Bacia do Lago Paranoá e Regiões administrativas que a compõem



Fonte dos dados: GeoPortal – Seduh / DF. Elaboração do autor (2021).

Entre as fontes de recarga contribuem as águas dos rios tributários (Ribeirão do Torto, Ribeirão do Gama, Ribeirão Riacho Fundo e Ribeirão Bananal), assim como as águas lançadas pelas estações de tratamento de esgotos, a precipitação direta e o escoamento superficial como os efluentes de uso urbano (MENEZES, 2010).

O Lago Paranoá possui um longo histórico de eutrofização, tendo passando por décadas de degradação e poluição química. Estudos da década de 70 já atestavam a eutrofia e dominância do filo Cyanobacteria no braço do Bananal, devido ao lançamento de esgoto não tratado (OLIVEIRA E KRAU, 1970). Apesar do funcionamento de estações de tratamento, a contaminação bacteriológica avançou tornando áreas impróprias para balneabilidade e causando número significativo de peixes mortos ainda na mesma década.

O lançamento de algicida (sulfato de cobre) foi uma prática de combate, iniciada em 1980, contra as constantes florações de Cyanobacterias. Entretanto, foi atestado que o lançamento de esgoto diário era de 233 kg no início da década de 80 (CORDEIRO-NETTO E DUTRA-FILHO, 1988), enquanto Engevix (1988) *apud* Baptista e Araújo Neto (1994) estimava que apenas o órgão responsável pela qualidade da água, CAESB (Companhia de Água e Esgoto de Brasília), lançava cerca de 140 litros por segundo de esgoto no corpo hídrico.

As florações continuaram constantes nos anos seguintes. Baptista e Araújo Neto (1994) chegaram a classificar a situação do lago Paranoá como bastante crítica, em estágio de corpo hídrico hipereutrófico. Em 1998, foi realizado o deplecionamento do lago e a despesca de peixes o que resultou na diminuição de clorofila-a e mudanças na comunidade fitoplanctônica (PHILOMENO, 2007). A partir desses processos a situação do lago se alterou tendendo a mesotrofia, com estudos enfatizando as mudanças nas comunidades aquáticas e sugerindo processo de oligotrofização (MENDONÇA-GALVÃO, 2001).

Apesar da estabilidade atestada nos artigos anteriormente citados, diversos estudos ainda são realizados no lago verificando tanto as comunidades planctônicas como os valores de clorofila-a, que são observados em relação direta com a densidade de Cyanobacteria (BATISTA, 2007; MACHADO E BAPTISTA, 2016; SÁ, 2018). O monitoramento é fundamental, visto a forte pressão exercida por loteamentos urbanos irregulares e pela pressão populacional na bacia e no entorno desta, esses fatores fragilizam o equilíbrio ambiental da área e ameaçam colapsos da qualidade do ambiente

2.2. Caracterização do Meio Físico

A Bacia do Paranoá, sendo a única integralmente localizada no Distrito Federal possui atributos e feições bem características dessa unidade federativa. Conforme Steinke (2004), o meio natural do Distrito Federal já se encontra bem caracterizado na literatura, dispensando descrições aprofundadas. O relevo é caracterizado por topografias planas a plana ondulada, majoritariamente recoberta por Latossolos e Cambissolos (STEINKE, 2005). A vegetação típica é o cerrado e suas diferentes formas fisionômicas (SEMA, 2021).

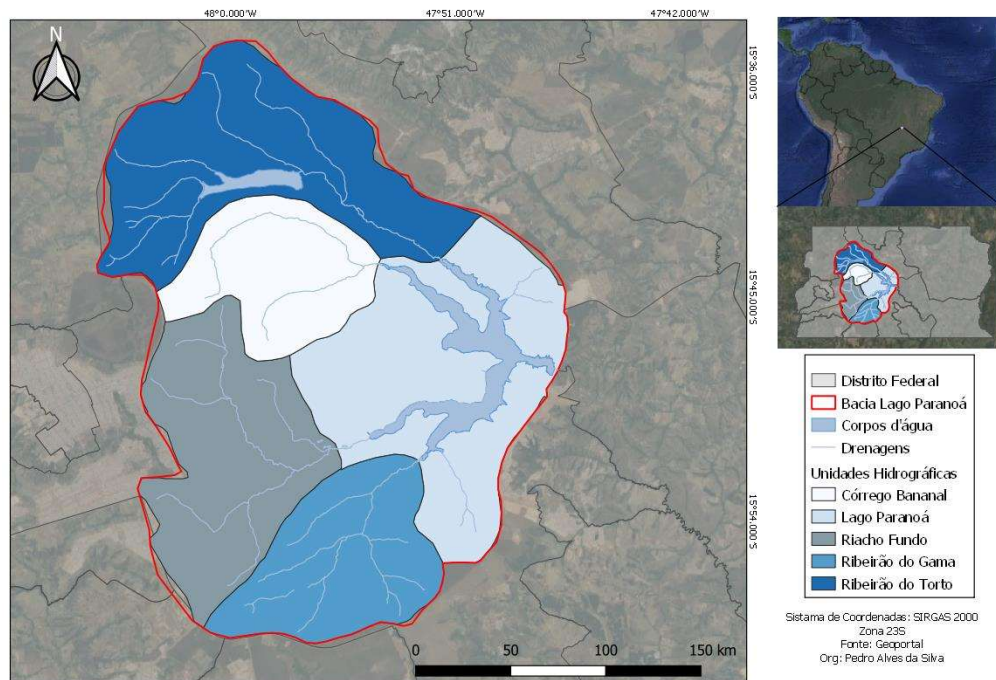
Em conformação geomorfológica encontra-se na parte mais baixa do domo estrutural de Brasília, que garante conformação circular e concêntrica a rede drenagem. De acordo Moreira e Boaventura (2003), a região do lago se encontra na área de dissecação intermediária que corresponde ao padrão de relevo suave ondulado, com sentido de escoamento Oeste para Leste.

As matas ciliares e de galeria, merecem destaque, pois são fundamentais para a manutenção do sistema hídrico. Quanto a fauna o lago abrange uma ampla diversidade de espécies nativas e exóticas, como: capivaras (CORNELIO, 2017), jacarés

(BATISTA, 2009), tilápias (STARLING et al, 2000); pequenos crustáceos (ELMOOR-LOUREIRO et al., 2004) entre outros.

A bacia hidrográfica do lago é constituída unidades hidrográficas, sendo elas: Riacho Fundo, Ribeirão do Torto, Lago Paranoá, Córrego Bananal, Ribeirão do Gama, figura 2. Unidades hidrográficas é um conceito considerado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB, 2003) como a menor unidade de planejamento em termo de recursos hídricos. Essas unidades compõem a bacia e abarcam os afluentes principais do lago, responsáveis pela descarga líquida e sólida de recursos.

Figura 2 - Unidades Hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá



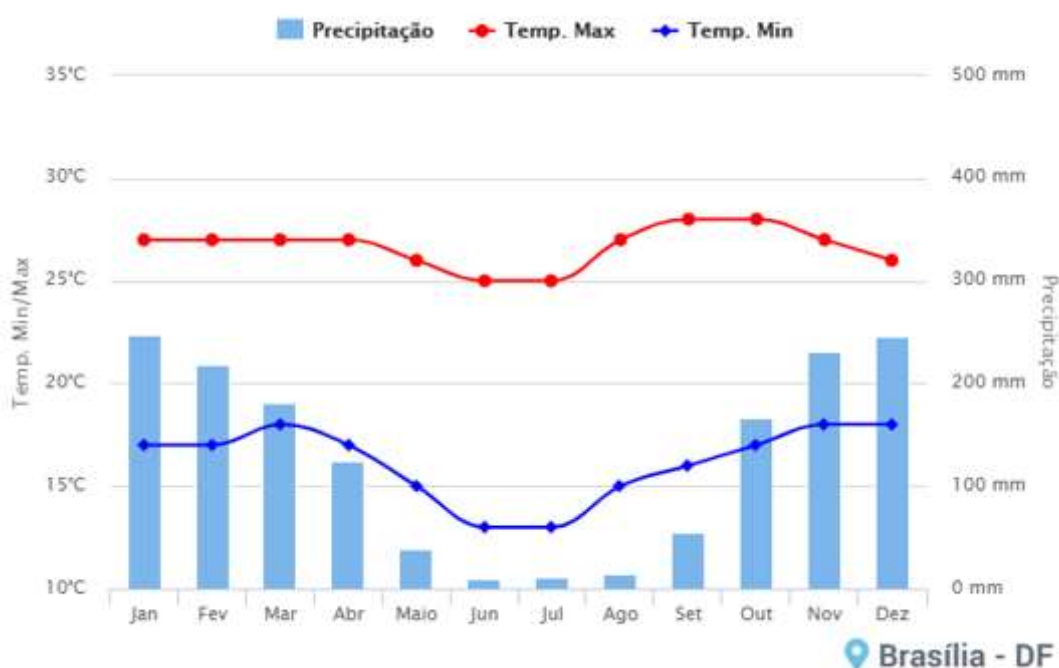
Fonte dos dados: GeoPortal – Seduh / DF. Elaboração do autor (2021).

Uma vez que a presente pesquisa trata da influência dos sistemas frontais em parâmetros de qualidade d'água, a descrição dos sistemas atmosféricos que controlam a realidade climática do Distrito Federal merece destaque.

O Brasil central possui como característica marcada o domínio do clima tropical alternadamente úmido e seco. A estação chuvosa ocorre no verão, e a estação seca possui duração média de 4 a 5 meses centralizada no inverno (NIMER, 1989). A figura 3 mostra a variação da temperatura e da precipitação ao longo do ano. Borsato (2016) afirma que o período chuvoso e quente do Brasil central é condicionado pela expansão da área de atuação da massa equatorial continental (mEc), enquanto durante o inverno

a massa tropical atlântica (mTa) se intensifica e reina estabilidade para o interior do Brasil. Mendonça e Danni-Oliveira (2017) afirmam que as medias térmicas mensais também evidenciam a formação desses períodos distintos, com invernos apresentando pequena queda térmica em função das invasões do sistema polar.

