



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GERTRUDES DE SOUSA REGIS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM UMA LAGOA NA ZONA URBANA DE
RUSSAS-CE**

**RUSSAS
2022**

GERTRUDES DE SOUSA REGIS

ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM UMA LAGOA NA ZONA URBANA DE
RUSSAS-CE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Me. Daniela Lima Machado
da Silva.

RUSSAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R265a Regis, Gertrudes de Sousa.
Análise da qualidade das águas em uma lagoa na zona urbana de Russas-CE / Gertrudes de Sousa
Regis. – 2022.
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2022.
Orientação: Profa. Ma. Daniela Lima Machado da Silva.

1. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos. 2. Semiárido. 3. Classificação dos corpos d'água. I. Título.
CDD 620

GERTRUDES DE SOUSA REGIS

ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM UMA LAGOA NA ZONA URBANA DE
RUSSAS-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em: 09/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Me. Daniela Lima Machado da Silva (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita (Examinadora Interna)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Wlysses Wagner Medeiros Lins Costa
Universidade Federal de Campina Grande – Doutorando (Examinador Externo)

A Deus.

A meu pai (*in memoriam*), por não medir esforços para minha graduação.

AGRADECIMENTOS

À minha família por me oferecer todo o suporte durante a difícil caminhada da graduação.

À Prof. Me. Daniela Lima Machado da Silva, por todo o seu empenho e dedicação durante a realização deste trabalho. Agradeço pela oportunidade e pela confiança a mim reservada e por aceitar me orientar nessa última etapa da graduação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita e Me. Wlysses Wagner Medeiros Lins Costa pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À técnica do laboratório de saneamento Patrícia, pelo auxílio durante a realização dos ensaios e análises dos resultados.

A meu amigo Leonardo que esteve comigo durante todas as coletas e análises. Aos meus demais amigos Auciane, Naiara, Evilaine e Diego que acompanharam minha trajetória na graduação e me ajudaram a vencer todos os obstáculos encontrados, tornando tudo mais fácil e agradável.

Por fim, quero agradecer à UFC - Campus de Russas por ser um ambiente de aprendizagem de qualidade e oferecer suporte assistencial tão importante para a universalização do ensino a todos aqueles que querem cursar o ensino superior.

“Nós nos esquecemos que o ciclo da água e o ciclo da vida são, na verdade, um só.”

Jacques Yves Cousteau

RESUMO

Os corpos d'água situados em ambientes urbanos sofrem uma maior pressão na diversidade de seus usos, bem como, são afetados pela poluição gerada nas cidades. Aqueles situados na região semiárida do Nordeste brasileiro enfrentam também o déficit hídrico causado pela disparidade entre as taxas de pluviometria e de evaporação. Nesse sentido, este estudo visou analisar a qualidade da água da Lagoa da Caiçara, localizada na área urbana do município de Russas – CE. A pesquisa foi realizada com coletas de água em dois pontos amostrais durante o período de estiagem, entre os meses de agosto e dezembro de 2021. Foram analisados parâmetros físico-químicos de pH, condutividade elétrica, resíduo total, sólidos totais dissolvidos, turbidez, alcalinidade total, cloretos e dureza total, além dos parâmetros microbiológicos de coliformes totais e *E. coli*, de modo a avaliar a classe de enquadramento das águas da Lagoa e a possível indicação de contaminação fecal. Dentre os parâmetros físico-químicos, os valores de sólidos totais dissolvidos, pH, turbidez e cloretos estiveram acima do valor de enquadramento da Resolução Conama nº 357/05, tendo este último apresentado valores entre 414,77 e 1013,87 mg/L Cl. Já as análises de resíduo total, dureza total e condutividade elétrica apresentaram valores acima da normalidade dos ecossistemas, em especial a condutividade elétrica, com valores até 3030 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por fim, a alcalinidade total ficou dentro da faixa aceitável. Nas análises microbiológicas foi detectada a presença de coliformes totais e *E. coli* durante o tempo de monitoramento. Desse modo, as águas da Lagoa da Caiçara podem estar degradadas e, portanto, não devem ser indicadas para o uso recreativo ou para o consumo dos peixes.

Palavras-chave: parâmetros físico-químicos e microbiológicos; semiárido; classificação dos corpos d'água.

ABSTRACT

Water bodies located in urban environments suffer greater pressure in the diversity of their uses, as well as being affected by the pollution generated in cities. Those located in the semi-arid region of the Brazilian Northeast also face the water deficit caused by the disparity between rainfall and evaporation rates. In this sense, this study aimed to analyze the water quality of Lagoa da Caiçara, located in the urban area of the municipality of Russas - CE. The research was carried out with water collections at two sampling points during the dry season, between August and December 2021. Physicochemical parameters of pH, electrical conductivity, total residue, total dissolved solids, turbidity, total alkalinity, chlorides and total hardness were analyzed, in addition to the microbiological parameters of total coliforms and E. coli, in order to evaluate the classification class of the waters of the Lagoon and the possible indication of fecal contamination. Among the physicochemical parameters, the values of total dissolved solids, pH, turbidity and chlorides were above the framework value of Conama Resolution No. 357/05, the latter having presented values between 414.77 and 1013.87 mg/L Cl. The analysis of total residue, total hardness and electrical conductivity showed values above the normality of ecosystems, especially electrical conductivity, with values up to 3030 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Finally, the total alkalinity was within the acceptable range. In the microbiological analysis, the presence of total coliforms and E. coli was detected during the monitoring period. Thus, the waters of Lagoa da Caiçara may be degraded and, therefore, should not be recommended for recreational use or for fish consumption.

Keywords: physicochemical and microbiological parameters; semiarid; classification of water bodies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Qualidade da água x usos conforme Resolução Conama nº 357/05	19
Figura 2 – Lagoa da Caiçara, Russas, Ceará	34
Figura 3 – Canalizações de drenagem	35
Figura 4 – Fluxograma do monitoramento realizado na presente pesquisa	36
Figura 5 – Pontos de amostragem na presente pesquisa	36
Figura 6 – Coleta das amostras: em P1 à esquerda e em P2 à direita	37
Figura 7 – Frascos de coleta utilizados na presente pesquisa	38
Figura 8 – Estufa bacteriológica utilizada na presente pesquisa	39
Figura 9 – Resultado positivo para a presença de coliformes totais	40
Figura 10 – Resultado positivo para a presença de <i>E. coli</i>	40
Figura 11 – Condutivímetro de bancada utilizado na presente pesquisa	41
Figura 12 – Turbidímetro utilizado na presente pesquisa	42
Figura 13 – Dados pluviométricos em 2021, Russas, Ceará	43
Figura 14 – Lagoa da Caiçara: em outubro à esquerda e em dezembro à direita	44
Figura 15 – Pontos secos devido à estiagem	44
Figura 16 – Dados obtidos a partir do monitoramento do pH	47
Figura 17 – Proliferação de algas	47
Figura 18 – Dados obtidos a partir do monitoramento da condutividade elétrica	48
Figura 19 – Dados obtidos a partir do monitoramento dos sólidos totais dissolvidos	50
Figura 20 – Dados obtidos a partir do monitoramento do resíduo total	51
Figura 21 – Espumas nas margens da coleta 3 à esquerda e da coleta 5 à direita	52
Figura 22 – Dados obtidos a partir do monitoramento da turbidez	53
Figura 23 – Amostras da Coleta 4 à esquerda e Coleta 5 à direita	54
Figura 24 – Dados obtidos a partir do monitoramento da alcalinidade total	55

Figura 25 – Dados obtidos a partir do monitoramento de cloretos	56
Figura 26 – Dados obtidos a partir do monitoramento de dureza total	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Benefícios dos ecossistemas aquáticos	22
Tabela 2 – Datas e horários de coleta da presente pesquisa	38
Tabela 3 – Resultados das análises microbiológicas	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CT	Coliformes totais
E. coli	Escherichia coli
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de esgoto
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
pH	Potencial hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
STD	Sólidos totais dissolvidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivo geral	17
1.2	Objetivos específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Recursos hídricos no Brasil	18
2.2	Águas no meio urbano e usos	21
2.3	Ecosistemas lacustres	23
2.4	Recursos hídricos no semiárido	24
2.5	Qualidade da água	25
2.6	Parâmetros de qualidade analisados	26
2.6.1	<i>Parâmetros microbiológicos</i>	27
2.6.2	<i>pH</i>	28
2.6.3	<i>Condutividade elétrica</i>	29
2.6.4	<i>Resíduo total e sólidos totais dissolvidos</i>	29
2.6.5	<i>Turbidez</i>	30
2.6.6	<i>Alcalinidade total</i>	31
2.6.7	<i>Cloretos</i>	31
2.6.8	<i>Dureza total</i>	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	Área de estudo	34
3.2	Metodologia de pesquisa	35
3.3	Procedimento de coleta e amostragem	37
3.4	Análises microbiológicas	39
3.5	Análises físico-químicas	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Diagnóstico de campo	43
4.2	Análises microbiológicas	45
4.3	pH	46
4.4	Condutividade elétrica	48
4.5	Sólidos totais dissolvidos (STD)	49
4.6	Resíduo total	51

4.7	Turbidez	53
4.8	Alcalinidade total	54
4.9	Cloretos	56
4.10	Dureza total	57
4.11	Lagoa da Caiçara: enquadramento e usos	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
5.1	Conclusão	60
5.2	Sugestões de trabalhos futuros	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

As águas, em qualidade e quantidade adequadas, possuem função crucial para o funcionamento dos ecossistemas e para a manutenção da saúde humana e dos seres vivos. O Brasil, por possuir uma vasta extensão territorial, apresenta grande variabilidade nesses dois quesitos, seja devido às características próprias dos corpos hídricos, ou devido às condições do meio em que o corpo hídrico está situado. Logo, os corpos d'águas superficiais estão sujeitos a variações em qualidade e quantidade, pois, além das alterações devido a situações naturais do clima, são os que recebem os primeiros impactos das atividades humanas (TUNDISI, 2014).

Nesse sentido, os ecossistemas aquáticos situados no semiárido nordestino, caracterizado por longos períodos de estiagem, apresentam grande variação de nível d'água sendo a região permeada em sua maioria por rios intermitentes. No que se refere aos ambientes lacustres, de acordo com Esteves (1998), esses tendem a apresentar altos teores de íons dissolvidos, pois a precipitação não compensa a evaporação.

Ademais, aqueles corpos hídricos situados em ambientes urbanos estão sujeitos à entrada de poluentes de diversas origens. Assim, Tucci (2012) cita que a urbanização está ligada à geração de sedimentos e resíduos sólidos urbanos que, somados à deficiência dos serviços de limpeza urbana, acabam escoando pelos sistemas de drenagem para os corpos hídricos aumentando a poluição. Também se pratica o despejo de efluentes domésticos que causa degradação ecológica e causam sérios prejuízos para a saúde pública (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

Vale citar que os corpos hídricos superficiais têm potencialidade de utilização em múltiplos usos que vão desde o abastecimento público à harmonia paisagística. Tais usos estão condicionados a qualidade das águas, conforme a Resolução Conama 357/2005, que trata da classificação dos corpos d'água. A Lei Federal 9.433/1997 ressalta a importância desse enquadramento dos corpos d'água, dado a partir da qualidade corrente de suas águas, e que pode restringir os usos em que são empregadas ou ser pressuposto para adoção de melhorias.

Nessa perspectiva, a Lagoa da Caiçara localizada na zona urbana do município de Russas-CE, proporciona um ambiente natural para uso pela população, além de ser local de pesca de subsistência para alguns moradores do entorno.

Contudo, a falta de acompanhamento da qualidade da água da Lagoa, diminui as possibilidades de adoção de medidas que melhorem suas condições e que permitam os usos atuais sem que a população sofra riscos à saúde e nem haja problemas ecológicos.

Desse modo, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a qualidade da água da Lagoa da Caiçara por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, possibilitando a realização de um diagnóstico preliminar acerca das possíveis causas de poluição.

1.1 Objetivo geral

Analisar a qualidade da água da Lagoa da Caiçara, situada na zona urbana do município de Russas.

1.2 Objetivos específicos

- a) Monitorar mensalmente os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da Lagoa da Caiçara;
- b) Apontar os usos possíveis dessa água, considerando a Resolução CONAMA 357/05;
- c) Identificar as possíveis causas de contaminação de acordo com os resultados das análises.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Recursos hídricos no Brasil

O Brasil é notadamente um grande detentor de recursos hídricos, possuindo em seu território muitos ecossistemas aquáticos continentais, sejam naturais ou artificiais, sendo estes de grande importância ambiental, social e econômica. Ademais, o país apresenta desde alta disponibilidade hídrica e regimes de chuva mais intensos, como na região Norte, até baixa disponibilidade e estresse hídrico na região Nordeste (TUNDISI, 2014).

Além disso, segundo o relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2020a), elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o país é dividido em 12 regiões hidrográficas, mas em termos de distribuição das águas a Região Hidrográfica Amazônica concentra em torno de 80% da água superficial do país.

Pontua-se ainda que o abastecimento urbano corresponde ao segundo maior uso da água, cerca de 24,3% em 2019, sendo 84% da população urbana atendida por mananciais superficiais. Contudo, essa população está concentrada nos grandes centros urbanos como São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Fortaleza e Porto Alegre, evidenciando a disparidade existente entre a alocação dos recursos e os locais de maior demanda (ANA, 2020a). Em toda extensão territorial do país, esses mananciais estão sujeitos as ações antrópicas, seja nas áreas rurais e urbanas, e essas atividades condicionam os usos da água e também a manutenção da sua qualidade.