Figura 3 - Climograma das normais climatológicas do Distrito Federal.



Fonte: Climatempo (2021).

De acordo com Monteiro (1969) a Frente Polar é dotada de grande mobilidade, avançando até o Planalto Central Brasileiro. Entretanto, Borsato e Mendonça (2013) afirmam que a área core da região central do país se configura como um núcleo terminal dos sistemas atmosféricos do Centro-Sul. Esse fato se dá em detrimento da tropicalização dos sistemas dado trajeto percorrido, ou seja, a perda das características térmicas típicas da área de formação.

De acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC) a temporada de incursão das frentes frias polares no Brasil continental se dá entre os meses de abril a setembro. Nascimento e Neves (2021) após descrever a dinâmica atmosférica da área central do Bioma Cerrado, entenderam que as interações entre as frentes polares e os demais sistemas intertropicais apresenta grande variabilidade interanual e interdecadal, com períodos mais ativos e outros mais limitados.

O avanço da massa polar atlântica (mPa), em pleno inverno, pode se dar até o sul da Amazônia brasileira, sendo esse fenômeno documentado como friagem (SERRA

E RATISBONNA, 1941; BORSATO, 2016). Durante a ocorrência desses fenômenos diversas modificações atmosféricas ocorrem em quase todo território nacional, sendo essas alterações caracterizadas principalmente pela redução significativa da temperatura mínima e alteração na direção e intensidade dos ventos. Ao estudar o fenômeno de friagens na região amazônica Fisch (1996) verificou frequência de 6-7 eventos entre os meses de abril a setembro. As friagens normalmente correspondem as incursões de frentes polares mais intensas que ocorrem no ano climático.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessária a construção de uma base de dados sobre parâmetros climáticos e de qualidade d'água, constituída a partir de dados públicos em frequência mensal.

Foram utilizados os boletins técnicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para definir o número de sistemas frontais frios e eventos de friagem que ocorreram dentro do período analisado.

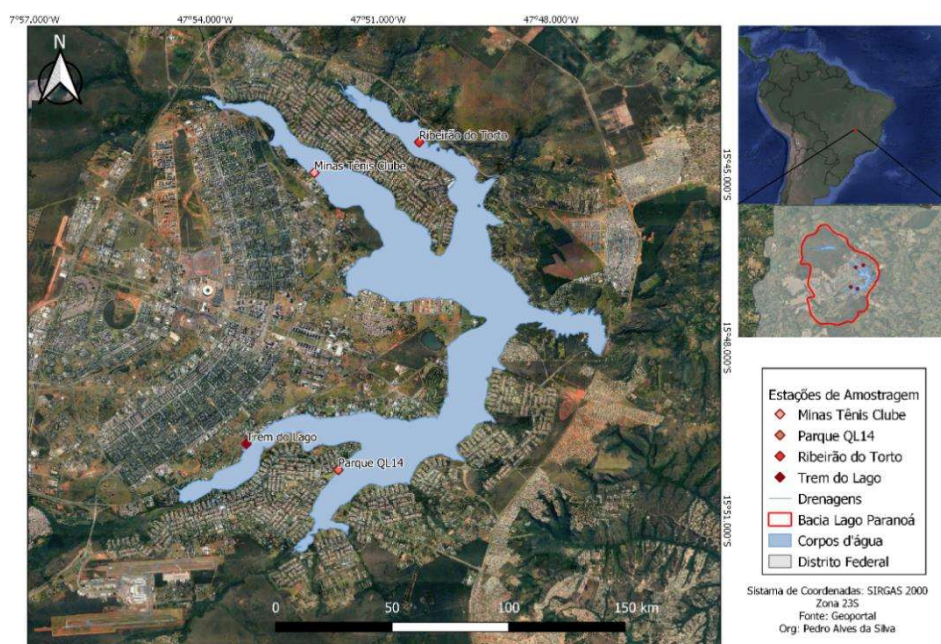
Os dados dos elementos climáticos são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e estão disponibilizados no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), sendo referentes a estação convencional 83377, localizada na região administrativa do Sudoeste, Brasília-DF.

Os dados de qualidade d'água foram, gentilmente, cedidos pelo programa de monitoramento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) e configuram dados acerca de parâmetros químicos e biológicos em diversas estações de amostragem localizadas no Lago Paranoá. Sendo importante salientar que as amostras dos parâmetros de qualidade d'água cedidos pela CAESB são superficiais, tendo sido coletadas a 1 metro da superfície.

O estudo foi realizado a partir de uma série histórica abrangendo o período entre 2004-2018, tendo sido analisadas os meses de abril a setembro de cada ano. A escolha do período se deu em função da temporada de frentes frias no Brasil central e em decorrência da disponibilidade e integridade dos dados.

Quanto aos parâmetros de qualidade da água foram analisados os dados de quatro estações de monitoramento da CAESB (figura 4), localizadas em áreas diretamente influenciadas pelos quatro principais rios tributários do lago Paranoá - Ribeirão do Torto, Ribeirão do Gama, Ribeirão Riacho Fundo e Ribeirão Bananal - abrangendo diferentes contextos geográficos. A escolha também ocorreu em decorrência da disponibilidade e integridade dos dados utilizados, dentro do período determinado.

Figura 4 - Localização das estações de amostragem da CAESB.



Fonte dos dados: CAESB. Elaboração do autor (2021).

Os dados fornecidos foram organizados no formato de planilhas no Microsoft Office Excel, para realizar as análises estatísticas das variáveis. Ressalta-se que não foi aplicado nenhum método de preenchimento de falhas nem de consistência aos dados. Todas as informações foram adequadas a escala de meses em análise, abril a setembro, com a finalidade de focar os resultados na temporada de incursão de frentes frias.

Os dados climáticos foram compartimentados em anos distintos de atuação das frentes frias, sendo analisados os anos correspondentes à diferentes frequências e intensidades de atuação dos sistemas frontais frios. A classificação de frequência foi baseada em Fisch (1996) e Nascimento e Neves (2021), tendo sido realizada a partir dos boletins técnicos do CPTEC. Enquanto as variáveis climáticas foram comparadas com as normais climatológicas do Distrito Federal para definir os intervalos de intensidade. As variáveis utilizadas para definir os padrões de intensidade dos eventos de superfícies frontais frias foram: Amplitude térmica ($^{\circ}\text{C}$), pressão média (mbar), velocidade média dos ventos (m/s) e a frequência da incursão de massas de ar frio (quantidade).

Entre os dados de monitoramento da qualidade d'água cedidos apenas os valores de fósforo, turbidez e clorofila-a estavam disponíveis durante toda a série histórica. Tendo dados como nitrogênio amoniacal sido inseridos em 2007 e dados como densidade de cianobactérias, fosfato e dióxido de nitrogênio inseridos no ano de 2013.

Os dados dos nutrientes fósforo e nitrogênio amoniacal foram analisados durante toda a sua disponibilidade na série histórica. Esses elementos são protagonistas do adensamento de clorofila-a e importantes indicadores de qualidade d'água, portanto foram submetidos a análises exploratórias, sendo monitorados visualmente.

A clorofila-a foi o único parâmetro biológico analisado, sendo interpretado como principal indicativo do adensamento de seres fotossintetizantes e densidade de espécies dominantes. Visto que os dados para densidade de cianobactérias Cél/mL não estavam disponíveis na base de dados cedida pela CAESB, entre as estações selecionadas.

Após o processo de adequação das séries foram realizadas as matrizes de correlação entre a variável clorofila-a com as seguintes variáveis meteorológicas: número de sistemas frontais (quantidade), precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C), brilho solar (horas), pressão atmosférica média (mbar), umidade relativa média (%), velocidade média dos ventos (m/s) e amplitude térmica (°C). Sendo que as matrizes foram realizadas entre os dados limnológicos e as diferentes classificações de anos, em detrimento da atuação e frequência das massas de ar polar.

Para avaliação de correlação foi determinado o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, onde os valores das variáveis são mensurados a nível intervalar. Os valores do coeficiente “r” variam dentro do intervalo 1 a -1, sendo que quanto mais próximos desses valores, mais forte a correlação entre as variáveis. Através do *software* Microsoft Office Excel foram formuladas as matrizes com os valores correlacionados e gráficos para representação dos resultados. A diferença entre os coeficientes de correlação foi analisada como principal indicativo de relação entre a atuação dos sistemas atmosféricos e a concentração de clorofila-a.

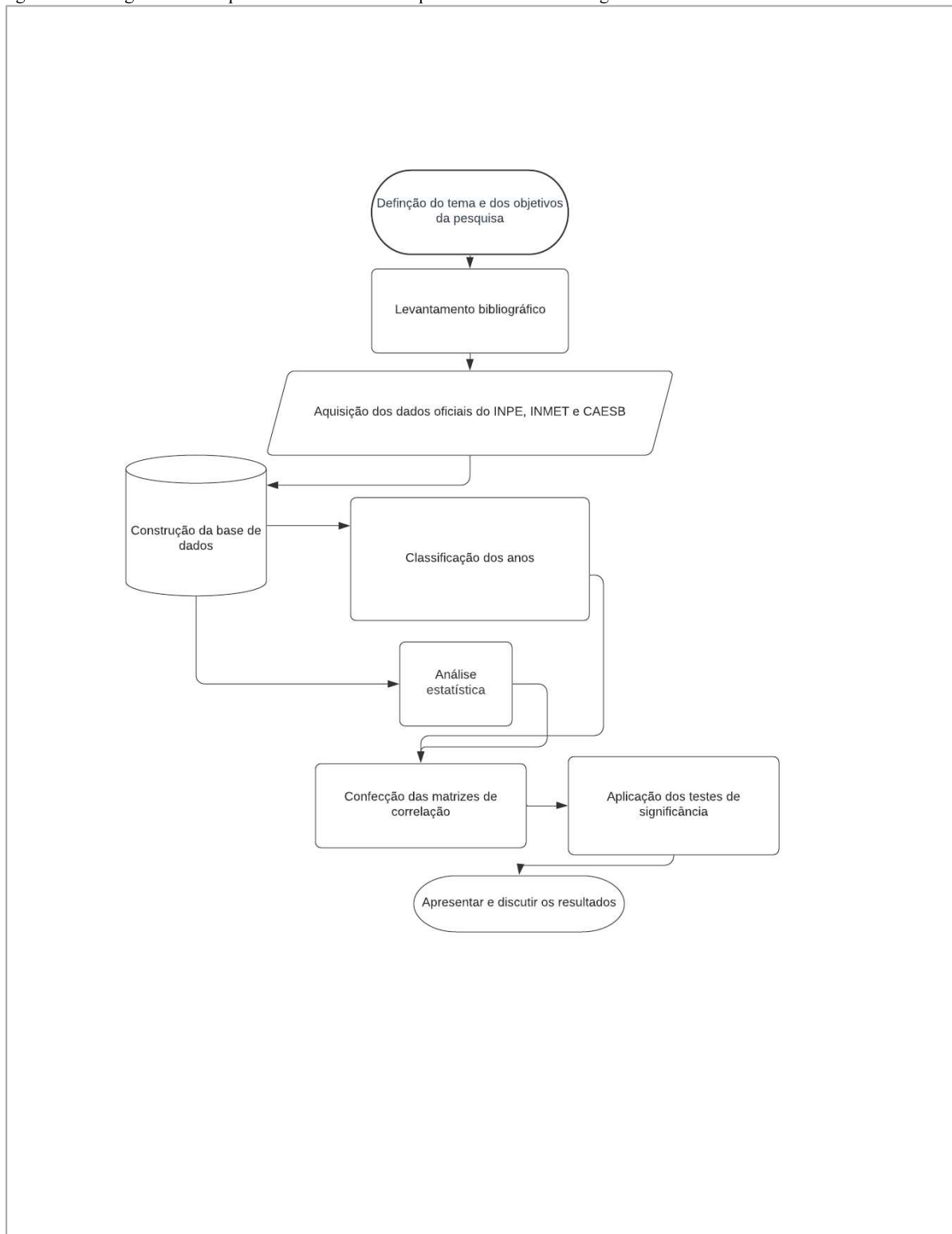
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Foram aplicados testes de significância das análises, sendo considerado nível de significância bicaudal o valor crítico de 0,05. Assumindo-se hipótese nula H_0 em que não existe correlação entre as variáveis que apresentam valores “p” acima do valor crítico estabelecido.

Para facilitar a compreensão dos valores de correlação foram elaborados quadros organizados de acordo com as classes de atuação dos sistemas frontais frios. Os valores

dos coeficientes de correlação foram analisados como principal indicativo de relação entre a atuação dos sistemas atmosféricos frios e o adensamento de clorofila-a. As etapas realizadas durante os procedimentos metodológicos foram compiladas no fluxograma mostrado na figura 5.

Figura 5 - Fluxograma das etapas realizadas durante o procedimento metodológico.



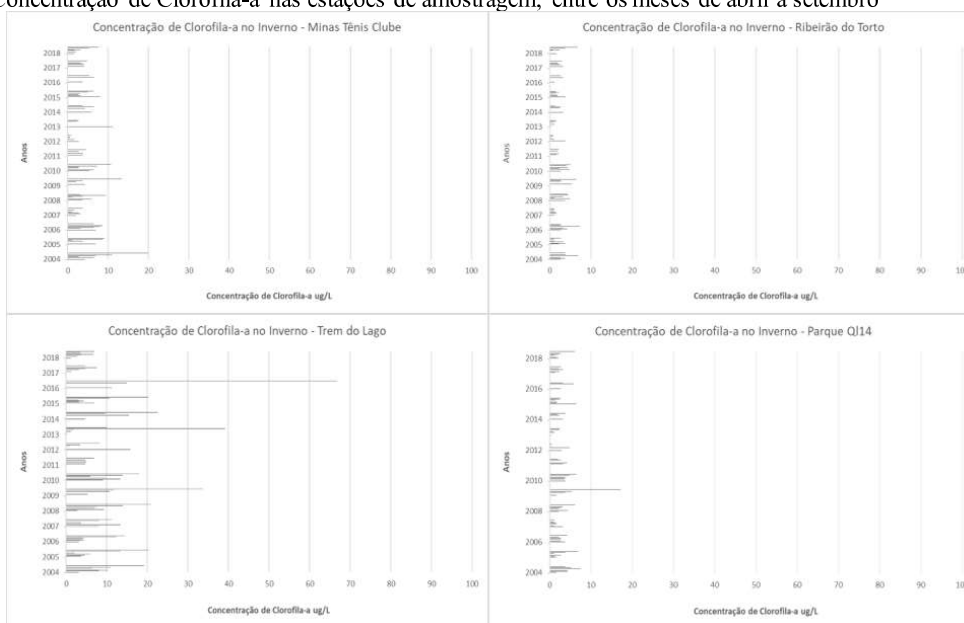
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Distribuição dos dados de qualidade d'água

4.1.1. Clorofila-a

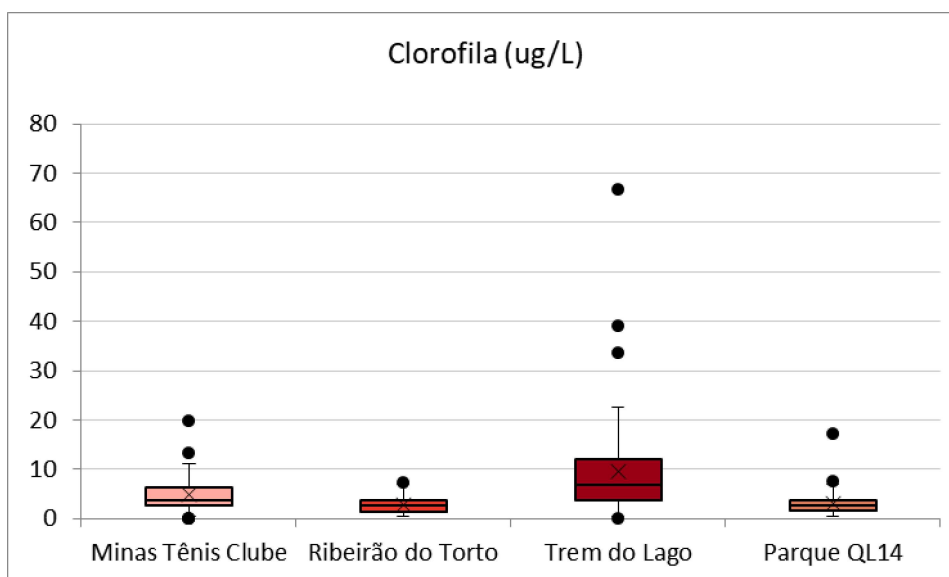
Na tabela 1 estão representados por estações de amostragem os dados disponibilizados pela CAESB referentes a estimativa de clorofila-a entre os meses de abril a setembro, do período entre 2004 e 2018. Os dados também estão apresentados no gráfico BoxPlot, Figura 6.

Tabela 1 - Concentração de Clorofila-a nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro



Fonte dos dados: CAESB. Elaboração do autor (2021).

Figura 6 - Gráficos BoxPlot referente a concentração de Clorofila-a nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro.



Fonte dos dados: CAESB. Elaboração do autor (2021).

A Clorofila-a é um pigmento abundante em seres fotossintetizantes, sendo sua concentração utilizada como parâmetro de qualidade da água e saúde ecossistêmica de corpos hídricos (SÁ, 2018), visto que o adensamento de clorofila-a, está intimamente relacionado com o aumento de produtividade primária e a possível predominância de espécies mais conservativas e persistentes, consequências do processo de eutrofização (MEHNER E BENNDORF, 1995; ESTEVES, 1998).

O valor máximo aceitável de acordo com a Resolução do CONAMA nº 357/2005 equivale a 30 µg/L para águas de classe II (BRASIL, 2005). Entre as estações analisadas, nota-se concentrações usualmente abaixo do valor de 20 µg/L e variações baixas, especialmente para as estações Ribeirão do Torto, Minas Tênis Clube e Parque QL14.

As estações Minas Tênis Clube e Ribeirão do Torto estão localizadas na porção norte do Distrito Federal e se encontram em contextos urbanos semelhantes, visto que as unidades hidrográficas influentes para essas estações possuem grandes porcentagens de área localizadas dentro dos limites do Parque Nacional de Brasília. A estação Ribeirão do Torto apresentou os menores valores de clorofila-a, dentro da série histórica estudada, não tendo atingido valores acima de 10 µg/L.

Entretanto, a estação Minas Tênis Clube localizada no Córrego Bananal apresentou a segunda maior taxa de variação, tendo ultrapassado o valor de 10 µg/L em quatro anos diferentes. O córrego do bananal possui histórico de eutrofização devido ao lançamento de esgoto não tratado (OLIVEIRA E KRAU, 1970). Apesar dos baixos valores, os dados analisados podem ter apresentado essas variações em detrimento da proximidade com a estação de tratamento de esgoto norte, assim como da região administrativa XVIII - Lago Norte - que possui índice de cobertura do serviço de esgotamento sanitário em 79,45% (PDAD/2013), índice considerado baixo em comparação com a maioria das demais regiões administrativas do Distrito Federal.

As estações de amostragem Parque QL14 e Trem do Lago estão localizadas na região sul do Distrito Federal. A estação Parque QL 14 sofre influência direta da unidade hidrográfica do Ribeirão do Gama, e apresentou variações baixas com apenas um pico de concentração acima dos 10 µg/L.