Nessa perspectiva, a legislação brasileira é rica em termos de instrumentos para proteção dos corpos hídricos e das águas em sua totalidade. Em primeiro, tem-se a Lei Federal 9.433/1997, chamada Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Segundo Braga et al. (2006), a Lei das Águas traz conceitos inovadores no que diz respeito à gestão dos recursos hídricos, com aplicabilidade a nível nacional e estadual, além de incorporar a participação de todas as partes interessadas.

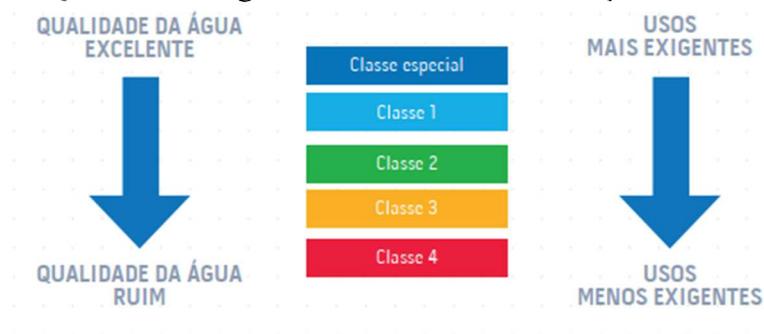
Desse modo, com vista a implementar a PNRH, ao longo dos anos foram criados diversos instrumentos e órgãos que integram o SINGREH e atuam a nível nacional ou de forma a permitir uma gestão mais descentralizada da água. Dentre esses, cita-se o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a Agência Nacional de Águas (ANA), os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal e os Comitês de Bacia Hidrográfica (BRASIL, 1997).

A Lei das Águas (BRASIL, 1997) trata, entre outros temas, da necessidade de enquadramento dos corpos de água em classes e, assim, garantir que sejam compatíveis com o uso mais nobre a que se destinam, deixando o estabelecimento dessas classes para a legislação ambiental pertinente. Logo, o enquadramento possibilita acompanhar os níveis de qualidade da água de um corpo hídrico ao longo do tempo, propiciando a melhoria contínua de sua condição (BRAGA et al., 2006).

Desse modo, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) lançou dentro de suas atribuições a Resolução Conama nº 357/05, que dispõe sobre a classificação para enquadramento dos corpos hídricos superficiais, além de estabelecer os padrões de lançamento em se tratando de corpos receptores. O enquadramento disposto nessa resolução, apesar de mais comum citar-se os rios, aplica-se a qualquer corpo de água superficial como lagos, reservatórios e águas costeiras e é elaborado mediante diagnóstico da proposta de enquadramento pelos órgãos competentes (ANA, 2020b).

De maneira geral são considerados três grupos, águas doces, salobras e salinas, havendo dentro de cada grupo as classes de enquadramento. Essas indicam os usos a que as águas do corpo hídrico em análise podem ser empregadas, variando desde as classes de uso mais nobre, que são as de abastecimento humano e proteção integral do ambiente aquático, até as classes de uso menos exigentes, onde as águas destinam-se a harmonia paisagística e a navegação (BRASIL, 2005). A Figura 1 traz uma representação entre a qualidade da água e seus usos.

Figura 1 – Qualidade da água x usos conforme Resolução Conama nº 357/05



Fonte: ANA (2020b).

Logo, de acordo com o relatório Enquadramento dos Corpos d'água em Classes (ANA, 2020b), a classe especial é a mais restritiva as ações antrópicas onde deve-se manter as condições naturais do corpo d'água; já a classe 4 para águas doces e a classe 3 para águas

salobras e salinas são as menos restritivas, equivalendo ao nível mais inferior de qualidade prevista nas classes de enquadramento.

Vale citar ainda a Resolução Conama nº 274/00 que trata da balneabilidade dos corpos hídricos em que se pratica recreação de contato primário. Desse modo, engloba as atividades em que há o contato direto do usuário com os corpos de água como natação, esqui aquático e mergulho. Assim, haja vista a necessidade de garantia da saúde e bem-estar dos usuários, as águas devem ser analisadas e classificadas como próprias ou impróprias, sendo as águas próprias subdivididas em: Excelente, Muito Boa e Satisfatória.

A determinação da balneabilidade é dada através da quantificação de indicadores microbiológicos, são eles: coliformes fecais (termotolerantes), *Escherichia coli* e *enterococos*. Os valores obtidos com um conjunto de amostras do corpo d'água são comparados a valores máximos e, assim, determina-se a balneabilidade (BRASIL, 2000). Ademais, as análises devem ser feitas periodicamente para que haja um controle de que as águas estão próprias para uso, pois a balneabilidade é uma condição variável com o tempo.

Uma vez que os corpos hídricos não são sistemas isolados, a qualidade de suas águas depende do meio ambiente que os cerca e, nesse sentido, cabe citar a Lei Federal 12.651/2012 que dispõe, entre outros temas, sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP). Dessa lei, tem-se que APP trata-se de uma

[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

No caso de corpos hídricos, de acordo com o disposto na Lei Federal 12.651/2012, conhecida como o Novo Código Florestal, as APPs são estabelecidas como as faixas com larguras mínimas a serem preservadas nas margens, aplicando-se a zonas rurais e urbanas e aos mais diversos tipos de corpos d'água. Em geral, as larguras dessas faixas variam de acordo com o porte do manancial e com a sua localização, se é em zona rural ou urbana.

Nessa perspectiva, tem-se que a vegetação tem grande importância para os corpos hídricos, garantindo a qualidade das águas, a reposição das águas subterrâneas e também a liberação de água para a atmosfera por meio da evapotranspiração (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010).

2.2 Águas no meio urbano e usos

Dentro do panorama geral dos recursos hídricos, há as particularidades das águas que estão nas áreas urbanas e que, portanto, estão sujeitas a situações diferentes daquelas de um corpo hídrico em um ambiente menos modificado. Nesse sentido, segundo Tucci (2008), nos países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil, apesar da existência de documentos de ordenação territorial como o Plano Diretor Urbano, a maior parte das cidades expandem-se de forma irregular. Isso se dá em áreas com carência de infraestrutura básica e arruamentos ordenados e a população mais pobre acaba por ocupar áreas de risco. Essa expansão urbana que ocorre a margem da lei interfere na qualidade das águas naturais da região, sendo o despejo de efluentes domésticos sem tratamento o principal causador de sua degradação (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

Tomando como base a metrópole de São Paulo, Anelli (2015) relata uma série de interferências que os recursos hídricos foram submetidos ao longo dos anos. O autor aponta que essas interferências ocorreram de forma premeditada, de modo a aumentar as áreas urbanizáveis. Dentre elas, cita-se a canalização do rio Tietê, a retificação do curso do rio Pinheiros e a canalização e cobertura do córrego Saracura, essas medidas possibilitavam um maior avanço do mercado imobiliário sobre as áreas de várzea e, no caso dos rios canalizados ocultava o despejo de esgoto nos corpos d'água.

Diante dessa realidade do crescimento urbano, têm-se impactos sobre as infraestruturas das águas que envolvem falta de tratamento de esgoto, sendo este despejado junto com as águas pluviais nos rios urbanos, ou ainda a falta de rede de drenagem urbana e ocupação de leitos de inundações levando a enchentes, citando-se, ainda, a impermeabilização do solo que leva ao aumento dos resíduos sólidos despejados nos corpos hídricos (TUCCI, 2008).

Em outra perspectiva há os usos em que os corpos hídricos são empregados, assim Braga et al. (2006) menciona a importância de criar mecanismos que viabilizem atender aos usos múltiplos, que vão desde o abastecimento humano e do setor produtivo à navegação, recreação e controle ambiental. Desse modo, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011), fazem uma relação dos benefícios gerados por um ecossistema aquático saudável, estando alguns desses dispostos na Tabela 1. Dentre esses, os autores pontuam que a recreação e o turismo em corpos d'água doce são os mais acessíveis em regiões do interior e, por isso, geram certa pressão sobre rios, lagos e represas.

Tabela 1 – Benefícios dos ecossistemas aquáticos

Serviços proporcionados por ecossistemas aquáticos saudáveis
Recreação
Turismo
Transporte e navegação
Deposição de nutrientes nas várzeas
Purificação natural de detritos
Habitat para diversificação ecológica
Moderação e estabilização de microclimas urbanos e rurais
Saúde mental e estética

Fonte: Adaptado de Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011).

Ainda, considerando um ambiente urbano, os autores citam os benefícios no que diz respeito a melhoria das condições de vida da população, já que provoca uma descontinuidade na paisagem urbana e consiste num ambiente natural de lazer. Além disso, contribui na dinâmica do ciclo hidrológico das águas.

Nesse sentido, o trabalho de Almeida (2009), traz a perspectiva de moradores que vivem no entorno de três lagoas urbanas situadas no município de Campos dos Goytacazes - RJ. As lagoas estudadas consistem em corpos d'água poluídos pelo despejo de esgotos *in natura*, depósitos de resíduos sólidos urbanos e local de proliferação de insetos e roedores. Contudo, apesar das condições precárias de moradia a que muitos estão sujeitos, uma parcela de 63% dos moradores entrevistados declarou serem felizes por morar perto dos corpos hídricos. Entre os motivos, citaram a beleza do ambiente e o ar fresco proporcionado pelas lagoas.

Os corpos d'água são usados também como receptores de efluentes, apresentando volumes mais significativos nas zonas urbanas, principalmente de esgotos domésticos sem tratamento, uma prática realizada de maneira indevida e ilegal. Nesse sentido, estimativas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontam que cerca de 55% da população brasileira é atendida por rede de esgoto, sendo apenas 50,8% do esgoto gerado efetivamente tratado, logo, uma grande parcela de efluentes chegam em estado bruto aos corpos hídricos (SNIS, 2021).

Dessa forma, um dos usos que pode ser prejudicado é a pesca, seja praticada comercialmente ou para subsistência. Logo, Souza e Azevedo (2020) relatam os casos de três lagoas urbanas localizadas no Estado do Rio de Janeiro em que, entre outros usos, se pratica a pesca de subsistência. Na Lagoa Rodrigo de Freitas, há pontos de despejo de efluentes domiciliares, sendo a água de má qualidade para que seja feito consumo do pescado do corpo hídrico. Na Lagoa de Araruama, por sua vez, se pratica pesca artesanal de peixes e camarões, contudo, já ocorreram dois episódios, em 2009 e 2011, de grande mortandade de peixes, onde

o lançamento de esgoto domiciliar *in natura* foi apontado como desencadeador. Por fim, o Complexo Lagunar de Jacarepaguá, também utilizado como local de pesca pela população, recebe despejos de águas residuárias de origem urbanas e industriais que prejudicam muito sua qualidade.

Assim, os lançamentos de efluentes não tratados podem gerar uma indisponibilidade para outras utilizações devido à poluição das águas e gerando mais problemas em situações de estresse hídrico (ANA, 2020a). Valendo citar que, de acordo com Tucci (1997), os efluentes oriundos da drenagem das águas pluviais também contribuem para degradação da qualidade das águas superficiais em áreas urbanas, pois carregam resíduos sólidos e sedimentos das ruas para dentro dos corpos d'água.

2.3 Ecossistemas lacustres

Dentro dos ecossistemas continentais, há uma distinção que são os ecossistemas limnóticos e que se referem apenas aos corpos hídricos de água doce. Contudo, o funcionamento desses corpos hídricos limnóticos apresentam algumas diferenciações e tem-se a divisão em ecossistemas lênticos e lóticos. De maneira geral, os ecossistemas lênticos são aqueles de água parada, tais como lagos, lagoas e pântanos, já os ecossistemas lóticos apresentam água corrente como os rios, riachos e córregos (ANA, 2013a).

Segundo Esteves (1998), em relação aos sistemas lacustres, muitas vezes não há uma boa diferenciação entre o que seria lagos, lagoas e lagunas e, portanto, há troca de nomes ou uma generalização e utilização do termo “lago”. Dito isto, no Brasil, em geral, esses ecossistemas são pequenos e apresentam baixas profundidades de até 20 metros, somente os lagos formados por reservatórios possuem profundidades mais acentuadas.

No que diz respeito a diferença entre os corpos hídricos lacustres, pode-se considerar que as lagoas são corpos d'água rasos, e que por isso a radiação solar consegue atingir o sedimento, o que possibilita o crescimento de plantas aquáticas por toda sua extensão, podendo ser constituído de água doce, salobra ou salgada (ESTEVES, 1998).

Ademais, de acordo com ANA (2013a), a qualidade das águas dos ambientes lacustres está sujeita as ações antrópicas como também situações naturais, sendo o uso e ocupação do solo determinante para a qualidade das águas. Em geral, os ecossistemas lênticos apresentam grande solubilidade para compostos orgânicos, baixo teor de sais dissolvidos e capacidade de sedimentação, entre outros.

Sobre esses ecossistemas, Lemos et al. (2016) relatam que a eutrofização é um dos principais causadores de degradação da qualidade da água, caracterizada pelo aumento excessivo de plantas aquáticas devido ao despejo de compostos fertilizantes, mas também devido às condições de luz e temperatura no corpo hídrico.

Segundo Lemos, Ferreira Neto e Dias (2010), o depósito de resíduos sólidos urbanos gera uma série de impactos no corpo hídrico que prejudicam a vida dos peixes. Os autores citam o despejo de sabões em pó, detergentes e desinfetantes que geram espumas na superfície e diminuem a disponibilidade de oxigênio no meio, causando a mortandade de peixes e plantas. O despejo de efluentes da agroindústria, por sua vez, causa um desequilíbrio na produção do plâncton, que serve de alimento para os peixes e também causaria o aumento de sua mortandade.