As maiores taxas de concentração de clorofila-a se encontram na estação Trem do Lago, influenciada pela unidade hidrográfica Riacho Fundo. O contexto urbano dessa unidade difere profundamente de todas as demais pertencentes a Bacia do Lago Paranoá, tendo seu território correspondente a quinze regiões administrativas, apresentando elevado padrão de densidade populacional (JATOBÁ, 2017). A estação de amostragem se encontra próxima a estação de tratamento de esgoto sul que também pode ter influenciado nas altas taxas encontradas. As concentrações de clorofila-a nessa estação apresentaram picos acima do valor máximo aceitável pelo CONAMA nos anos de 2009, 2013 e 2016 e em comparação com as demais estações, só apresentou três anos com todos os registros mensais de concentração abaixo dos 10 µg/L.

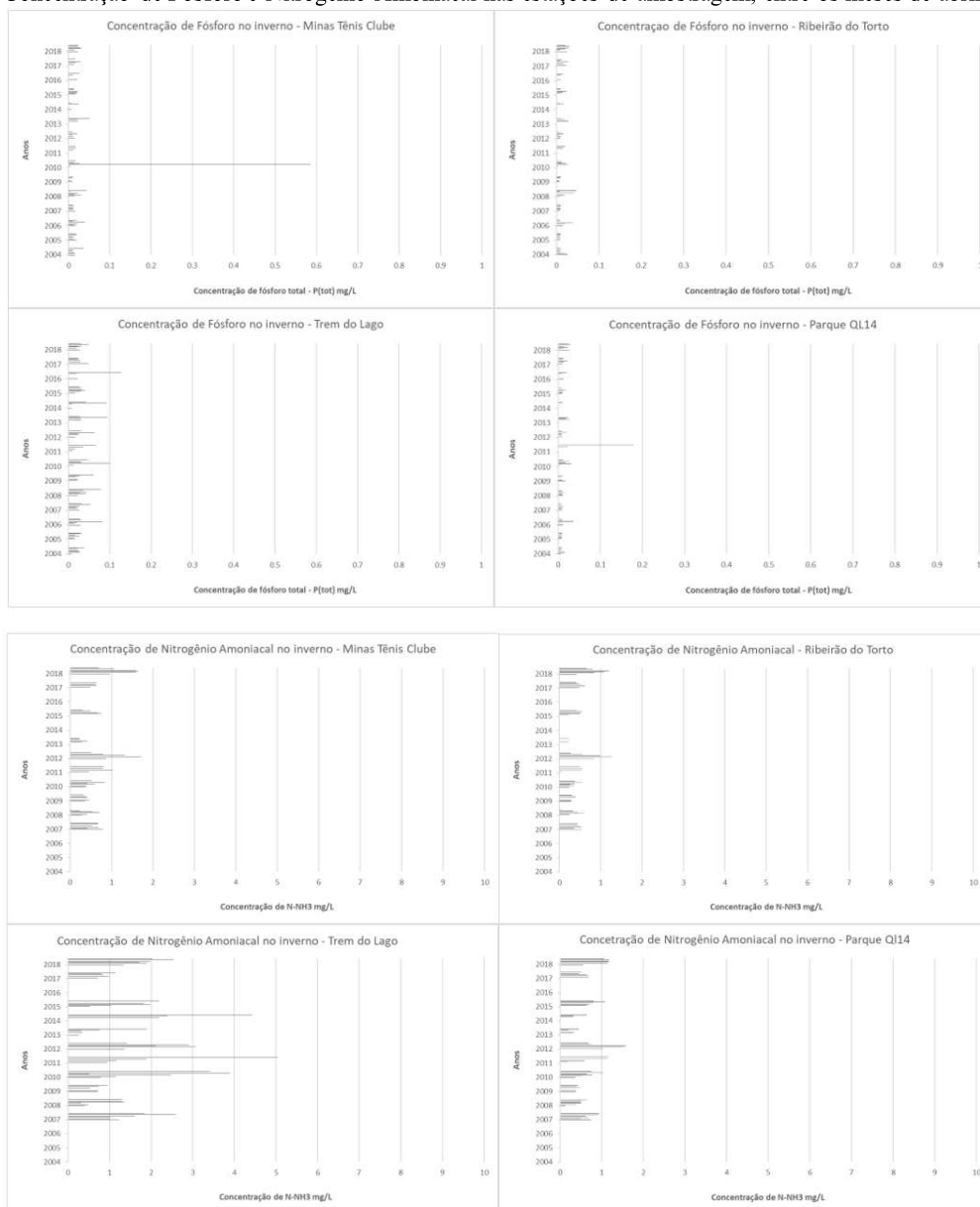
4.1.2. Dados químicos

De acordo com Smith (2003) o processo que leva a um enriquecimento de organismos vivos e matéria orgânica, deve-se ao aumento progressivo na concentração de nutrientes. Sendo, o carreamento de nitrogênio (N) e fósforo (P) uma das principais vias para a deterioração de lagos e reservatórios (BOLLMANN et al., 2015). Desta forma, esses nutrientes estão intimamente ligados ao processo de eutrofização e, portanto, as suas consequências como o adensamento de clorofila-a e predominância de espécies mais conservativas e persistentes (MEHNER E BENNDORF, 1995; ESTEVES, 1998).

A disponibilidade dos dados de nutrientes químicos cedidos pela CAESB é irregular, tendo que os dados de fósforo total acompanham todo o período definido, enquanto os dados de nitrogênio amoniacal possuem lacunas nos primeiros três anos da série histórica em análise. Esses elementos foram utilizados como os principais parâmetros químicos, visto que os dados dos demais nutrientes como fosfato e dióxido de nitrogênio foram coletados apenas a partir de 2013, portanto correspondente a uma parcela insuficiente dos anos selecionados.

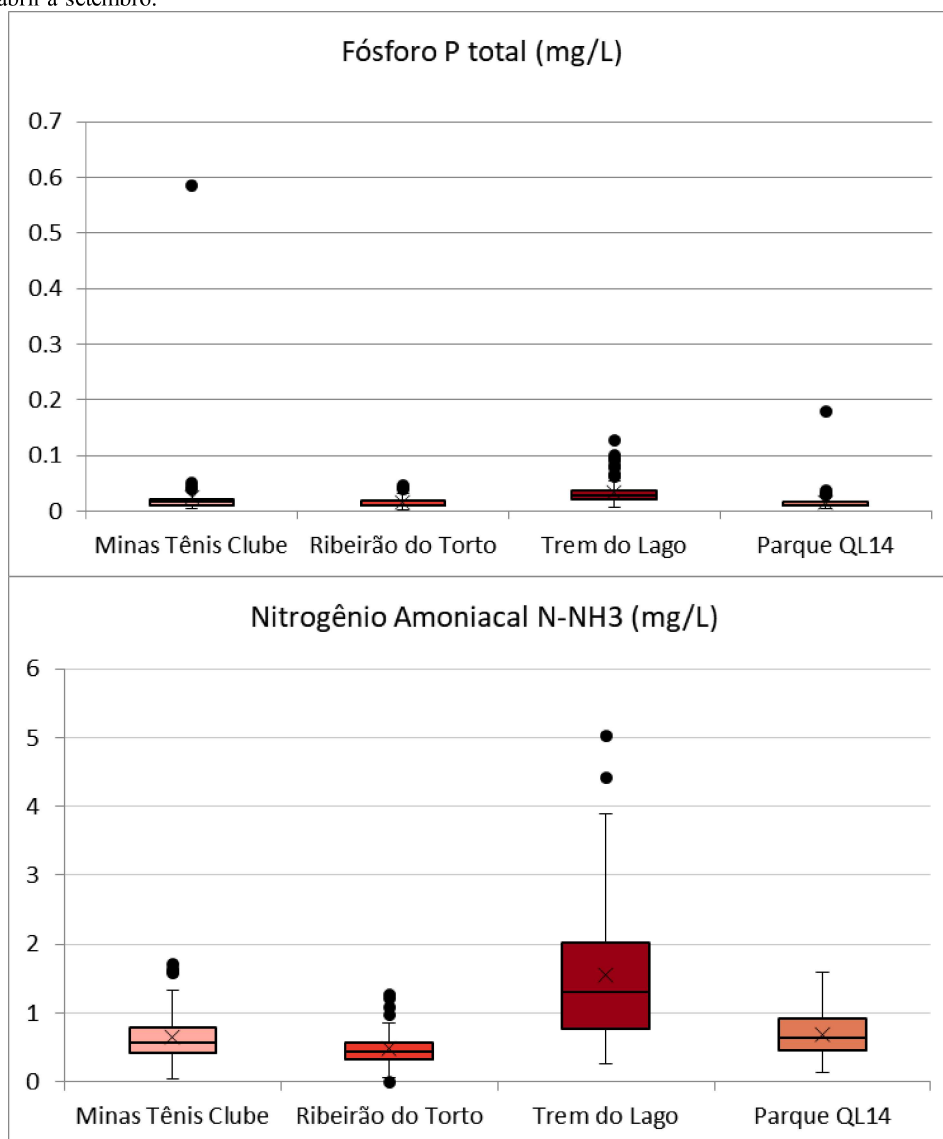
Na tabela abaixo estão representados por estações de amostragem os dados disponibilizados pela CAESB referentes a estimativa de fósforo total e nitrogênio amoniacal entre os meses de abril a setembro, período de tempo definido para a pesquisa em detrimento da temporada de incursão de massas de ar frio no Distrito Federal. A distribuição dos dados também está apresentada no gráfico BoxPlot, Figura 7.

Tabela 2 - Concentração de Fósforo e Nitrogênio Amoniacal nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro.



Fonte dos dados: CAESB. Elaboração do autor (2021).

Figura 7 - Gráficos BoxPlot referente a concentração de Fósforo e Nitrogênio Amoniacal nas estações de amostragem, entre os meses de abril a setembro.



Fonte dos dados: CAESB. Elaboração do autor (2021).

Nota-se que a distribuição da concentração de elementos químicos se assemelha com a distribuição da concentração de clorofila-a entre as estações de amostragem. A estação Ribeirão do Torto é a que possui menor concentração de ambos os nutrientes, enquanto a estação Trem do Lago possui os maiores valores.