Além disso, o desmatamento próximo de rios, lagos e represas levam a ocorrência de erosão das margens e, por conseguinte, assoreamento dos corpos hídricos, bem como diminui o volume de água disponível e acelera a entrada de substâncias tóxicas e poluentes que degradam a qualidade da água (TUNDISI, 2014). Vale citar ainda, segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), que a forma dos lagos sofre interferência das atividades humanas feitas em seu entorno, como é o caso do desmatamento, que permite o carreamento de sedimentos para o corpo hídrico.

2.4 Recursos hídricos no semiárido

Uma região semiárida é em geral caracterizada por um clima com baixos níveis de precipitações médias anuais, variando, segundo Cirilo (2008), entre 250 e 500 mm. Nessa perspectiva, o autor cita que, no caso da região semiárida do Nordeste Brasileiro, os recursos hídricos são compostos por rios com baixos volumes de escoamento, sendo muitos deles temporários. Assim, pode-se destacar o Rio Jaguaribe, no Estado do Ceará, que possui grande extensão e bacia hidrográfica onde se situa dois grandes açudes do Nordeste, o Castanhão e o Orós, construídos para regularização nos períodos secos.

Além dos baixos índices de precipitação, o balanço hídrico da região semiárida brasileira é complementado pelas elevadas evaporações, assim, em termos de média anual, os totais de pluviometria e evaporação praticamente se igualam. Ademais, a precipitação sobre a região semiárida se dá em um curto período de aproximadamente quatro meses (CGEE; ANA, 2012).

Nesse sentido, de acordo com Barboza et al. (2020), ao se avaliar a série histórica de precipitações pluviométricas na cidade de Fortaleza, no período entre 1974 e 2008, obtém-se que os meses de julho a dezembro são de intensa seca e a soma das médias de precipitações desses seis meses é menor do que a média dos meses de abril e março, que são os mais chuvosos. Além disso, o trimestre de agosto a outubro constitui-se como o mais seco do ano.

Sobre a região do Vale do Jaguaribe, na pesquisa realizada por Pereira e Cuellar (2015), são apontadas as consequências do uso da água e da seca que assolou a região, analisando o período entre 2009 e 2014. De acordo com os autores, houve uma redução de 300 km² da área coberta por água, no período supracitado, na microrregião do Baixo Jaguaribe. Essa redução de área é evidenciada pelo desaparecimento, constatado por meio de imagens de satélites, de inúmeras lagoas localizadas nas cidades de Tabuleiro do Norte e Limoeiro do Norte, sendo o motivo principal das lagoas secarem justamente a evaporação.

As regiões com baixo aporte de água acabam por ter algumas dificuldades em relação a manutenção da qualidade da água. Desse modo, um dos usos a que muitos corpos hídricos são submetidos é a de receptores, devendo atuar como meio de diluição e depuração dos efluentes despejados. Contudo, os corpos hídricos do Nordeste não apresentam massa de água compatível com o requerido (CGEE; ANA, 2012).

Nessa perspectiva, segundo Cirilo (2008), o despejo de efluentes sem tratamento ou mesmo com baixo nível de tratamento, leva à poluição desses corpos d'água, afetando a biodiversidade e entre outros problemas pode culminar em eutrofização em ambientes lênticos como os açudes. Desse modo, os açudes, principal fonte de água em períodos de estiagem, podem ser prejudicados pelas medidas de saneamento adotadas nas regiões semiáridas (CGEE; ANA, 2012).

2.5 Qualidade da água

A qualidade da água de um corpo hídrico está sempre relacionada com o uso a que se destina, assim um manancial pode estar com qualidade adequada para um uso menos restritivo, como uso industrial e navegação, mas não estar adequada para uso recreativo, como natação, onde há contato direto com a água (FUNASA, 2014).

No entanto, vale citar que muitos corpos hídricos são destinados a mais de um uso específico e, desse modo, Von Sperling (1995), aponta que a qualidade da água deve estar condizente com todos os usos previstos.

Logo, Lemos, Ferreira Neto e Dias (2010), discorrem sobre a importância do monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos como ferramenta de controle e gestão. Segundo os autores, esse acompanhamento possibilita verificar os efeitos dos usos sobre as condições de qualidade da água e, posteriormente, auxiliar no controle ambiental.

De maneira geral, a qualidade da água é resultado das condições do meio externo em que o corpo hídrico está inserido, tais como ocupação do solo e condições naturais do ambiente, mas também das atividades antrópicas (ANA, 2020a). No caso de ambientes urbanos, segundo Tundisi (2014), a insuficiência do saneamento básico pode levar a infecção de águas superficiais e subterrâneas por agentes patológicos.

No que diz respeito às variações na qualidade da água, Almeida (2013) cita que essa qualidade vai além dos aspectos estéticos, pois uma água de boa aparência para um uso, como, por exemplo, com turbidez quase nula para consumo humano, pode conter agentes patológicos. Na mesma medida em que uma água com aspecto turvo poderia ser utilizada para geração de energia.

Ademais, a perda de qualidade da água de um corpo hídrico envolve uma série de impactos sejam sociais, ambientais e econômicos, tais como: perda da biodiversidade, aumento dos custos de tratamento de água, aumento das doenças de veiculação hídrica, prejuízos à pesca e aos valores turístico, paisagístico e cultural do ambiente (FUNASA, 2014).

Cita-se ainda que, de acordo com ANA (2020a), eventos de chuva mais intensas são responsáveis por carrear poluentes para os corpos hídricos e causam adversidades quando somadas ao desmatamento da vegetação original. Haja visto que, em locais que já apresentam processos erosivos, são exemplos de poluição difusa que acometem bacias hidrográficas, nessas condições ambientais, e que geram degradação da qualidade da água. Desse modo, ecossistemas saudáveis estão relacionados de forma quase direta com a qualidade da água requerida para uso pelas pessoas e seres vivos.

2.6 Parâmetros de qualidade analisados

Os parâmetros de qualidade são estabelecidos, em geral, de acordo com as características físicas, químicas e biológicas da água, sendo utilizados como balizadores de adequação aos usos. Nesse sentido, o enquadramento disposto na Resolução Conama nº 357/05 baseia-se na determinação das classes de enquadramento de acordo com os valores de parâmetros encontrados no corpo d'água e, assim, definem-se os usos permitidos.

Logo, as águas de um corpo hídrico serão adequadas para determinado uso se os parâmetros estiverem condizentes com o padrão exigido para tal, havendo três padrões principais de qualidade: padrões de lançamento no corpo receptor, padrões de qualidade do corpo receptor e padrões de qualidade para determinado uso imediato, como, por exemplo, os padrões de potabilidade (VON SPERLING, 1995).

2.6.1 Parâmetros microbiológicos

Os parâmetros microbiológicos, em especial aqueles indicadores de contaminação fecal, são muito importantes na determinação da qualidade de um corpo hídrico. Nesse sentido, destacam-se as bactérias do grupo coliformes, que são as tradicionalmente aceitas como indicadoras de contaminação fecal (CETESB, 2018).

De acordo com o Manual Prático de Análise de Água, elaborado pela FUNASA (2013), os coliformes consistem em bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas e há alguns fatores que justificam seu uso como indicador de contaminação fecal. Dentre esses fatores, citam-se: são encontradas nos dejetos dos animais de sangue quente e humanos, são de fácil detecção em todos os tipos de água, possuem um maior tempo de sobrevivência na água e são mais resistentes aos desinfetantes em relação aos outros grupos de bactérias patogênicas intestinais.

Os coliformes termotolerantes são um grupo de microrganismos dentro do grupo dos coliformes, representados principalmente pela bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*) e por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. O destaque dado a *E. coli* se deve ao fato de que somente essa bactéria é exclusivamente de origem fecal, sendo encontrada em altas concentrações em fezes de mamíferos, aves e humanos e dificilmente detectada em um ambiente que não tenha sofrido contaminação fecal. Isso a difere das outras bactérias que podem estar presentes, por exemplo, em ambientes onde há grande carga orgânica, como as de despejo de efluentes industriais (CETESB, 2018).

Vale citar que, segundo FUNASA (2013), grande parte das bactérias encontradas no meio aquático não são patogênicas, contudo, podem causar problemas a saúde, além de prejudicar a qualidade da água, pois provocam odores e sabores desagradáveis. Além disso, de acordo com ANA (2013b), a concentração de coliformes termotolerantes pode ser relacionada com a possibilidade de existência de microrganismos patogênicos no meio aquático, sendo estes causadores de doenças como febre tifoide, febre paratifoide, disenteria bacilar e cólera, todas de veiculação hídrica.

De modo geral, na legislação brasileira, os teores de coliformes fecais são utilizados nas análises de qualidade das águas superficiais como padrão para os usos em abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura (CETESB, 2018).

2.6.2 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro que por meio da concentração de íons hidrogênio [H^+] na amostra, indica o grau de acidez, neutralidade ou basicidade da água, sendo expresso por uma faixa que varia de 0 a 14. O pH neutro é aquele correspondente a 7, onde valores abaixo de 7 indicam soluções ácidas e acima de 7 soluções básicas (ANA, 2013b).

Comumente, os corpos d'água continentais apresentam pH com valores entre 6 e 8, mas encontram-se também ecossistemas aquáticos com valores fora dessa faixa (ESTEVES, 1998). De maneira geral, o pH é utilizado frequentemente para caracterização de águas para abastecimento, seja em estado bruto ou tratadas, também aplicado em águas residuárias brutas e em corpos d'água. Ademais, tem significado importante no que diz respeito à operação adequada de estações de tratamento de água (ETA) e estações de tratamento de esgoto (ETE) (VON SPERLING, 1995).

Desse modo, de acordo com ANA (2013b), o pH é importante na grande maioria das fases empregadas para o tratamento de água e esgotos, citando-se os processos de neutralização, precipitação de metais pesados, coagulação, desinfecção e controle de corrosão das estruturas e tubulações. A distribuição da água tratada também é influenciada pelo pH, pois águas de teor mais básico podem causar incrustações e posterior diminuição das seções efetivas das tubulações, ao passo que águas ácidas são corrosivas e danificam as tubulações metálicas utilizadas para tal finalidade (PIVELI, 2005).

Nos ambientes aquáticos naturais, segundo CETESB (2018), o pH influencia diretamente na fisiologia das diversas espécies presentes, além de que de forma indireta pode contribuir para a precipitação de metais pesados e alterar a solubilidade de nutrientes no meio.

Em geral, cada emprego em que se utiliza o pH como parâmetro funciona melhor em uma determinada faixa. Considera-se que a faixa de pH entre 6 e 9 seja segura para a proteção a vida aquática, já nos sistemas biológicos de tratamento de esgotos a condição de neutralidade é mais adequada, seja para sistemas aeróbios ou anaeróbios. Em tratando-se de água para consumo humano, recomenda-se que o pH da água fique na faixa entre 6 e 9,5 (CETESB, 2018; BRASIL, 2017).

2.6.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) expressa a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica, sendo um indicador da salinidade do meio aquático natural, proveniente da concentração de sais, ácidos e bases. Quanto maior a condutividade elétrica, maior será também a concentração desses compostos no meio (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Assim, segundo CETESB (2021), a condutividade pode fornecer uma indicação se houve alteração na composição de uma água, em especial se tratando de sua composição mineral. Contudo, não fornece informações sobre as quantidades relativas de cada parcela dos compostos presentes.

Ainda assim, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) relatam que a condutividade expressa, entre outras condições do meio aquático, a concentração iônica, a riqueza de nutrientes do fitoplâncton e das plantas aquáticas e, no caso de determinados lagos e represas, seu valor sofre influência da alcalinidade das águas.

Além disso, a concentração de sais em um corpo d'água está relacionada com a concentração de poluentes, sendo valores acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ referentes a ambientes impactados. Ademais, a condutividade elétrica aumenta com a adição de sólidos dissolvidos ao meio, e altos valores podem indicar águas com capacidade corrosiva (CETESB, 2021).

2.6.4 Resíduo total e sólidos totais dissolvidos

Os sólidos presentes nas águas são analisados em termos das diversas parcelas obtidas com o emprego dos processos de secagem, calcinação e filtração, sendo estes denominados sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis (CETESB, 2018). De maneira geral, o resíduo total trata-se do resíduo que sobra na cápsula após a evaporação em estufa da massa de água da amostra, enquanto os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) é a soma de todos os componentes químicos dissolvidos presentes água (ANA, 2013b).

De acordo com Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), os sólidos totais dissolvidos (STD) são em geral os sais, componentes não-iônicos e compostos orgânicos dissolvidos, sendo mais de 50% destes compostos de bicarbonatos, cloretos e sulfatos. No que diz respeito à interferência provocada no meio aquático, Lemos et al. (2016) citam que podem provocar diminuição da realização de fotossíntese e da concentração de oxigênio dissolvido na água, além de esses sólidos reterem bactérias e microrganismos potencialmente prejudiciais.

Em relação a presença de resíduo total nas águas, este pode levar a uma maior sedimentação no leito dos rios, o que prejudica organismos situados nessa região e danifica os locais de desova dos peixes. Bem como, a retenção de resíduos de origem orgânica no fundo do corpo hídrico acaba por levar a decomposição anaeróbia e, conseqüentemente, a produção de compostos, tais como metano e dióxido de carbono (ANA, 2013b).