Entre os nutrientes analisados os valores de nitrogênio amoniacal foram mais expressivos. Segundo o Portal da qualidade das águas da Agência Nacional de Águas e Saneamento básico (ANA), a disponibilidade dos compostos de nitrogênio, de forma geral, está associado ao lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais, escoamento da água em solos fertilizados, drenagem de águas pluviais em áreas urbanas, além de processos naturais como a decomposição de matéria orgânica e deposição atmosférica pela água das chuvas.

Os maiores valores registrados ocorreram para as estações de amostragem localizadas no sul do Distrito Federal, com médias em torno dos 1 mg/L e picos de até 5mg/L na estação Trem do Lago. A estação com menores valores registrados foi a estação Ribeirão do Torto com máxima de 1.27 mg/L.

De acordo com Esteves (1998) o fósforo na maioria das águas continentais é um fator limitante da produtividade primária e segundo Margalef (1983) o excesso desse elemento químico é o principal responsável pelo processo de eutrofização em ambientes aquáticos. Um dos motivos que contribuem para esse fenômeno é a disponibilidade baixa desse nutriente, sendo naturalmente encontrando apenas em pequenas quantidades do solo (BOLLMANN et al., 2005).

Vollenweider (1971) definiu os limites de fósforo total em mg/L para diferentes níveis tróficos, de acordo com o autor valores de média excedentes a 0,084 configuram estado de eutrofia, enquanto valores iguais ou abaixo de 0,008 configurariam nível oligotrófico.

Dentre os dados analisados, no período definido, e de acordo com os limites dos valores médios de fósforo estabelecidos por Vollenweider (1971) as estações amostrais se configurariam como mesotróficas. Tendo as estações Ribeirão do Torto e Parque QL 14 apresentado os menores valores de média, respectivamente 0,015 e 0,016, enquanto as estações Trem do Lago e Minas Tênis Clube apresentaram valores mais expressivos, respectivamente 0,033 e 0,025.

Também foram registrados picos de concentração de fósforo em todas as estações analisadas, tendo o pico de maior valor atingido 0.58mg/L na estação Minas Tênis Clube, enquanto o de menor valor máximo foi registrado na estação Ribeirão do Torto, sendo referente a 0.046 mg/L.

Foram registrados picos nas estações Parque QL 14, Trem do Lago e Minas Tênis Clube que excederam o valor de 0.1 mg/L, sendo considerados valores altos de concentração e estando relacionados com níveis de eutrofia de acordo com Vollenweider (1971).

4.2. Classificação dos anos de acordo com intensidade e frequência dos sistemas frontais frios

A diferenciação dos anos em classes ocorreu baseado nos boletins técnicos do CPTEC e na comparação dos dados oficiais de três variáveis climáticas com as médias normais dessas variáveis para o Distrito Federal, dados disponibilizados pelo INMET.

A frequência de incursão foi definida a partir da sistematização de todos os registros de friagens e sistemas frontais frios presentes nos boletins referentes ao período estudado. Apesar da consistência desses dados oficiais, os boletins não informam a trajetória exata dos sistemas atmosféricos podendo ter gerado ruídos quanto a caracterização de frequência dos sistemas.

A compartimentação do período estudado de acordo com frequência e intensidade dos sistemas frontais frios resultou em nove classes (tabela 3): frequência alta/intensidade alta; frequência alta/intensidade moderada; frequência alta/intensidade baixa; frequência moderada/intensidade alta; frequência moderada/intensidade moderada; frequência moderada/intensidade baixa; frequência baixa/intensidade alta; frequência baixa/intensidade moderada e frequência baixa/intensidade baixa.

Tabela 3 - Classificação dos anos de acordo com a frequência e intensidade

		INTENSIDADE		
		alta	moderada	baixa
FREQUÊNCIA	alta	2005; 2007	2010; 2013	2009
	moderada	2004; 2011; 2012	-	2006
	baixa	2017	2014; 2018	2015; 2016

Fonte dos dados: CPTEC e INMET. Elaboração do autor (2021).

A classe que abarca a maior quantidade de anos foi frequência moderada/intensidade alta com os anos de 2004, 2011 e 2012. Ao passo que nenhum ano foi designado para a classe de frequência moderada/intensidade moderada e duas classes com intensidade baixa tiveram apenas um ano em cada, sendo essas: frequências altas/intensidades baixas com o ano de 2009 e frequência moderada/intensidade baixa com o ano de 2006. Assim como a classe de frequência baixa/intensidade alta

representada unicamente pelo ano de 2017. Todas as demais classes possuem dois anos para sua representação.

As definições de frequência foram baseadas nas descrições de Fisch (1996) e Nascimento e Neves (2021), portanto anos que apresentaram 6-7 eventos de friagem e por volta de 24 ocorrências de frentes frias foram definidos como anos de frequência moderada, alterações nesses padrões foram classificados como intensos ou baixas a depender do registro de ocorrência desses fenômenos nos boletins do CPTEC.

As definições de intensidade foram baseadas em comparações com as normais climatológicas definidas pelo INMET, caso os anos apresentassem alterações em até duas variáveis eram definidos, a depender do valor, como intensidade alta ou baixa.

4.3. Resultados das correlações entre parâmetros biológicos de qualidade da água e a atuação dos sistemas frontais frios.

As correlações foram realizadas entre nove variáveis meteorológicas, sendo elas: número de sistemas frontais (quantidade), precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C), brilho solar (horas), pressão atmosférica média (mbar), umidade relativa média (%), velocidade média dos ventos (m/s), amplitude térmica (°C) e as concentrações de clorofila-a (ug/L), entre os meses de abril a setembro da série histórica delimitada.

Os resultados foram organizados de acordo com as nove classes de anos anteriormente citadas. É importante frisar que clorofila-a foi o único parâmetro biológico analisado, tendo sido interpretado como principal indicativo de adensamento de seres autotróficos.

Os valores dos coeficientes de correlação foram analisados como principal indicativo de relação entre a atuação dos sistemas atmosféricos frios e o adensamento de clorofila-a. As duas séries de dados estão organizadas de acordo com as médias mensais das variáveis, fato que pode interferir nos valores apresentados.

Os valores provenientes das correlações entre as variáveis meteorológicas e a concentração de clorofila-a foram submetidos a testes de significância bicaudal, com valor crítico de 0,05. Assumiu-se hipótese nula H_0 em que não existe correlação entre as variáveis que apresentam valor “p” acima do valor crítico estabelecido. Portanto, correlações que obtiveram valor acima do crítico foram descartadas.

As interpretações se deram da seguinte forma: correlações com valores abaixo de 0.5 foram consideradas correlações fracas, acima de 0.5 a 0.7 foram consideradas como correlações moderadas e correlações com valores acima de 0.7 foram consideradas como correlações fortes

Os valores de correlação significativa, entre as variáveis meteorológicas e a concentração de clorofila-a, para os meses em que a atuação dos sistemas frontais frios, foram classificados como de alta frequência e alta intensidade, estão apresentadas no quadro 3.

Quadro 3 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência alta / intensidade alta.

Frequência alta / Intensidade alta				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.46	-0.15	0.70	0.43
Temp. Min.	0.61	0.30	0.61	0.61
Umidade Relativa	0.07	0.63	-0.34	0.03
Amplitude Térmica	-0.27	-0.70	-	-0.32
Nº de Sistemas Frontais	0.10	-	0.38	-
Velocidade do Vento	-	0.39	0.06	-
Brilho Solar	0.26	0.03	-0.06	-0.07
Pressão Atmosférica	0.11	0.01	-0.12	-0.02
Precipitação	-	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

De acordo com o quadro a maior quantidade de valores expressivos para as correlações, nessa classe de atuação, aconteceram nas estações Ribeirão do Torto e Trem do Lago, destacando-se nessas respectivas estações os valores para amplitude térmica e temperatura máxima. Todos os dados para amplitude térmica apresentaram correlação negativa, enquanto todos os dados para temperatura mínima apresentaram correlação positiva, ambas com valores significativos.

Algumas correlações provenientes das variáveis velocidade do vento, número de sistemas frontais e amplitude térmica não apresentaram significância e foram descartadas, todos os valores de precipitação também foram descartados. Parâmetros como brilho solar, número de sistemas frontais e pressão atmosférica apresentaram valores de correlação abaixo dos 0.3 e houveram oscilações quanto a direção das variáveis, havendo correlações positivas e negativas.

Dentro das classes interpretativas definidas, essa classe de anos apresentou apenas valores medianos de correlação, sendo esses referentes as variáveis de temperatura e umidade relativa.

O quadro 4 apresenta os valores de correlação, significativa entre as variáveis meteorológicas e a clorofila-a em anos classificados como de frequência alta e intensidade moderada, dentro da série histórica analisada.

Quadro 4 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência alta / intensidade moderada.

Frequência alta / Intensidade moderada				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.25	0.41	0.50	0.56
Temp. Min.	0.56	0.02	-	0.06
Umidade Relativa	0.17	-0.51	-0.61	-0.68
Amplitude Térmica	-0.37	0.40	-	0.52
Nº de Sistemas Frontais	-0.69	-0.03	0.56	-0.10
Velocidade do Vento	-	-	-0.51	-
Brilho Solar	-	0.40	0.25	0.34
Pressão Atmosférica	0.58	0.02	-0.02	0.08
Precipitação	-	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

As correlações em relação a temperatura em sua maioria foram positivas, com exceção da amplitude térmica na estação Minas Tênis Clube que apresentou correlação negativa. As variáveis pressão atmosférica, brilho solar, temperatura mínima e amplitude térmica apresentaram em sua maioria valores baixos. Destacando-se os inusitadamente baixos valores referentes as variáveis temperatura mínima e pressão atmosférica, estando abaixo de 0.1 nas estações Ribeirão do Torto, Parque QL14 e Trem do Lago.

Enquanto variáveis como umidade relativa, número de sistemas frontais e temperatura máxima apresentaram valores medianos, respectivamente de correlação negativa e positiva. Os valores de correção para a variável número de sistemas frontais possui grande diferença entre as estações de amostragem, apresentando valores medianos para as estações Minas Tênis Clube e Trem do Lago e valores irrisórios para Ribeirão do Torto e Parque QL14.

De forma geral essa classe de atuação dos sistemas frontais apresentou mais valores expressivos de correlação e maior distribuição desses valores entre as estações analisadas do que a classe anterior. Entretanto, quanto aos anos classificados como de

Frequência alta os maiores valores de correlação estão presentes na classe frequência alta e intensidade baixa, quadro 5.

Quadro 5 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência alta / intensidade baixa.

Frequência alta / Intensidade baixa				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.74	0.55	0.92	0.92
Temp. Min.	0.98	0.94	-	0.90
Umidade Relativa	0.30	0.42	-0.05	-0.02
Amplitude Térmica	-0.59	-0.83	-	-
N° de Sistemas Frontais	-	-	-	-
Velocidade do Vento	-	-	-	-
Brilho Solar	0.31	0.56	-0.04	0.02
Pressão Atmosférica	-	0.93	0.69	0.73
Precipitação	-	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

Essa classe de anos foi a que apresentou os maiores valores significativos de correlação entre os anos classificados como de frequência alta, possuindo apenas quatro valores abaixo de 0.3, quatro valores medianos entre 0.5 e 0.7 e nove valores altos, com correlações acima de 0.7. Entretanto também foi a classe de anos que possuiu mais valores descartados após a aplicação dos testes de significância.

As variáveis que apresentaram correlações fortes foram: temperatura máxima, temperatura mínima, Amplitude térmica e pressão atmosférica. Entre essas variáveis meteorológicas destaca-se temperatura mínima e pressão atmosférica com valores acima 0.9 de correlação positiva.

Amplitude térmica foi a única variável que apresentou correlações negativas com valores altos, tendo brilho solar e umidade relativa apresentado valores inexpressivos para essas variáveis nas estações Trem do Lago e Parque QL14. Nenhuma das estações apresentou valores de correlação significativa entre precipitação, velocidade do vento e n° de sistemas frontais.

O quadro 6 apresenta os valores de correlação entre as variáveis meteorológicas e a concentração de clorofila-a em anos denominados frequência moderada e intensidade alta.

Quadro 6 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência moderada / intensidade alta.

Frequência moderada / Intensidade alta				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.26	-0.26	0.38	-0.43
Temp. Min.	0.17	-0.09	0.45	-0.38
Umidade Relativa	-0.37	0.15	-0.20	0.19
Amplitude Térmica	0.17	-0.25	0.02	-0.17
N° de Sistemas Frontais	-0.37	0.11	-0.41	0.39
Velocidade do Vento	-	-	0.43	-
Brilho Solar	0.46	0.46	0.60	0.70
Pressão Atmosférica	0.01	0.13	0.29	0.25
Precipitação	-0.13	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

Os valores mais altos foram concentrados nas estações Trem do Lago e Parque QL14, entretanto em comparação com as demais classes apresentou valores relativamente mais baixos com apenas a variável brilho solar tendo atingido valores acima de 0.6, nas estações anteriormente citadas.

Apenas as variáveis brilho solar e pressão atmosférica apresentaram correlações positivas em todas as estações, tendo todas as demais variáveis apresentado oscilações quanto a direção das correlações. Essa classe de anos foi a única a apresentar valores significativos de correlação para a variável precipitação, tendo ocorrido exclusivamente na estação Minas Tênis Clube

As correlações entre clorofila-a e as variáveis meteorológicas, para anos em que a atuação dos sistemas frontais frios foram classificados como de frequência moderada e intensidade baixa, estão apresentadas no quadro 7.

Quadro 7 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência moderada / intensidade baixa.

Frequência moderada / Intensidade baixa				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.29	-0.43	0.86	0.28
Temp. Min.	0.07	-0.68	0.50	0.56
Umidade Relativa	-0.44	-0.28	-0.62	0.38
Amplitude Térmica	0.27	0.52	-	-0.54
N° de Sistemas Frontais	-0.64	0.15	0.31	0.06
Velocidade do Vento	0.67	-	-	-
Brilho Solar	0.14	0.28	0.00	-0.95
Pressão Atmosférica	0.14	0.59	-0.11	-0.61
Precipitação	-	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

Essa classe de anos apresenta valores mais expressivos e significativamente mais distribuídos entre as estações de amostragem do que a anterior, que corresponde à anos de frequência moderada e intensidade alta.

Apesar da ocorrência de mais valores expressivos e distribuídos, todas as variáveis apresentaram oscilações quanto a direção da correlação nas diferentes estações, apresentando tanto correlações positivas quanto negativas.

Destacam-se os valores de brilho solar na estação Parque QL14 e temperatura máxima na estação Trem do Lago que foram os únicos valores acima de 0.7 dessa classe. Assim como o valor de velocidade do vento na estação Minas Tênis Clube sendo o maior valor de correlação dessa variável entre todas as classes analisadas.

Os quadros 8, 9 e 10 correspondem a anos classificados como de frequência baixa de sistemas frontais frios e intensidades variadas. Sendo que o quadro 8 correspondentes as correlações entre as variáveis meteorológicas e a clorofila-a em anos com intensidade alta e frequência baixa.

Quadro 8 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência baixa / intensidade alta.

Frequência baixa / Intensidade alta				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.05	0.92	0.25	-0.60
Temp. Min.	0.60	0.84	-0.36	-0.63
Umidade Relativa	0.07	0.19	-0.92	-0.48
Amplitude Térmica	-0.64	0.12	0.80	-0.16
N° de Sistemas Frontais	0.09	0.27	-	-
Velocidade do Vento	-	-	-	-
Brilho Solar	0.29	0.68	-0.83	-0.79
Pressão Atmosférica	0.63	0.92	-0.07	-0.40
Precipitação	-	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

De acordo com os valores presentes no quadro 8 há oscilações de direção das correlações para todas as variáveis meteorológicas. Sendo que todos os valores referentes a estação Parque QL14 se deram como correlações negativas, enquanto todos os valores referentes a estação Ribeirão do Torto se deram como correlações positivas.

Foram verificados valores expressivos para quase todas as variáveis meteorológicas em pelo menos uma estação de amostragem, com exceção da variável número de sistemas frontais.

Entre as estações de amostragem merecem destaque as estações Ribeirão do Torto, Trem do Lago e Parque QL14 que tiveram valores de correlação acima dos 0.7. as variáveis meteorológicas que apresentaram essas correlações de valor elevado foram: pressão atmosférica, brilho solar, amplitude térmica, umidade relativa, temperatura mínima e máxima. Essa foi a segunda classe a atingir os maiores valores de correlação com sete valores acima de 0.7.

O quadro 9 expõe os valores de correlação entre variáveis meteorológicas e a clorofila-a para anos com frequência baixa e intensidade moderada dos sistemas frontais frios.

Quadro 9 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com atuação dos sistemas frontais frios classificado como de frequência baixa / intensidade moderada.

Frequência baixa / Intensidade moderada				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.66	0.53	0.44	0.80
Temp. Min.	0.40	0.35	0.16	0.71
Umidade Relativa	-0.44	-0.24	-0.53	-0.27
Amplitude Térmica	0.29	0.18	0.33	0.08
Nº de Sistemas Frontais	-0.07	-	0.08	-0.22
Velocidade do Vento	-	-	-	-
Brilho Solar	-0.15	0.08	-0.58	-0.06
Pressão Atmosférica	-0.18	0.03	-0.41	0.25
Precipitação	-	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

Essa classe de anos é a que menos possui valores descartados, portanto é a que mais teve valores de correlação significantes. Também se percebe que foi a classe que mais teve a ocorrência de valores irrisórios com correlações abaixo dos 0.1 em todas as estações de amostragem. Destacando-se os valores baixos de correlação para brilho solar nas estações Ribeirão do Torto e Parque QL14 e de número de sistemas frontais para as estações Minas Tênis Clube e Trem do Lago.

Percebe-se estabilidade na direção das correlações, tendo apenas as variáveis brilho solar e pressão atmosférica alterações de sentido que se deram exclusivamente na estação Ribeirão do Torto e apresentaram valores irrisórios de correlação positiva.

Não se obteve valores excepcionalmente altos de correlação, sendo os maiores registrados para essa classe referentes as temperaturas máxima e mínima na estação Parque QL14, as únicas a atingirem valores acima de 0.7 para essa classe de anos.

O quadro 10 apresenta os resultados das correlações entre a concentração de clorofila-a e as variáveis meteorológicas para anos em que a atuação dos sistemas frontais frios foi classificada como de baixa frequência e intensidade.

Quadro 10 - Matriz de correlação para clorofila-a e variáveis meteorológicas em anos com a atuação dos sistemas frontais frios classificados como de frequência baixa / intensidade baixa.

Frequência baixa / Intensidade baixa				
	Minas Tênis Clube	Ribeirão do Torto	Trem do Lago	Parque QL14
	Clorofila (ug/L)			
Temp. Máx.	0.47	-0.02	0.69	0.21
Temp. Min.	0.63	0.23	-	0.72
Umidade Relativa	-0.04	0.28	-0.50	0.38
Amplitude Térmica	0.09	-0.20	-	-0.44
Nº de Sistemas Frontais	-0.56	-0.18	-	-0.19
Velocidade do Vento	-	-	-	-
Brilho Solar	0.13	0.23	0.04	0.20
Pressão Atmosférica	0.74	0.40	0.42	0.72
Precipitação	-	-	-	-

Elaboração do autor (2021).

Os resultados de correlação para essa classe de anos foram mais expressivos para as estações Minas Tênis Clube e Parque QL14. A estação Trem do Lago apresentou correlações insignificativas para quatro variáveis e a estação Ribeirão do Torto teve apenas um resultado acima dos 0.3 de correlação.