Em termos de aplicabilidade desses parâmetros, Piveli (2005) relata que a determinação das parcelas de sólidos nas águas é mais indicada para águas bastante poluídas e esgotos do que propriamente para as águas limpas. Entretanto, a presença de sais em grande concentração, a exemplo de sulfatos e cloretos, podem atribuir gosto desagradável a água e gerar corrosão no sistema de distribuição (CETESB, 2018).

2.6.5 Turbidez

A turbidez representa a interferência na passagem da luz pela água devido à presença de sólidos, sendo a água caracterizada pelo aspecto turvo. A turbidez é causada mais precisamente pelos sólidos em suspensão, bem como pelas algas, plâncton e matéria orgânica presentes no meio. Citam-se ainda alguns compostos químicos e areia que podem ser de origem natural, como erosão ou devido a despejos de efluentes (FUNASA, 2013).

Valores altos de turbidez prejudicam a realização de fotossíntese da vegetação submersa e das algas, o que pode ter conseqüências sobre a produtividade de peixes (CETESB, 2018). Ademais, segundo Piveli (2005), nas águas naturais, além da interferência na passagem da luz e nas características do ecossistema, as partículas que provocam a turbidez, quando sedimentam, formam lodos de digestão anaeróbia que, entre outros, gera gás sulfídrico que tem como principal característica o seu mau cheiro.

O autor cita ainda que o movimento do gás gerado em direção a superfície provoca o arraste de matéria orgânica que não se encontra totalmente degradada, isso leva a uma maior demanda de oxigênio na fração líquida do corpo d'água (PIVELI, 2005).

Nos processos de tratamento de água, de acordo com FUNASA (2013), as águas que apresentam turbidez elevada formam flocos mais pesados do que os de uma água com menor turbidez, e esses flocos decantam mais rapidamente em relação aos outros. Em contrapartida, a etapa de desinfecção é prejudicada, pois os sólidos podem de certa forma proteger os microrganismos de entrarem em contato com os desinfetantes.

Por fim a turbidez, além de um indicador de contaminação, trata-se de um parâmetro importante em termos de aceitação da água de consumo pela população e pode

condicionar os usos doméstico, industrial e recreativo de um corpo d'água (FUNASA, 2013; CETESB, 2018).

2.6.6 Alcalinidade total

A alcalinidade é um parâmetro de qualidade que expressa a capacidade que um meio aquoso tem de neutralizar ácidos. Essa propriedade é dada pela presença de alguns tipos de compostos, em especial os sais do ácido carbônico, como bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, sendo a alcalinidade total dada pela soma das alcalinidades desses três compostos (ESTEVES, 1998). As três formas de alcalinidade são encontradas de acordo com o pH da água onde, em pH acima de 9,4 estão presentes hidróxidos e carbonatos, pH situado entre 8,3 e 9,4 têm-se carbonatos e bicarbonatos e pH entre 8,3 e 4,4 estão os bicarbonatos (VON SPERLING, 1995).

As formas de alcalinidade também possuem origens diversas. Segundo CETESB (2018), os carbonatos e hidróxidos tendem a aparecer em águas de corpos d'água eutrofizados. A alcalinidade de hidróxidos pode ocorrer ainda em águas naturais onde há despejo de efluentes industriais, que comumente utilizam em seus processos soda cáustica e cal hidratada ou em águas tratadas, pois algumas fases empregam a cal hidratada.

De maneira geral, de acordo com Piveli (2005), a alcalinidade total não é utilizada como padrão de potabilidade da água de consumo ou como padrão de classificação de águas naturais e lançamento de efluentes. Contudo, é utilizado como parâmetro de controle em diversas fases do tratamento de águas e de esgotos.

Ademais, Von Sperling (1995) cita que a alcalinidade pode conferir gosto amargo a água, o que não é interessante para a água de consumo. No que diz respeito ao tratamento de água, se utiliza como parâmetro de controle para coagulação, redução de dureza e medida contra os efeitos corrosivos nas tubulações. Já no tratamento de esgotos, aplica-se quando uma redução do pH pode prejudicar os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica.

2.6.7 Cloretos

Os cloretos, em geral, são provenientes da dissolução de sais minerais estando presentes nas águas nas formas de cloreto de sódio, cálcio e magnésio. Em ambientes naturais, altos teores de cloreto podem estar relacionados com a poluição do corpo hídrico devido ao despejo de esgotos domésticos ou industriais, provenientes por exemplo das indústrias farmacêuticas e de curtume (CETESB, 2018). Em relação a parcela de cloretos devido os

esgotos domésticos, deve-se ao fato de que a dieta alimentar dos humanos é rica em cloreto de sódio (ANA, 2013b).

Nesse sentido, como cita Von Sperling (1995), a quantidade de cloretos é utilizada como parâmetro para caracterização de águas brutas de mananciais para abastecimento, bem como, anteriormente, o teor de cloretos foi utilizado como indicador de contaminação por esgotos sanitários (CETESB, 2018).

Os níveis de cloreto em si não oferecem riscos à saúde humana, mas podem conferir sabor salgado as águas, além de no caso de corpos d'água poderem interferir negativamente no equilíbrio dos organismos aquáticos, pois provocam mudanças na pressão osmótica das células (ANA, 2013b).

2.6.8 Dureza total

A dureza das águas se deve a presença, em maior grau, de sais alcalinos terrosos, que são cálcio e magnésio, e de outros metais. Logo, os principais compostos que atribuem dureza a água são bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio (PIVELI, 2005).

As águas são classificadas em termos de dureza de carbonato de cálcio (CaCO_3), havendo quatro classificações: água mole (dureza $< 50 \text{ mg/l CaCO}_3$), água com dureza moderada (dureza entre 50 e 150 mg/l CaCO_3), água dura (dureza entre 150 e 300 mg/l CaCO_3) e água muito dura (dureza $> 300 \text{ mg/l CaCO}_3$) (FUNASA, 2014).

Em relação à origem dos compostos que geram a dureza, em geral, provém da passagem de água pelo solo formado de dissolução de rochas calcáreas e, assim, as águas subterrâneas tendem a ser mais duras do que as de corpos hídricos superficiais (CETESB, 2018). Ademais, segundo Piveli (2005), nos ecossistemas naturais a poluição causada pelo despejo de efluentes industriais tem pouca influência na dureza.

A dureza não traz implicações sanitárias as águas, contudo quando em elevadas concentrações podem causar um sabor desagradável e ter efeitos laxativos para os consumidores. Também elevam o consumo de sabões, pois reduz a produção de espuma e no caso do uso nas indústrias, causa incrustações nas tubulações e reservatórios de água quente (VON SPERLING, 1995).

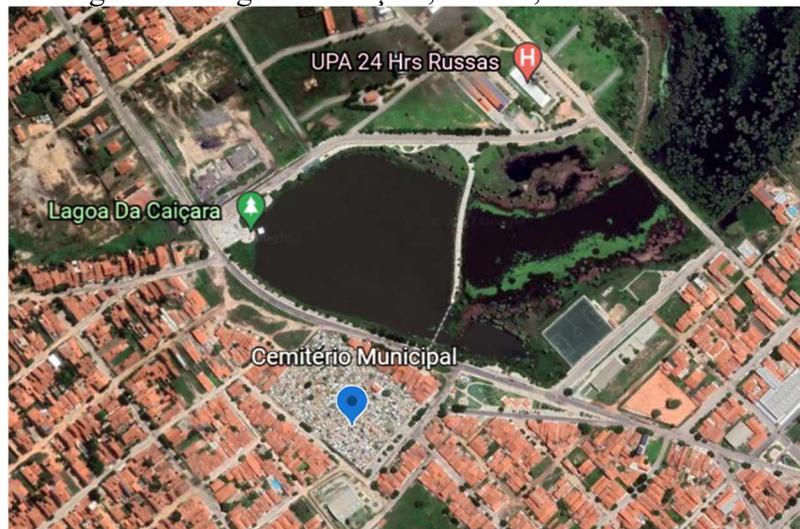
Além disso, Piveli (2005) cita a existência de estudos que relacionam o aumento de casos de cálculo renal em cidades abastecidas por águas duras, o que configuraria um problema no âmbito da saúde pública. Já nas águas naturais, os compostos da dureza podem se unir a outros compostos e formar complexos que modificariam seus efeitos sobre os componentes do ecossistema aquático.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa trata-se da Lagoa da Caiçara, ilustrada na Figura 2, situada em 4° 56' 13" Sul e 37° 58' 56" Oeste no município de Russas – CE. A Lagoa da Caiçara ocupa uma área de aproximadamente 0,12 km² (BRASIL, 2021), considerando toda a área natural delimitada pelas vias de trânsito. Contudo, em uma de suas margens, foi recentemente construída uma arena de esportes e nos seus limites tem um aterro e uma ponte utilizada para fins turísticos.

Figura 2 – Lagoa da Caiçara, Russas, Ceará



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

Vale citar ainda que a Lagoa apresenta grande variação de nível d'água ao longo do ano, em virtude da disparidade de pluviometria entre a quadra chuvosa e o período de estiagem. Paralelamente, de acordo com o Índice de Aridez determinado pela Funceme (2017), o município de Russas está situado em uma região semiárida, apresentando precipitação média anual de 710,4 mm, dado obtido de acordo com a pluviometria média entre 1974 a 2016. Esse parâmetro juntamente com a evapotranspiração de referência média anual que vale 1891,05 mm, explicam a diminuição do nível da água da Lagoa da Caiçara nos períodos de estiagem.

De acordo com o mapa cartográfico do município (RUSSAS, 2019), a lagoa encontra-se no bairro Guanabara, zona urbana, sendo cercada por vias em todo seu entorno. Em relação a ocupação do solo, na região em que está situada, há em sua proximidade o Cemitério Bom Jesus dos Aflitos e uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA). Ademais,

também tem proximidade com bairros residenciais e em sua extensão uma Área de Preservação Permanente (APP).

A referida Lagoa consiste numa área de lazer importante para a população, servindo de local para a prática de exercícios físicos, navegação e harmonia paisagística. Em menor proporção é utilizada para pesca de subsistência, principalmente nas estações chuvosas, quando apresenta um maior volume de água, sendo a pesca realizada com auxílio de barcos ou com a entrada dos pescadores na Lagoa.

Além disso, consiste em um corpo receptor de drenagem urbana das áreas de seu entorno. Logo, conta com elementos de drenagem em suas margens, como os ilustrados na Figura 3.

Figura 3 – Canalizações de drenagem



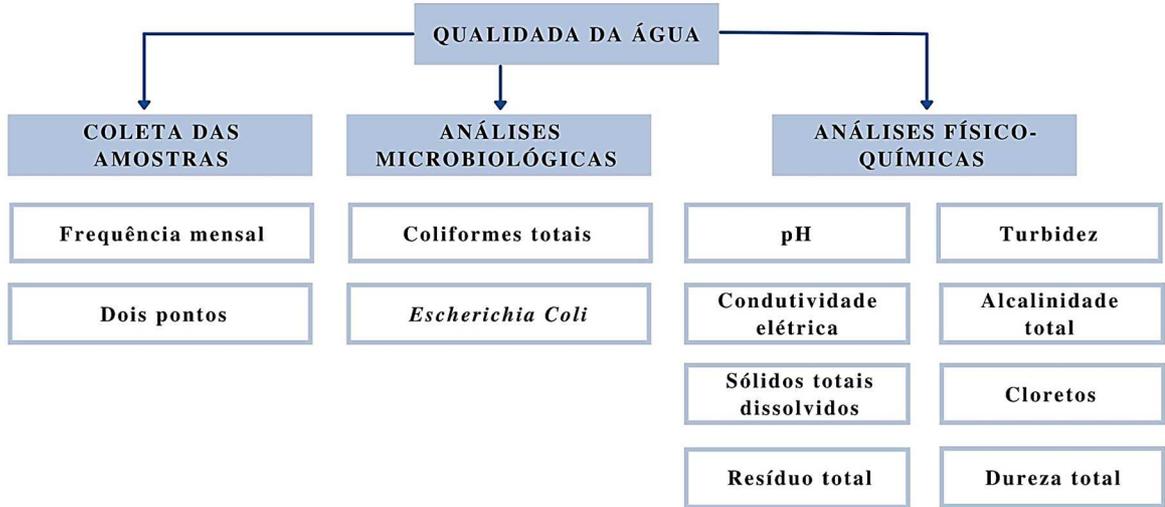
Fonte: Autora (2021).

Vale citar que, como trata-se de um corpo hídrico com mais de 1 ha de superfície de água, a faixa de 30 metros ao redor das margens da Lagoa da Caiçara se enquadra como APP, de acordo com o disposto na Lei Federal 12.651/2012, conhecida como Novo Código Florestal. Contudo, como mencionado anteriormente, essa faixa não é obedecida e a lagoa é rodeada por vias de trânsito e construções muito próximas.

3.2 Metodologia de pesquisa

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos nessa pesquisa foi realizado por meio de coletas de água em dois pontos da área de estudo (Figura 5), sendo a qualidade da água analisada conforme o disposto no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma do monitoramento realizado na presente pesquisa

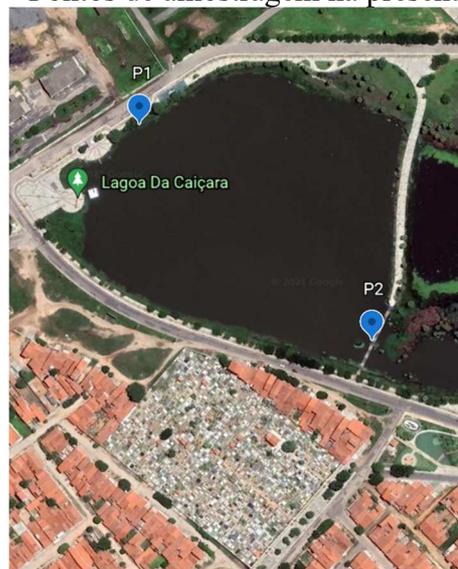


Fonte: Autora (2021).

As coletas foram realizadas com intervalos de um mês, estendendo-se de agosto a dezembro de 2021. Esse período de amostragem refere-se à época de estiagem no Estado do Ceará e possibilita avaliar os impactos da baixa pluviometria sobre o corpo hídrico e, consequentemente, na qualidade da água.

De acordo com a viabilidade do local para a retirada das amostras, foram locados dois pontos de amostragem, assim como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Pontos de amostragem na presente pesquisa



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

O primeiro, Ponto 1 (P1), foi locado próximo a um quiosque que fica na margem da lagoa, localizado nas coordenadas 4° 56' 11" Sul e 37° 58' 59" Oeste. Já o Ponto 2 (P2) foi

locado sobre a ponte de modo a ficar mais distante da margem da lagoa, mas ainda próximo ao cemitério, localizado nas coordenadas 4° 56' 17" Sul e 37° 58' 53" Oeste.

Em síntese, foram analisados dois parâmetros microbiológicas com as análises de coliformes totais e *E. coli* e oito parâmetros físico-químicos com as análises de pH, CE, STD, resíduo total, turbidez, alcalinidade total, cloretos e dureza total.

3.3 Procedimento de coleta e amostragem

O processo de amostragem foi realizado seguindo as recomendações dispostas na NBR 9898 (ABNT, 1987), de modo a se garantir a preservação das características das amostras. Desse modo, para cada coleta os frascos de polietileno foram desinfetados com álcool etílico 70% e foram utilizadas luvas cirúrgicas.

A coleta do ponto P1 foi realizada da margem, com o preenchimento dos frascos diretamente na água. Já a coleta do ponto P2 foi realizada a partir da ponte, com a utilização de um balde de plástico, também desinfetado com álcool etílico 70%. Além disso, procedeu-se primeiro com a coleta das amostras microbiológicas e, em seguida, com a coleta para as análises físico-químicas. A seguir, a Figura 6 ilustra o procedimento realizado durante as coletas das amostras nos dois pontos.

Figura 6 – Coleta das amostras: em P1 à esquerda e em P2 à direita



Fonte: Autora (2021).

Os frascos de coleta utilizados foram garrafas de polietileno de 500 mL para as análises físico-químicas e potes autoclavados para as análises microbiológicas, sendo estes previamente identificados. A Figura 7 ilustra os frascos utilizados.

Figura 7 – Frascos de coleta utilizados na presente pesquisa



Fonte: Autora (2021).

Desta maneira, em cada ponto foram coletadas cerca de 500 mL para as análises físico-químicas e 100 mL para a análise microbiológica, tomando-se o cuidado de não preencher os frascos totalmente para que fosse possível a homogeneização da amostra antes de realizar o particionamento para os ensaios.

Com relação aos horários de coleta, foi mantida uma regularidade ao longo do estudo, haja visto que diferenças de horários podem influenciar na variabilidade dos resultados encontrados com as análises. As informações sobre as datas e horários estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Datas e horários de coleta da presente pesquisa

Ponto de Coleta	Coleta 1 09/08/2021	Coleta 2 08/09/2021	Coleta 3 06/10/2021	Coleta 4 04/11/2021	Coleta 5 07/12/2021
P1	8:56 h	8:55 h	8:55 h	8:26 h	8:27 h
P2	9:05 h	9:04 h	9:05 h	8:36 h	8:37 h

Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

Imediatamente após as coletas, os frascos foram acondicionados em caixa térmica contendo gelo e permaneceram sob refrigeração até o momento de realização dos ensaios no Laboratório de Saneamento da UFC Campus Russas. Todavia, sem que houvesse congelamento, haja vista a necessidade de preservação da integridade das condições naturais da amostra, sendo as análises realizadas no mesmo dia da respectiva coleta.

3.4 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas de modo a verificar a presença dos dois principais grupos de bactérias indicadoras de contaminação fecal, assim realizou-se as detecções dos grupos de bactérias coliformes totais (CT) e *E. coli*. A escolha dessas análises deve-se à possibilidade de relação dessas bactérias com o despejo de efluentes domésticos na Lagoa, como também com a contaminação proveniente do cemitério.

Para as detecções dos grupos de bactérias utilizou-se o COLItest, um meio de cultura que permite a detecção simultânea dos dois grupos de bactérias, sendo adicionado o reativo de Kovacs para prova de indol e detecção de *E. coli*. A análise é validada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017).

O procedimento de realização da análise foi feito com um sachê de COLItest e 100 ml de amostra, sendo o meio de cultura adicionado a amostra de água e homogeneizado obtendo-se uma coloração púrpura. Em seguida, o frasco foi incubado em estufa bacteriológica, ilustrada na Figura 8, com temperatura variando entre 35 +/-2°C, faixa de temperatura condizente com a do trato digestivo humano, por um período de 18 a 48 horas.

Figura 8 – Estufa bacteriológica utilizada na presente pesquisa



Fonte: Autora (2021).

Posteriormente, fez-se a análise da coloração da amostra incubada. Se a amostra permanecesse com a cor púrpura não há presença de coliformes totais, caso apresentasse cor amarelada o resultado seria positivo para a presença de coliformes totais, conforme ilustrado pela Figura 9.

Figura 9 – Resultado positivo para a presença de coliformes totais



Fonte: Autora (2021).

Após finalizada a análise de presença de coliformes totais, uma parte da amostra que foi incubada, cerca de 5 a 10 mL, foi transferida para um tubo de ensaio para realização da prova de indol de presença de *E. coli*, adicionando-se de 3 a 5 gotas do reativo de Kovacs. O teste seria positivo para *E. coli* se houver formação de anel vermelho na superfície do meio. A Figura 10 ilustra o resultado positivo para a presença de *E. coli*.

Figura 10 – Resultado positivo para a presença de *E. coli*



Fonte: Autora (2021).

3.5 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas realizadas neste estudo foram pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, alcalinidade total, dureza total, cloretos e resíduo total, sendo em sua maioria realizadas em duplicata e de acordo com APHA; AWWA; WEF (2017).

A aferição de pH foi realizada pelo método eletrométrico, sendo este mais recomendado para medições em laboratório devido a sua maior precisão. Utilizou-se um

pHmetro de bancada de modelo Tecnonon mPA-210 previamente calibrado com duas soluções tampão de valores de pH igual a 4 e a 7, conforme especificado pelo fabricante. Em relação a temperatura, o equipamento possui compensação automática para o valor de 25°C. A medição era então realizada com a imersão do eletrodo e do medidor de temperatura na amostra.

As análises de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foram realizadas utilizando o condutivímetro de bancada de modelo Tecnonon mCA-150 ilustrado na Figura 11. A determinação do STD é possível através da relação existente entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos, sendo dada através de uma constante de correlação K estimada pelo próprio equipamento. O aparelho era previamente calibrado e então realizava-se as medidas dos dois parâmetros.

Figura 11 – Condutivímetro de bancada utilizado na presente pesquisa



Fonte: Autora (2021).

A turbidez, por sua vez, foi determinada pelo método nefelométrico, utilizando um turbidímetro da AKSO de modelo TU430, ilustrado na Figura 12, com funcionamento baseado na ISO7027. Antes da análise o equipamento passou por calibragem realizada em quatro pontos de turbidez 0, 20, 100 e 800 NTU. A análise era realizada com cerca de 20 mL de amostra que é colocada em uma cubeta e posicionada dentro do turbidímetro.

Figura 12 – Turbidímetro utilizado na presente pesquisa



Fonte: Autora (2021).

As análises de cloretos e dureza total foram realizadas por meio de titulometria e com indicadores de viragem visual. Desse modo, para a análise de cloretos, como se tratava de amostras de água bruta, foi realizada diluição da amostra e utilizou-se um FD = 1/10, sendo empregado como titulante nitrato de prata 0,01N e como indicador cromato de potássio 5%. Já para a análise de dureza total utilizou-se um FD = 1/2, empregando-se como titulante EDTA 0,01M e como indicador uma pitada de preto de eriocromo T.

A determinação da alcalinidade total foi realizada com o método titulométrico e detecção potenciométrica até atingir o pH pré-fixado de 4, sendo utilizado como titulante de neutralização ácido/base o ácido sulfúrico 0,012 mol/L.

Por fim, o resíduo total foi determinado pelo método gravimétrico, seguindo o disposto na NBR 10664 (ABNT, 1989). As amostras de 50 mL de água eram levadas a estufa com temperatura de 100 °C por 24h até a evaporação total da água, em seguida as cápsulas eram pesadas para obtenção do resíduo total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

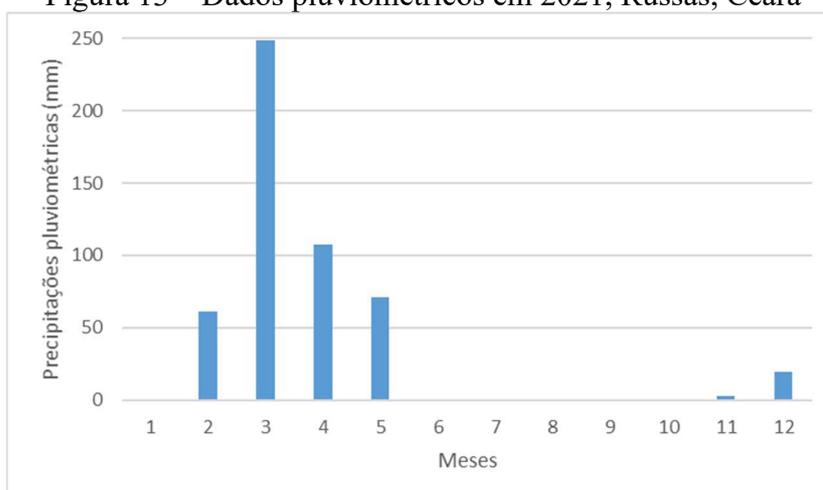
O enquadramento dos corpos hídricos foi feito empregando análises laboratoriais de amostras de água que tiveram seus resultados comparados com os valores padrões das classes. Nessa perspectiva, de acordo com a Resolução Conama nº 357/05, em seu Art. 42, aqueles corpos hídricos que ainda não tiveram seus enquadramentos aprovados devem ser considerados de classe 2 para as águas doces e de classe 1 para as águas salinas e salobras. Contudo, caso o corpo hídrico possua condições atuais de qualidade superior, deve-se considerar a classe mais rigorosa.

Logo, os resultados das análises encontrados foram relacionados com a legislação, a fim de verificar se a Lagoa da Caiçara se enquadra na Classe 2, visto que é um corpo de água doce, mas também foram comparados com valores encontrados por outros autores em corpos d'água de características similares.

4.1 Diagnóstico de campo

Os dados de precipitação obtidos em um posto pluviométrico na cidade de Russas/CE, ao longo do ano de 2021, estão dispostos na Figura 13. A variabilidade dos valores de pluviometria entre o primeiro e o segundo semestres evidencia o período de estiagem na região que, em geral, estende-se de julho à dezembro.

Figura 13 – Dados pluviométricos em 2021, Russas, Ceará



Fonte: Funceme (2022).

Desse modo, ao longo da campanha de monitoramento, que se estendeu de agosto a dezembro de 2021, as precipitações pluviométricas foram irrisórias ou nulas. Logo, além das

análises dos parâmetros em laboratório, foram também observadas as mudanças ocorridas na Lagoa da Caiçara nesse período de estiagem e que servem de subsídio para o entendimento dos parâmetros de qualidade das águas constatados.

Assim, a partir da Figura 14 pode-se comparar a variação do nível d'água da Lagoa da Caiçara entre outubro e dezembro.

Figura 14 – Lagoa da Caiçara: em outubro à esquerda e em dezembro à direita.



Fonte: Autora (2021).

Ademais, devido ao grande período de estiagem, compreendido entre os meses de julho e dezembro, a Lagoa da Caiçara teve seu volume bastante reduzido em algumas margens e restando apenas poças d'água em outros pontos, como ilustrado pela Figura 15.

Figura 15 – Pontos secos devido à estiagem



Fonte: Autora (2021).

De maneira geral, as condições de baixa pluviometria e redução do volume de água da Lagoa da Caiçara tiveram influência sobre os valores e o comportamento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos ao longo da campanha de monitoramento.

4.2 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas para detecção da presença de coliformes totais foram realizadas em quatro das cinco campanhas de coleta; já as de *E. coli* apenas nas três últimas coletas, por inviabilidade técnica nas duas primeiras campanhas. Na Tabela 3 constam os resultados obtidos.

Tabela 3 – Resultados das análises microbiológicas

Ponto de Coleta	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5
P1 (CT)	Presente	-	Presente	Presente	Presente
P1 (<i>E. coli</i>)	-	-	Presente	Presente	Presente
P2 (CT)	Presente	-	Presente	Presente	Presente
P2 (<i>E. coli</i>)	-	-	Presente	Presente	Presente

Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

Na Coleta 1 foi realizada a análise para coliformes totais em amostra simples, tendo os dois pontos de coleta apresentado resultado positivo para a presença de coliformes totais. Na segunda data de coleta, por motivos de viabilidade técnica, não foi possível realizar as análises microbiológicas. Já a partir do terceiro mês de coleta, realizou-se as análises microbiológicas para detecção de CT e de *E. coli*, obtendo-se resultado positivo para presença dos dois grupos de bactérias indicadoras de contaminação fecal em todas as amostras.