As variáveis com valores mais altos foram Pressão atmosférica e temperatura mínima, sendo as únicas a superar o valor 0.7 do índice de correlação. Número de sistemas frontais foi a única variável negativamente correlacionada em todas as estações, enquanto de maneira inversa pressão atmosférica e brilho solar foram positivamente correlacionados com todas as estações de amostragem.

De forma geral, por meio dos índices de correlação entende-se o cenário climático ideal para o adensamento de clorofila-a é quando a atuação dos sistemas frontais frios se dá de maneira em que a frequência e a intensidade tenham atuações opostas, ou seja, anos que possuam frequências altas e intensidades baixas ou frequências baixas e intensidades altas.

Entretanto, anos com baixa frequência de incursão das frentes frias são mais propensos ao adensamento de clorofila-a, visto que os três anos com essa classificação de frequência apresentaram correlações de valor alto. Enquanto, os anos classificados como de alta intensidade que também foram classificados como de frequências altas e moderadas foram os que tiveram os menores valores de correlação

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa mostraram que há uma associação entre as variáveis climáticas e a concentração de clorofila-a durante a temporada de incursão das frentes frias no Distrito Federal. Os índices de correlação aqui apresentados apontam que variáveis meteorológicas como: temperatura máxima, temperatura mínima, pressão atmosférica, brilho solar, amplitude térmica e umidade relativa podem sim influenciar parâmetros biológicos de qualidade d'água.

Apesar das oscilações identificadas, tanto nos valores quanto na direção dos índices de correlação, os resultados demonstram que a frequência e intensidade da atuação dos sistemas frontais são importantes fatores de influência ao adensamento de clorofila-a, estando os maiores índices de correlação presentes em anos que tiveram a atuação intensa de um desses fatores e atuação baixa do outro.

O contexto urbano das estações de amostragem aparenta interferir diretamente na disponibilidade de nutrientes que desencadeiam adensamento de clorofila-a, entretanto, os maiores valores de correlação foram na estação Ribeirão do Torto que apresentou ter as menores taxas de concentração tanto dos nutrientes quanto de clorofila-a, podendo indicar que a relação entre as dinâmicas climáticas e comunidades fitoplanctônicas independem do grau de trofia dos corpos hídricos.

A frequência temporal de amostragem do banco de dados, organizado por meio de médias mensais, pode ter interferido nos valores gerados de correlação. Sabe-se que o uso extensivo de médias mascara a complexibilidade das relações naturais, podendo não ser adequado para o monitoramento das variáveis e parâmetros analisados.

Desta forma sugere-se que pesquisas futuras tentem identificar a relação presente entre a atuação de sistemas frontais frios e parâmetros de qualidade d'água a partir de dados em escala temporal diária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas/>. Acesso em: 05/10/2021.

ARMOND, NÚBIA BERAY; SANT'ANNA NETO, João Lima. A Climatologia dos Geógrafos e a produção científica sobre Classificação Climática: um balanço inicial. **XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Goiânia**, 2016.

BARROS, Juliana Ramalho; ZAVATTINI, João Afonso. BASES CONCEITUAIS EM CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA (the conceptual bases in geographical climatology). **Mercator**, v. 8, n. 16, p. 255 a 261-255 a 261, 2009.

BATISTA, Clayton Andreoni. Estrutura da comunidade zooplanctônica e qualidade da água no Lago Paranoá, Brasília-DF. 2007.

BATISTA, Victor Botelho Graça Veras. Uso de habitat, ecologia e conservação do caiman crocodilus (alligatoridae, crocodylia) no lago Paranoá, Brasília-DF. 2009.

BOLLMANN, H. A.; CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. Curitiba: Graf. Capital**, 2005.

BORSATO, V. da A.; MENDONÇA, Francisco de Assis. A Dinâmica dos sistemas atmosféricos no verão 2012-2013 no Paraná e em Campo Mourão. **SIMPÓSIO DE ESTUDOS URBANOS: a dinâmica das cidades e a produção do espaço**, v. 2, p. 1-30, 2013.

BORSATO, Victor. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: CRV, 2016. 184 p.

BRANCO, Christina WC et al. Impact of climate on the vertical water column structure of Lajes Reservoir (Brazil): A tropical reservoir case. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, v. 14, n. 3, p. 175-191, 2009.

BRANCO, Christina WC; SENNA, Pedro AC. Relations among heterotrophic bacteria, chlorophyll-a, total phytoplankton, total zooplankton and physical and chemical features in the Paranoá reservoir, Brasília, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 337, n. 1, p. 171-181, 1996.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 518/GM, de 25 de março de 2004.

BRASIL. (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução n° 357 de 17 de março de 2005*. Brasília, DF, Brasil.

BURROUGHS, William. *et al.* **Observar el tiempo**. Barcelona: Planeta, 1998.

CAESB. Plano de Gestão e Preservação do Lago Paranoá: Produto 1- Levantamento, Caracterização e Situação Atual, Brasília – DF, 2003.

CALIJURI, M. do C.; DOS SANTOS, A. C. A.; JATI, S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP—Brazil). **Journal of plankton research**, v. 24, n. 7, p. 617-634, 2002.

CARABALLO, P. et al. Vertical mixing in an amazonian floodplain lake: description of a friagem phenomenon. **Limnol. & Oceanogr**, 2010.

CARACRISTI, Isorlanda. Geografia e representações gráficas: Uma abordagem crítica e os novos desafios técnico-metodológico passando pela climatologia. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 4, n. 1, p. 12, 2002.

CODEPLAN, Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/informacoes-socioeconomicas-do-df/>. Acesso em: 05/10/2021.

COSTA, Carla Regina et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, p. 1820-1830, 2008.

CORDEIRO NETTO, O. M.; DUTRA FILHO, D. O aporte de fósforo ao Lago Paranoá. **ESTEVES, FA Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro, Ed. Interciência/FINEP, 1988.**

CORNELIO, Loyane Ricardo et al. LEVANTAMENTO DAS POPULAÇÕES DE CAPIVARA NA ORLA DO LAGO PARANOÁ. **Programa de Iniciação Científica-PIC/UniCEUB-Relatórios de Pesquisa**, v. 3, n. 1, 2017.

CORRÊA, Ana Carolina Gomes. Modelos qualitativos de simulação sobre a dinâmica do plâncton em diferentes estados de trofia no Lago Paranoá, DF. 2011.

DE JESUS, Emanuel Fernando Reis. Algumas reflexões teóricoconceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. **GeoTextos**, v. 4, 2008.

DE MELLO BAPTISTA, Gustavo Macedo; DE ARAÚJO NETO, Mário Diniz. O PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO ARTIFICIAL NO LAGO PARANOÁ, BRASÍLIA, DF. **Geonomos**, 1994.

DE OLIVEIRA, L. P., & KRAU, L. (1970). Hidrobiologia geral, aplicada particularmente a veiculadores de esquistossomos: hipereutrofia, mal moderno das águas. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 68, 89-118.

DE OLIVEIRA SANTOS, João Paulo et al. Influência da urbanização no índice de estado trófico de um ecossistema lântico na bacia do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 1, p. 113-122, 2020.

ELMOOR-LOUREIRO, L. M. A.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; PADOVESI-FONSECA, C. New cladoceran records from lake Paranoá, Central Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, p. 415-422, 2004.

ESTEVES, F. A. (1998). *Fundamentos de Limnologia*. Editora Interciência (FINEP), Rio de Janeiro, 575p.

FALKENMARK, M.; ALLARD, B. Water quality genesis and disturbances of natural freshwaters. In: **Water Pollution**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1991. p. 45-78.

FEARNSIDE, Philip M. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of ‘greenhouse’ gases. **Environmental conservation**, v. 22, n. 1, p. 7-19, 1995.

FERNANDES, Florestan. **A organização social dos Tupinambá**. Editora Hucitec, 1989.

FERNANDES, L. F. et al. PD Comunidades fitoplanctônicas em ambientes lênticos. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Finep, p. 303-366, 2005.

FERRANTE, J. E. T.; RANCAN, L. e NETTO, P. B. (2001). “III – Meio Físico” in Fonseca, F. O. (org.). Olhares sobre o Lago Paranoá. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília-DF, p. 45-79.

FERRAZ, Joaquim de Sampaio. Meteorologia brasileira. **São Paulo: Cia Editora Nacional**, 1934.

FISCH, Gilberto; MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A. Clima da Amazônia. **Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática-Edição Comemorativa de**, v. 10, 1996.

FONSECA, Fernando Oliveira. **Olhares sobre o lago Paranoá**. Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2001.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasilia/panorama>. Acesso em: 05/10/2021.

GALVANI, Emerson; AZEVEDO, Tarik Rezende de. A frente polar atlântica e as características de tempo associadas: estudo de caso. **Galvani E, Lima NGB, organizadores. Climatologia aplicada: resgate aos estudos de caso**. Curitiba: CRV, p. 7-18, 2012.

GANF, G. G. Diurnal mixing and the vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). **The Journal of Ecology**, p. 611-629, 1974.

GAUDARD, Paula de Moraes. Estudo de parâmetros bióticos e abióticos para a avaliação da qualidade da água do lago Paranoá-DF. 2019.

GIANI, A. Distribuição horizontal do fitoplâncton e zooplâncton no Lago Paranoá. **Brasília, DF, Brasil**, 1984.

GRILL, Günther et al. Mapping the world's free-flowing rivers. **Nature**, v. 569, n. 7755, p. 215-221, 2019.

HARRIS, Graham P. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models, and management. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 5, p. 877-900, 1980.

ICLEI BRASIL. Módulo 3 - O abastecimento de água: explorando opções. In: LALOË, F. K. (Coord. ed.). *Kit de Treinamento SWITCH: Gestão integrada das águas na cidade do futuro*. 1. ed. São Paulo, 2011b. 52 p.

JATOBÁ, Sérgio Ulisses. Densidades urbanas nas regiões administrativas do distrito federal. **Brasília, DF: CODEPLAN**, 2017.