Em relação a parâmetros microbiológicos para enquadramento dos corpos d'água, a Resolução Conama nº 357/05 faz referência ao disposto na Resolução Conama nº 274/00, que trata da balneabilidade dos corpos hídricos. Contudo, esta última estipula uma concentração limite de coliformes termotolerantes que são admitidos estarem presentes na água para que os usos a que se destina sejam adequados. Logo, a presença dos coliformes em si não significa que a qualidade das águas da Lagoa da Caiçara esteja em desacordo para os usos atuais.

Entretanto, a falta de chuvas pode contribuir para o aumento da concentração dos coliformes na Lagoa da Caiçara devido a redução do volume de água. Tal situação é similar a constatada ao se avaliar os resultados obtidos por Bortoloti et al. (2018) quando se observa que as águas naturais, situadas na zona urbana do município de Itajubá – MG, apresentaram maiores

concentrações de coliformes totais e *E. coli* no período seco em comparação com os valores do período chuvoso, aumentando os riscos para a população de contrair infecções bacteriológicas pela ingestão ou contato com a água.

Em geral, a presença desses grupos de bactérias está atrelada ao despejo de efluentes domésticos que possuem grande concentração de coliformes totais e fecais. Contudo, enquanto os coliformes totais podem estar presentes nas águas devido a carga orgânica, a *E. coli* é proveniente exclusivamente de origem fecal e indica contaminação fecal recente (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

Ademais, os cemitérios são importantes fontes de origem das bactérias dos grupos coliformes, pois tratam-se de ambientes com constante decomposição de matéria orgânica. Logo, somando-se ao fato de que são construídos, em sua maioria, sem os devidos cuidados de impermeabilização para retenção do necrochorume produzido, possibilita a contaminação de águas superficiais e subterrâneas devido a lixiviação do solo provocada pelas águas das chuvas (ROCHA; SANTOS; SILVA, 2017).

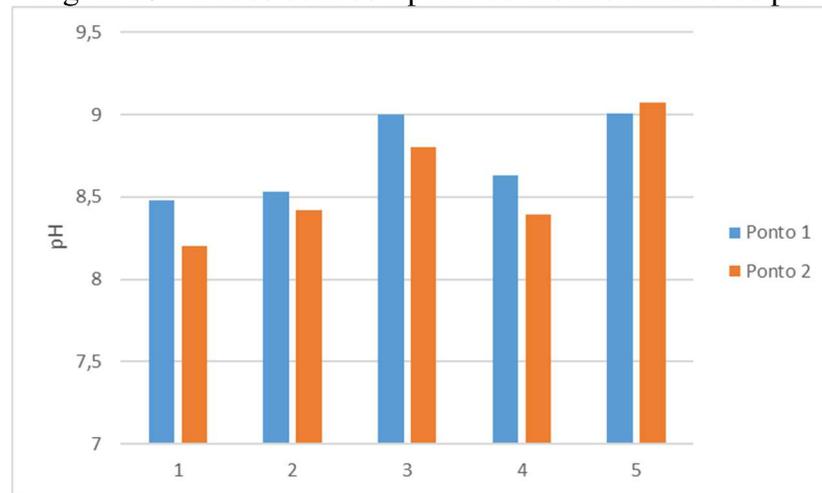
Nessa perspectiva, a presença de CT e *E. coli* detectada nas amostras da Lagoa da Caiçara, considerando sua proximidade ao cemitério municipal, vão de encontro aos resultados obtidos no estudo realizado por Pacheco et al. (1991) em três cemitérios dos municípios de São Paulo e Santos. Nesse estudo, os autores detectaram, entre outros microrganismos, a presença de coliformes totais e fecais no lençol freático.

Assim, a detecção de CT e *E. coli* na Lagoa da Caiçara, aponta um maior risco ao meio ambiente e a saúde pública, com o aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica e piora das condições de qualidade do corpo hídrico, como a ocorrência de eutrofização e liberação de gases fétidos. Vale citar ainda que, no caso da presença de *E. coli*, por ser estritamente originada de seres vivos de sangue quente, indica a existência de fontes de contaminação fecal, pois como as análises foram realizadas no período de estiagem, o carreamento de fezes ou lixiviado pelas águas da chuva se torna quase inexistente.

4.3 pH

Os valores de pH encontrados nos dois pontos de amostragem não apresentaram variação significativa entre si ou ao longo da campanha de análises, sendo o valor mínimo encontrado de 8,20 e o máximo de 9,07, com um valor médio de 8,65. Ressalta-se que nas quatro coletas iniciais o pH no Ponto 1 foi superior, já na última coleta o Ponto 2 apresentou maior valor e os resultados quase se equipararam. A Figura 16 traz os resultados.

Figura 16 – Dados obtidos a partir do monitoramento do pH



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Em relação ao enquadramento, em todas as classes de água doce previstas na Resolução Conama nº 357/05, a faixa aceita é de pH variando entre 6,0 e 9,0, onde apenas na última coleta os valores de pH encontrados nos dois pontos ficaram fora dessa faixa. Valores similares foram encontrados por Lemos, Ferreira Neto e Dias (2010) ao se analisar a qualidade da água da Lagoa do Apodi/RN, situada em uma bacia hidrográfica urbana. Em média os autores encontraram pH próximos a 8 evidenciando as características alcalinas das águas da lagoa.

Nesse sentido, de acordo com Von Sperling (1995), valores de pH distantes da neutralidade tendem a afetar o crescimento dos microrganismos, e no caso de pH's elevados podem resultar da proliferação de algas. Essa relação entre o pH elevado e a presença de algas, vai de encontro as características das águas da Lagoa da Caiçara, que apresentava aspecto esverdeado ainda no início do período de estiagem e que ficou mais acentuado com a diminuição do volume de água, conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17 – Proliferação de algas



Fonte: Autora (2021).

As algas proliferam quando encontram condições favoráveis no meio, entretanto, o excesso de matéria orgânica proveniente despejo de efluentes domésticos, é citado por Marotta, Santos e Enrich-Prast (2008), como fator redutor dos valores de pH na água devido à liberação de gás carbônico.

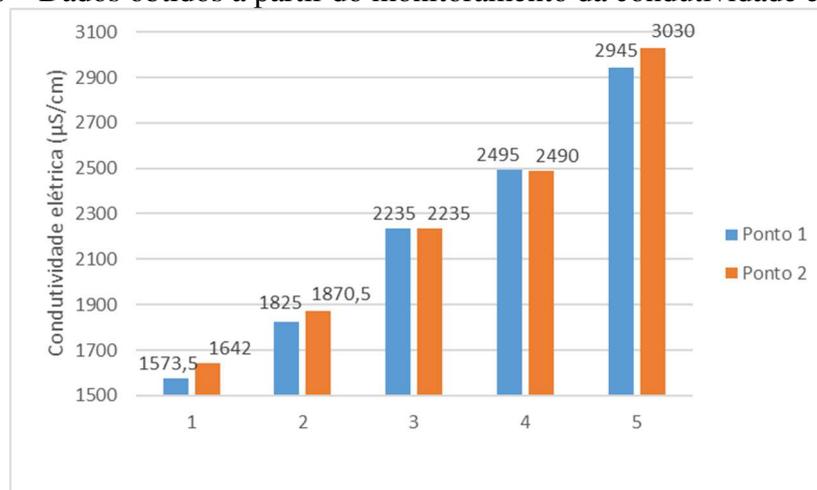
Em relação a vida aquática, há uma grande variação na faixa de pH adequada a cada espécie de peixe. De maneira geral, valores entre 7 e 8 são considerados adequados para peixes de água doce, já valores de pH acima de 10 são considerados letais para a grande maioria dos peixes (CETESB, 2022).

Desse modo, as águas da Lagoa da Caiçara encontram-se dentro da faixa de pH para as águas naturais de Classe 2, entretanto, a proliferação de algas e a tendência de aumento dos valores de pH indicam a possibilidade de condições adversas para a vida aquática. Haja visto que as algas interferem na entrada de radiação solar e podem interferir nos processos de fotossíntese e trocas gasosas com o meio externo, afetando a vida dos peixes.

4.4 Condutividade elétrica

As análises de condutividade elétrica apresentaram valores muito elevados e crescentes ao longo do período, contudo sem haver diferença significativa dos valores entre os dois pontos. Os resultados variaram de 1573,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira coleta a 3030 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na última, estando ilustrados na Figura 18.

Figura 18 – Dados obtidos a partir do monitoramento da condutividade elétrica



Fonte: elaborado pela autora (2021).

A condutividade elétrica não é utilizada como parâmetro de qualidade para enquadramento dos corpos d'água (BRASIL, 2005). Em geral, como citado anteriormente, valores acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ já indicam corpos d'água poluídos, logo os valores encontrados indicam um alto nível de alteração da qualidade da água (CETESB, 2021). Tais valores se comparados aos encontrados por Alves et al. (2020) em lagoas urbanas sob ação antrópica, que variam 46,27 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, demonstram como esses resultados estão elevados.

Contudo, não se pode afirmar a procedência desses sais, pois a condutividade elétrica está relacionada com a presença de íons dissolvidos na água e esses podem ter origem natural, como o carreamento de sais dissolvidos do solo, ou antrópica (NETO et al., 2017).

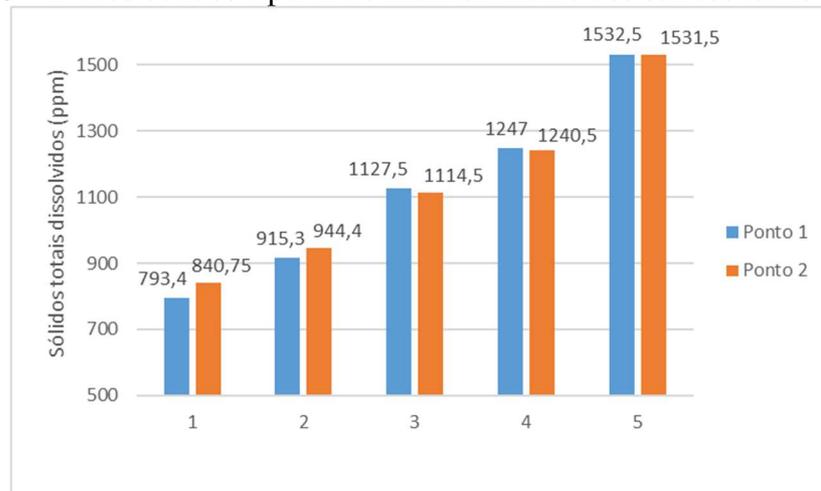
Vale citar que para águas naturais, de acordo com Bittencourt e Hindi (2000), os valores de condutividade elétrica devem estar compreendidos entre 50 e 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As águas da Lagoa da Caiçara ultrapassaram este valor de CE desde a primeira coleta e se afastaram dessa normalidade ao longo das coletas. Ademais, Lemos, Ferreira Neto e Dias (2010) relatam que a falta de precipitação somada a altas taxas de evaporação levam a uma maior concentração de sais dissolvidos na água e, conseqüentemente, ao aumento da condutividade elétrica.

Desse modo, pode-se inferir que a CE monitorada indica que as águas da Lagoa da Caiçara encontravam-se poluídas mesmo antes do início do período de estiagem. Assim, a diminuição do volume de água ao longo dos meses, aumentou a concentração dos sais dissolvidos na água, mas não pode ser apontada como fator determinante para os altos valores encontrados.

4.5 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos influenciam nos valores de CE da água, assim os resultados de STD apresentaram comportamento similar aos de CE já comentados, com aumento dos valores ao longo da campanha de análises, como pode-se observar na Figura 19.

Figura 19 – Dados obtidos a partir do monitoramento dos sólidos totais dissolvidos



Fonte: elaborado pela autora (2021).

De maneira geral, não houve diferença significativa entre os valores encontrados nos dois pontos analisados. Contudo, os valores de STD estão todos acima de 500 mg/L, valor máximo para enquadramento na Classe 2 e demais classes de enquadramento de águas doces previstas (BRASIL, 2005). Em contrapartida, o padrão de potabilidade é de até 1000 mg/L de sólidos totais dissolvidos (BRASIL, 2017).

Os valores de STD podem ter origem natural ou antrópica, sendo esta última relacionada ao lançamento de efluentes domésticos no corpo hídrico (ALMEIDA, 2013). Logo, de acordo com Marimuthu et al. (2013), os valores de STD são utilizados como parâmetro do controle de poluição em corpos d'água naturais, que recebem efluentes de esgotos sanitários e industriais, para verificação da eficiência das estações de tratamento em Tamlinadu na Índia.