JESUS, EFR. **Espaço, tempo e escala em Climatologia**. 1995. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Geografia da FFLCH/USP. São Paulo.

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

LEGENDRE, L.; DEMERS, S. Towards dynamic biological oceanography and limnology. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 41, n. 1, p. 2-19, 1984.

LIPORONI, Lucas Matos. Estudo preliminar da qualidade da água do Lago Paranoá, Brasília–DF, utilizando um modelo de qualidade da água bidimensional. 2012.

LITCHMAN, Elena; STEINER, Daniel; BOSSARD, Peter. Photosynthetic and growth responses of three freshwater algae to phosphorus limitation and daylength. **Freshwater Biology**, v. 48, n. 12, p. 2141-2148, 2003.

MACHADO, Marília Teresinha de Sousa; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, p. 357-365, 2016.

MARGALEF, R. Limnología (Ediciones). **Omega, Barcelona**, 1983.

MARTONNE, E. **Traité de géographie physique** : Climat, Hydrographie, Relief du sol, Biogéographie. Paris: Armand Colin, 1920. 922p.

MATTOS, S. P. et al. Contribuição ao estudo limnológico do Lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil. **Acta Limnol. Brasil. I**, p. 129-154, 1986.

MEHNER, T.; BENNDORF, J. Eutrophication-- a summary of observed effects and possible solutions. 1995.

MENDONÇA-GALVÃO, L. Comunidade zooplanctônica do lago Paranoá-DF, nos períodos de seca e de chuva. **Brasília: Universidade de Brasília**, 2001.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MENEZES, Paulo Henrique Bretanha Junker. Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na Bacia do Lago Paranoá. 2010.

MIRANDA, Débora Thomé; DECESARO, Gabriel Dal'Maso. Os impactos e as consequências gerados pela urbanização acelerada às águas urbanas. **Revista Técnico-Científica**, n. 13, 2018.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil**. 1969.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 1976. 181 p. (Série Teses e Monografias nº 25).

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de saúde pública**, v. 36, p. 370-374, 2002.

MOREIRA, Ricardo Cosme Arraes; BOAVENTURA, Geraldo Resende. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá-DF. **Química Nova**, v. 26, p. 812-820, 2003.

MORIZE, Henrique – **Contribuição ao estudo do clima do Brazil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1922. 116 p

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; NEVES, Gustavo Zen de Figueiredo. Dinâmica atmosférica na área Core do Bioma Cerrado. In: NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira *et al* (org.). **Climatologia do Cerrado: variabilidades, suscetibilidades e mudanças climáticas no contexto do cerrado brasileiro**. Goiânia: C&A Alfa Comunicação, 2021. Cap. 2. p. 51-72.

NARDINI, Mauricio José; NOGUEIRA, Ina de Souza. O processo antrópico de um lago artificial e o desenvolvimento da eutrofização e florações de algas azuis em Goiânia. 2008.

NIMER, Edmon. Climatologia do Brasil. **IBGE**, 1989.

OGASHAWARA, I.; ZAVATTINI, João Afonso; TUNDISI, J. G. The climatic rhythm and blooms of cyanobacteria in a tropical reservoir in São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, p. 72-78, 2014.

PADISÁK, Judit; TÓTH, L. G.; RAJCZY, M. The role of storms in the summer succession of the phytoplankton community in a shallow lake (Lake Balaton, Hungary). **Journal of Plankton research**, v. 10, n. 2, p. 249-265, 1988.

PADISÁK, Judit et al. Stir-up effect of wind on a more-or-less stratified shallow lake phytoplankton community, Lake Balaton, Hungary. **Hydrobiologia**, v. 191, n. 1, p. 249-254, 1990.

PADISAK, Judit. The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity and equitability of phytoplankton in shallow lakes. **Hydrobiologia**, v. 249, n. 1, p. 135-156, 1993.

PADOVESI-FONSECA, C.; PHILOMENO, M. G. Effects of algicide (copper sulfate) application on short-term fluctuations of phytoplankton in Lake Paranoá, central Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, p. 819-826, 2004.

PDAD – Pesquisa Distrital por Amostragem de Domicílios, SEPLAN/DF.

PÉDELABORDE, Pierre. Introduction à l'étude scientifique du climat. 1970.

PEKEL, Jean-François et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, v. 540, n. 7633, p. 418-422, 2016.

PREISENDORFER, Rudolph W. Secchi disk science: Visual optics of natural waters 1. **Limnology and oceanography**, v. 31, n. 5, p. 909-926, 1986.

PEREIRA, D. F. **A comunidade zooplanctônica e a qualidade da água no Lago Paranoá (Brasília-DF) durante o processo de oligotrofização**. 2001. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília-UnB. Brasília-DF. 66p.

PEREIRA, Lilian Pena. Avaliação econômica do uso do lago Paranoá para atividades recreacionais. 2006.

PHILOMENO, Mariana Gomes. A comunidade fitoplanctônica e a restauração do Lago Paranoá, Brasília-DF. 2007.

REYNOLDS, Colin S. Cyanobacterial water-blooms. **Advances in botanical research**, v. 13, p. 67-143, 1987.

SÁ, Laynara Oliveira de. Aplicação de métodos empíricos de sensoriamento remoto utilizando imagens Landsat no Lago Paranoá–DF para estimativa de Clorofila–a e turbidez. 2018.

SANT'ANNA NETO, João Lima. História da Climatologia no Brasil: gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. **Cadernos Geográficos, Florianópolis**, n. 7, p. 124, 2004.

SEMA, Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal. Disponível em: <https://sema.df.gov.br/mapa-da-cobertura-vegetal-e-uso-do-solo-do-distrito-federal/>. Acesso em: 05/10/2021.

SERRA, Adalberto – **Secondary circulation of southern Brazil**. Rio de Janeiro: Ed. do Serviço de Meteorologia, 1938.

SERRA, Adalberto Berrajard. **La circulation générale de l'Amérique du Sud**. Ministério da Agricultura, Serviço Nacional de Meteorologia, 1939.

SERRA, Adalberto B.; RATABONNA, Leandro. **As ondas de frio da bacia Amazônica**. Serviço de Meteorologia, 1941.

SERRA, Adalberto; RATABONNA, Leandro. As Massas de Ar da América do Sul:(PRIMEIRA PARTE). **Revista Geográfica**, p. 67-129, 1959.

SERRA, Adalberto; RATABONNA, Leandro. As Massas de Ar da América do Sul:(SEGUNDA PARTE). **Revista Geográfica**, p. 41-61, 1960.

SILVA, Douglas Batista da. **Qualidade de água e sedimento em reservatório**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SORRE, Maximilien. Fondements de la géographie humaine. **Cahiers internationaux de sociologie**, v. 5, p. 21-37, 1948.

SMITH, Val H. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 10, n. 2, p. 126-139, 2003.

STARLING, F. L. R. M. et al. Large-scale extensive tilapia production in a tropical eutrophic reservoir (Lago Paranoá, Brasília, Brazil): environmental and socio-economical benefits from biomanipulation. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA AQUACULTURE**. 2000. p. 631.

STECH, José L.; LORENZZETTI, João A. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 97, n. C6, p. 9507-9520, 1992.

STEINKE, Ercília Torres; DE ANDRADE SOUZA, Giselle; SAITO, Carlos Hiroo Saito Hiroo. Análise da variabilidade da temperatura do ar e da precipitação no Distrito Federal no período de 1965/2003 e sua relação com uma possível alteração climática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

STEINKE, Ercília Torres. Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. 2004.

STRASKRABA, M. Shallow lakes and reservoirs. **Wetlands and shallow Continental Water Bodies, SPB Academic Publishing bv, The Hague**, v. 1, p. 425-444, 1990.

STRASKRABA, M. Some new data on latitudinal differences in the physical limnology of lakes and reservoirs. **Conferencias de Limnologia, Instituto de Limnologia 'Dr Raúl A. Ringuelet', La Plata**, p. 19-39, 1993.

STRINGER, Edward – **Foundation of Climatology**. San Francisco: Freeman, 1972.

TALLING, Jack F.; TALLING, John Francis; LEMOALLE, Jacques. **Ecological dynamics of tropical inland waters**. Cambridge University Press, 1998.

TOLEDO, L. G. **Estudo anual da produção primária do fitoplâncton e dos fatores limnológicos no Lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil**. 1986. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília.

TRIMBEE, Annette M.; HARRIS, G. P. Use of time-series analysis to demonstrate advection rates of different variables in a small lake. **Journal of Plankton Research**, v. 5, n. 6, p. 819-833, 1983.

TUCCI, Andréa et al. Fitoplâncton do Lago das Garças, São Paulo, Brasil: um reservatório urbano eutrófico. **Hoehnea**, v. 33, n. 2, p. 147-175, 2006.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Henry. R.; Rocha, O. & Hino, K. 1988. Comparações do estado trófico de 23 reservatórios do estado de São Paulo: eutrofização e manejo. **Limnologia e Manejo de Represas. São Paulo, EESC-USP, CRHEA, ACIESP. (Série Monografias em Limnologia)**, v. 1.

TUNDISI, J. G.; VANNUCCI, D. Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização. **São Carlos: UNEPIECT**, 2001.

TUNDISI, José Galizia et al. The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables. **Brazilian journal of biology**, v. 64, p. 177-186, 2004.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos. 631 p. **Soils and Sediments**, v. 2, n. 4, p. 216-222, 2008.

TUNDISI, J. G. et al. Cold fronts and reservoir limnology: an integrated approach towards the ecological dynamics of freshwater ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 815-824, 2010.

VOLLENWEIDER, Richard A. et al. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication**. Paris: Organisation for economic co-operation and development, 1971.

VON SPERLING, Marcos. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, p. 111-132, 1998.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

WETZEL, Robert G. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. **Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen**, v. 24, n. 1, p. 6-24, 1990.

ZAVATTINI, Joao Afonso. O paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Geografia**, p. 25-44, 2000.