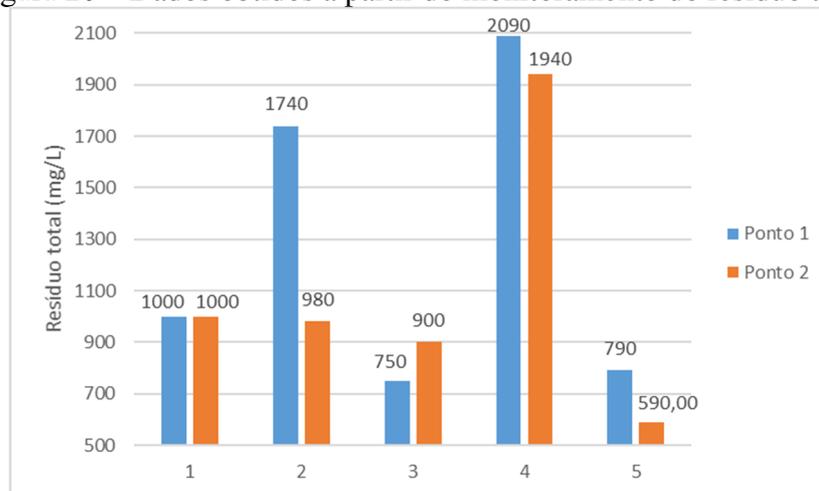
Ademais, Garcia e Longo (2020) citam que as chuvas atuam diluindo os compostos presentes nos corpos d'água, como é o caso do STD, logo à medida que se diminuem as precipitações pluviométricas os valores tendem a aumentar. Essa situação foi constatada nos resultados obtidos na Lagoa da Caiçara.

Desse modo, os valores de STD das águas de Lagoa da Caiçara na última coleta chegaram à faixa de 1500 mg/L, mais que o triplo do máximo permitido para a Classe 2. Os resultados de STD encontrados e o padrão de aumento à medida que se adentrava no período de estiagem e havia diminuição do nível da água, indicam que o clima deva ser o fator principal para a piora da qualidade da água. Contudo, no início da campanha de amostragem, as águas já apresentavam valores acima dos aceitáveis, podendo advir da poluição provocada pelas águas pluviais drenadas para o corpo hídrico ou de despejos de efluentes domésticos.

4.6 Resíduo total

De acordo com o disposto na Figura 20, percebe-se que não houve um padrão de crescimento ou decréscimo dos valores, sendo o valor mínimo encontrado de 590 mg/L na Coleta 5 e o valor máximo de 2090 mg/L na Coleta 4. Os resultados de resíduo total apresentaram grande variabilidade entre coletas e também entre pontos, em especial na Coleta 2, onde o valor de resíduo total do Ponto 1 foi muito superior ao do Ponto 2.

Figura 20 – Dados obtidos a partir do monitoramento do resíduo total



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Os valores de resíduo total não são utilizados para enquadramento dos corpos d'água, contudo a Resolução Conama nº 357/05 aponta que resíduos sólidos objetáveis devem ser virtualmente ausentes e que também não devem estar presentes espumas não naturais. O resíduo total também está relacionado com os valores de CE, consistindo na soma de todas as parcelas minerais presentes na água (DECKER et al., 2018).

Contudo, as oscilações de valores de resíduo total não condizem com o padrão de aumento dos valores de CE ao longo das coletas. Esse comportamento dos resultados foi influenciado pelo momento da coleta, tendo em vista o baixo nível d'água da Lagoa da Caiçara.

De maneira geral, os valores encontrados de resíduo total na Lagoa da Caiçara foram elevados, sendo os da Coleta 4 os mais significativos. Ademais, durante a campanha de coletas foram observadas espumas nas margens, como ilustra a Figura 21.

Figura 21 – Espumas nas margens na Coleta 3 à esquerda e Coleta 5 à direita



Fonte: Autora (2021).

As espumas surgem do despejo de detergentes nas águas naturais. Os efluentes mais comuns que levam a formação de espumas são os esgotos sanitários que possuem de 3 a 6 mg/L de detergentes e os efluentes industriais que podem apresentar até 2000 mg/L de detergentes (PIVELI, 2005). Em síntese, segundo Mello e Menegon Junior (2009), além do efeito estético e do transporte de material oleoso e micro-organismos, os detergentes podem exercer efeitos tóxicos sobre os ecossistemas aquáticos.

A Lagoa da Caiçara não está localizada próxima a zonas de atividade industrial, desse modo, a espuma identificada em suas margens, devem ser provenientes do despejo de efluentes domésticos ou ainda de origem natural.

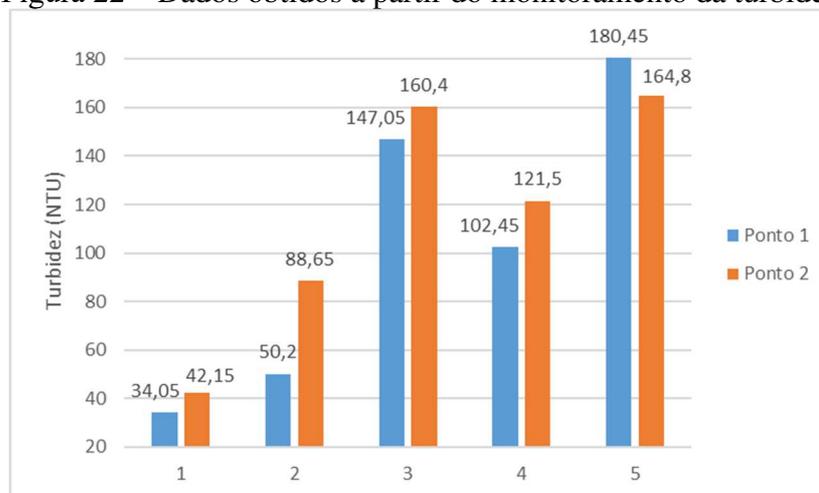
Os altos valores de resíduo total, segundo Carvalho (1994), podem com o tempo levar ao assoreamento em um corpo hídrico, condição que provoca deterioração da qualidade da água e afeta a fauna e a flora. Nessa perspectiva, a vegetação das margens tem papel fundamental para diminuir o aporte de sólidos, pois como citado por Garcia e Longo (2020), o escoamento superficial promove o arraste de matéria orgânica, partículas de solo e resíduos sólidos para o interior dos corpos hídricos.

Logo, o monitoramento de resíduo total indica que a Lagoa da Caiçara por não apresentar suas margens resguardadas por uma APP pode passar por problemas de assoreamento. Ademais, em caso de assoreamento, por tratar-se de um corpo hídrico raso e que apresenta grande perda de volume d'água no período de estiagem, pode ter as condições de qualidade da água ainda mais degradadas. Por fim, a presença de espuma afeta o valor estético das águas da Lagoa da Caiçara.

4.7 Turbidez

A Figura 22 ilustra os resultados encontrados para os pontos de coleta nos intervalos analisados. Através dos dados, infere-se que a turbidez apresentou aumento significativo no decorrer do período de coleta, havendo em quatro delas valores superiores de turbidez no Ponto 2. Sendo observado, que a tendência de aumento deste fator não ocorreu na Coleta 4, visto que embora tenha apresentado valores significativos, ainda ficaram abaixo dos das coletas 3 e 5.

Figura 22 – Dados obtidos a partir do monitoramento da turbidez



Fonte: elaborado pela autora (2021).

De acordo com os valores encontrados, apenas os das duas primeiras coletas estão condizentes com os previstos na Classe 2 e nas demais classes menos exigentes que é de até 100 UNT (BRASIL, 2005). Contudo, de acordo com UFPA (2015), as águas naturais possuem turbidez variando entre a faixa de 3 e 500 UNT, logo durante todas as coletas os valores ficaram dentro dessa faixa.

Em geral, águas que possuem materiais sólidos suspensos e matéria orgânica e inorgânica em pequenas partículas, como também microrganismos e algas tendem a apresentar turbidez (DECKER et al., 2018). Essa turbidez pode ser de origem natural, pois de acordo com Tucci (1997), as águas pluviais possuem qualidade inferior à de um efluente de tratamento secundário, apresentando uma quantidade de material suspenso maior do que a de esgoto *in natura*. Em geral, se de origem natural, a turbidez não traz problemas sanitários.

Entretanto, quando proveniente do despejo de efluentes domésticos pode estar associada a organismos patogênicos (VON SPERLING, 1995). Vale citar ainda que altos valores de turbidez estão relacionados com a diminuição da capacidade de produção de fotossíntese no meio aquático e das espécies de peixes menos resistentes (ALMEIDA, 2013).

As águas da Lagoa da Caiçara apresentaram aspecto esverdeado, algo que se acentuou ao longo das coletas, como ilustra a Figura 23 a seguir.

Figura 23 – Amostras da Coleta 4 à esquerda e Coleta 5 à direita



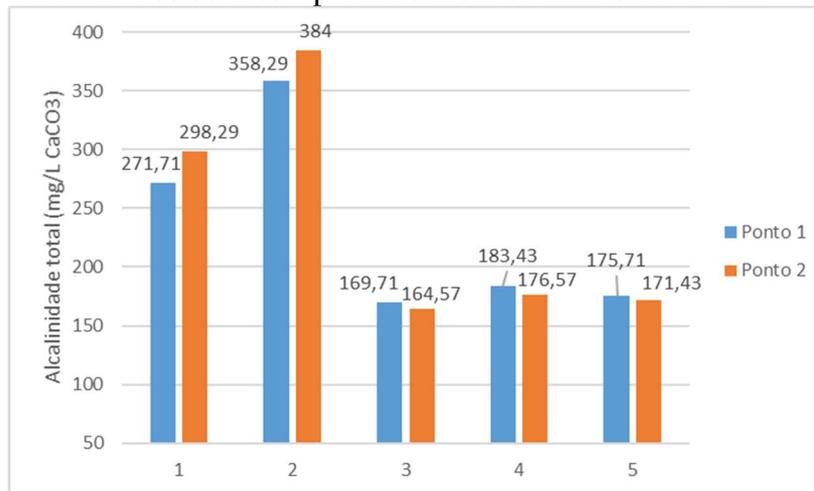
Fonte: Autora (2021).

O aumento dos valores de turbidez, constatado ao longo das campanhas, pode ser originado pela redução do volume de água causado pela evaporação. Haja visto que no período não houve ocorrência de precipitações que levassem a um aporte de águas pluviais para dentro do corpo hídrico e não há comprovadamente despejo de efluentes na Lagoa da Caiçara.

4.8 Alcalinidade total

A Figura 24 ilustra a variação dos valores de alcalinidade total encontrados para os pontos analisados. Estes dados, de maneira geral, demonstram que a alcalinidade total apresentou valores altos nas duas primeiras coletas e valores mais baixos e estáveis nas três últimas coletas, contudo não houve diferença expressiva entre as alcalinidades dos dois pontos analisados.

Figura 24 – Dados obtidos a partir do monitoramento da alcalinidade total



Fonte: elaborado pela autora (2021).

A alcalinidade total não é utilizada como parâmetro para enquadramento dos corpos hídricos (BRASIL, 2005). Contudo, pode-se traçar uma relação da alcalinidade total com a faixa de pH encontrada nas análises, como o pH varia de 8,2 a 9,07, as alcalinidades são geradas principalmente devido a carbonatos e bicarbonatos.

Pela Figura 24, têm-se que os valores de alcalinidade variaram de 164,57 mg/ L de CaCO₃ à 384 mg/ L de CaCO₃. Os dados referentes ao mês de setembro, apresentaram valores mais elevados se comparado, principalmente aos meses subsequentes analisados, que se mantiveram estáveis em um patamar mais baixo. Logo, não estão condizentes com o padrão apresentado durante o monitoramento.

De acordo com Moraes (2008), as águas naturais que apresentam alcalinidade entre 30 e 500 mg/L de CaCO₃ apontam que os processos de decomposição da matéria orgânica e a taxa de respiração dos microrganismos estão dentro da normalidade. Logo, os valores encontrados para alcalinidade total, apesar de elevados, não significam que o funcionamento dos processos biológicos na Lagoa da Caiçara está sendo prejudicados.

De maneira geral, os valores de alcalinidade encontrados na Lagoa da Caiçara, apresentaram comportamento semelhante aos encontrados por Sampaio (2007) para o mesmo período avaliado neste estudo, na Lagoa da Parangaba em Fortaleza – CE. Contudo, o autor encontrou valores mais baixos e com menor amplitude que variaram de 120 a 159 mg/L de CaCO₃.

Ademais, ao se relacionar os valores de pH e alcalinidade total, Sampaio (2007), relata aumento gradativo do pH das amostras concomitantemente com o aumento da alcalinidade total. Contudo, essa relação não foi identificada nas águas da Lagoa da Caiçara,

pois os valores mais elevados de pH correspondem as coletas com os menores valores de alcalinidade total.

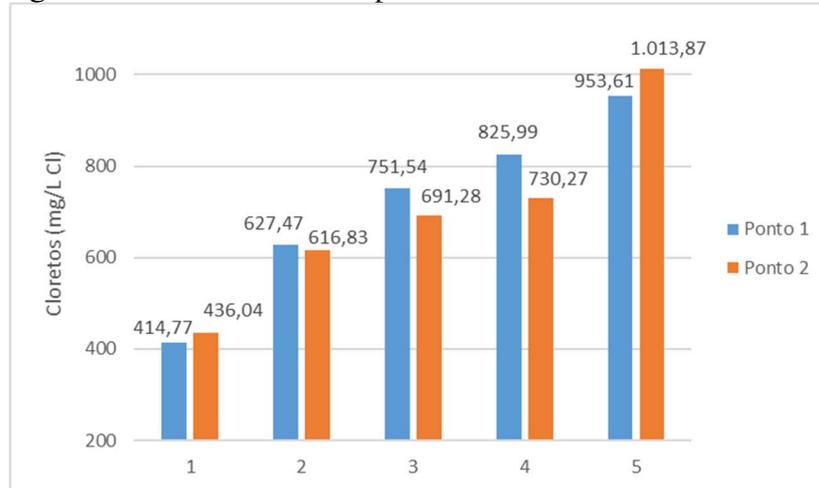
Vale citar ainda que a alcalinidade está diretamente relacionada ao grau de decomposição de matéria orgânica e a consequente liberação de CO_2 . Assim, quando os valores estão acima dos indicados, caracterizam um elevado processo de decomposição que interfere no oxigênio dissolvido no meio e, por conseguinte, provoca um desequilíbrio no ambiente e nas diversas formas de vida que nele vivem (BAIRD, 2002).

Em síntese, os resultados de alcalinidade total evidenciam que as águas da Lagoa da Caiçara, por estarem dentro da faixa para as águas naturais, não oferece riscos ao funcionamento dos processos biológicos.

4.9 Cloretos

As análises de cloretos apresentaram resultados crescentes ao longo da campanha de coleta, variando de 414,77 mg/L Cl^- a 1013,87 mg/L Cl^- , estando os dados dispostos na Figura 25.

Figura 25 – Dados obtidos a partir do monitoramento de cloretos



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Os cloretos são limitados em água doces a um valor máximo de cloreto total de 250 mg/L de Cl em todas as classes de enquadramento (BRASIL, 2005). Logo, desde a Coleta 1, os valores já se encontravam acima do permitido. Ademais, os valores de cloretos podem estar atrelados a CE da água, havendo os dois parâmetros apresentado comportamento similar de aumento ao longo das coletas (UFPA, 2015). Valendo citar que concentrações de cloretos como

as encontradas nas amostras analisadas, conferem sabor salgado à água ou ainda propriedades laxativas (BRASIL, 2014).

A alta concentração de cloretos, segundo Paiva e Sousa (2010), em geral, está atrelada ao lançamento de esgotos domésticos no corpo hídrico. No mais, as concentrações variáveis de cloretos na maioria das águas naturais superficiais são normais, visto que sua origem, de acordo com Libânio (2005), também pode se dá pela dissolução de sais.

Assim como neste estudo, Lemos, Ferreira Neto e Dias (2010) encontraram uma alta predominância deste íon na Lagoa do Apodi - RN, tendo a concentração de cloretos aumentado no período mais seco. Os autores justificam este efeito de concentração em decorrência da elevada evaporação da água.

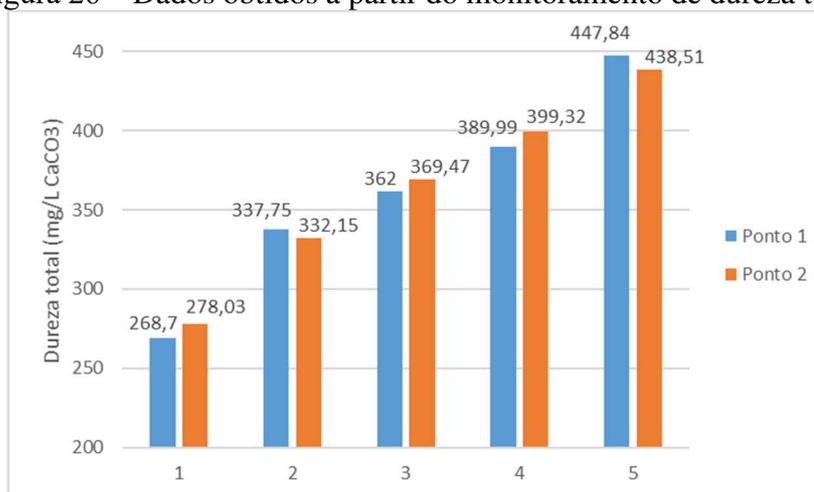
No que se refere a interferência com a biota aquática, os cloretos são importantes na produtividade global dos ecossistemas aquáticos, sendo fundamental nos processos fisiológicos como a troca e/o transporte de outros íons para os meios intracelular e extracelular (PIRATOBA et al., 2017).

Portanto, os valores de cloretos encontrados na Lagoa da Caiçara, são indícios de que haja despejos de efluentes domésticos, mas deve-se levar também em consideração a acentuada diminuição do volume d'água para o aumento da concentração ao longo dos meses. Além disso, a biota aquática acaba sendo prejudicada por essa alta concentração, além das dificuldades já enfrentadas devido à estiagem.

4.10 Dureza total

O gráfico ilustrado na Figura 26 dispõe dos dados de dureza total obtidos para os dois pontos de coleta no intervalo de agosto a dezembro de 2021. Os valores observados apresentaram aumento ao longo das coletas, variando de 268,7 mg/L de CaCO₃ a 447,84 mg/L de CaCO₃, contudo sem haver diferença significativa dos valores entre os pontos analisados.

Figura 26 – Dados obtidos a partir do monitoramento de dureza total



Fonte: elaborado pela autora (2021).

A dureza total não consta como parâmetro para enquadramento dos corpos d'água previstos na Resolução Conama nº 357/05. Contudo, em termos de potabilidade, valores de até 500 mg/L de CaCO₃ são admissíveis, assim todos os valores estão dentro da faixa permitida (BRASIL, 2017).

Há ainda na literatura uma classificação com respeito a dureza das águas, consistindo em água mole (dureza < 50 mg/l CaCO₃), água com dureza moderada (dureza entre 50 e 150 mg/l CaCO₃), água dura (dureza entre 150 e 300 mg/l CaCO₃) e água muito dura (dureza > 300 mg/l CaCO₃) (FUNASA, 2014). De acordo com essa classificação, os valores encontrados na Coleta 1 se enquadram como de águas duras, já na Coleta 2 até a Coleta 5 as águas se enquadram como muito duras.

Ao realizar a caracterização de parâmetros da qualidade da água na área portuária de Barcarena - PA, Piratoba et al. (2017), observaram um aumento nos valores de dureza para o período menos chuvoso em comparação ao intervalo com maiores precipitações pluviométricas. Esse comportamento dos resultados é similar aos encontrados na Lagoa da Caiçara, com o aumento dos valores de dureza total à medida que se adentrava no período de estiagem e havia a diminuição do volume de água.

Vale ressaltar, conforme Alves (2018), que embora as amostras não tenham ultrapassado o valor limite permitido de potabilidade, uma água muito dura pode implicar em uma menor qualidade. Por fim, pode-se salientar que a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água, assim águas mais duras apresentam redução na toxicidade de alguns metais como cobre, zinco, chumbo e etc (USEPA, 2015).

Logo, os resultados de dureza total apontam que as águas da Lagoa da Caiçara variaram de duras a muito duras, mas permaneceram dentro do limite de potabilidade, apesar

do aumento contínuo ao longo dos meses. Ademais, a capacidade de redução de toxicidade das águas duras ajuda a diminuir os riscos à saúde das pessoas que adentram a lagoa e/ou consomem seus peixes.

4.11 Lagoa da Caiçara: enquadramento e usos

De posse dos resultados e análises dos parâmetros pode-se então avaliar a adequabilidade da qualidade das águas da Lagoa da Caiçara aos usos praticados. De acordo com os valores de pH, STD, turbidez e cloretos, a Lagoa da Caiçara não se enquadra na Classe 2 de águas doces, utilizada como classe de referência devido à falta de enquadramento anterior. Além disso, enquanto os parâmetros de alcalinidade total e turbidez estiveram dentro da normalidade para águas naturais, os demais parâmetros analisados indicaram um ambiente poluído ou com qualidade da água degradada.

Desse modo, em relação aos usos praticados, o menos adequado pode ser o consumo dos peixes e a própria prática da pesca, pois é recorrente que os pescadores adentrem as águas da Lagoa, principalmente no período mais seco. Já com relação aos usos como harmonia paisagística e navegação estes também ficaram impossibilitados devido à redução drástica do nível d'água, estando isso atrelado ao período de estiagem.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

A Lagoa da Caiçara por se tratar de um corpo hídrico situado na área urbana do município de Russas-CE tem grande relevância para o lazer da população, sendo evidenciado pela prática de exercícios físicos em suas margens, e atividades econômicas tais como a pesca. Ademais, compõe um ambiente natural que contribui para a melhora do microclima da cidade, servindo também como receptor da drenagem urbana.

As análises microbiológicas apontaram que há um processo de contaminação fecal recorrente na Lagoa da Caiçara, pois foi detectada a presença de coliformes totais e *E. coli* em todas as coletas. Em relação ao parâmetro de condutividade elétrica os altos valores são indicativos de um ambiente poluído. Já os parâmetros de alcalinidade total, dureza total e resíduo total não são parâmetros de muita relevância como indicação de alteração do meio aquático, mas em geral estiveram dentro da normalidade para o corpo hídrico.

Valendo pontuar que muitos dos parâmetros apresentaram piora ao longo da campanha de coleta, ou seja, à medida que se adentrava no período de estiagem. Logo, o fator climático teve grande relevância sobre os valores encontrados.

Desse modo, as águas da Lagoa da Caiçara encontram-se com a qualidade degradada, não sendo seguro o consumo de pescado ou a entrada no corpo hídrico devido à possibilidade de contração de doenças, haja visto os indícios de contaminação por despejos de efluentes domésticos e também por carreamento de compostos potencialmente patogênicos advindos do cemitério.

Nesse sentido, recomenda-se a adoção de algumas medidas para mitigar a contaminação, como: plantio de vegetação nas margens da lagoa, uso de mantas absorventes nas urnas funerárias que impede que o necrochorume atinja o solo, limpeza regular das áreas do entorno e maior efetividade na fiscalização contra canalizações ilegais de efluentes.

Assim, o trabalho contribui para o entendimento da qualidade das águas da Lagoa do Caiçara e dos riscos advindos dos usos praticados pela população, bem como um ponto de partida para análises futuras com maior aprofundamento e em outras vertentes.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

- Acompanhar a influência da sazonalidade anual sobre os parâmetros de qualidade da água;
- Avaliar os impactos do carreamento de poluentes provenientes do cemitério sobre a qualidade do pescado;
- Obter correlações da contaminação com os parâmetros de carga orgânica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2020**. Brasília, DF, 2020a. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília, DF, 2020b. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarteenquadramento-conjuntura_2019.pdf. Acesso em: 12 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Unidade 2: bases conceituais para monitoramento de águas continentais. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios**. 2013a. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2227/2/Unidade_2.pdf. Acesso em: 25 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Unidade 3: variáveis e parâmetros de qualidade de água em rios e reservatórios. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios**. 2013b. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2227/3/Unidade_3.pdf. Acesso em: 25 dez. 2021.

ALMEIDA, Claudiméia do Rosário. **Dilemas sócio-ambientais no espaço urbano: os casos das lagoas do vigário, dos prazeres e do sapo em Campos dos Goytacazes (RJ)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Políticas Sociais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2009.

ALMEIDA, Jaqueline Colvara de. **Avaliação do índice de qualidade da água na Lagoa dos Patos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

ALVES, L. S. *et al.* Parâmetros de qualidade e distribuição de espécies de carbono inorgânico em águas naturais de lagoas urbanas em Salvador-BA. **Revista GEAMA**, Recife, v. 6, n. 3, p. 32-39, 2020. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3150>. Acesso em: 05 jan. 2022.

ANELLI, R. L. S. Uma nova cidade para as águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 29, n. 84, p. 69-84, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/104945>. Acesso em: 22 dez. 2021.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23 ed. Washington, DC: ALPHA, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10664: Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico.** Rio de Janeiro: ABNT, 1989. BAIRD, Colin. **Química Ambiental.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARBOZA, E. N. *et al.* Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica na cidade de Fortaleza (CE), Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 14, n. 1, p. 105-113, jan./mar. 2020.

BITTENCOURT, A.V.L.; HINDI, E.C. **Tópicos de hidroquímica.** In: III Curso Sudamericano Sobre Evolución Y Vulnerabilidad De Acuíferos, Asunción, Itaipu binacional, OEA, 2000.

BORTOLOTTI, K.C.S. *et al.* Qualidade microbiológica de águas naturais quanto ao perfil de resistência de bactérias heterotróficas a antimicrobianos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 717-725, jul./ago. 2018.

BRAGA, B.; FLECHA, R.; PENA, D. S.; KELMAN, J. A reforma institucional do setor de recursos hídricos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 639-674. Disponível em: https://www.kelman.com.br/pdf/a-rsrecursos_hidricos.pdf. Acesso em: 09 dez. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [...]. Brasília, DF, 8 de jan. de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 29 nov. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Brasília, DF, 25 de mai. de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 03 dez. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Anexo XX da portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017.** Brasília, DF, 28 set. 2017. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 28 dez. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). **Mapas interativos.** Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=ef7d29c2ac754e9890d7cdb78cbaf2c>. Acesso: 04 nov. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento 2020.** Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento> Acesso em: 19 dez. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água

e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 29 nov. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**: nº 18, de 25 de janeiro de 2001, Seção 1, páginas 70-71. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Resolu%C3%A7%C3%A3o_Conama_274_Balneabilidade.pdf. Acesso em: 29 nov. 2021.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, p. 111-166, 1994.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **A questão da água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE, 2012.

CIRILO, José Almir. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10293>. Acesso em: 3 jan. 2022.

COELHO, D. A. *et al.* Análise da alcalinidade total e concentração de carbono inorgânico em trechos urbanos de rios: o exemplo do Rio Santa Rita, região sudoeste da Bahia. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 6., 2015, Porto Alegre. **Anais [...]**. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/congresso6.htm>. Acesso em: 06 jan. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). Apêndice C: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. *In*: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2020**. São Paulo: CETESB, 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). Fundamentos do controle de poluição das águas. *In*: ESCOLA SUPERIOR DA CETESB (São Paulo). **Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais**. São Paulo: CETESB, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). **Mortandade de peixes**. Site. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-equimicas/ph/#:~:text=Com%20o%20aumento%20do%20pH,tende%20a%20ser%20altamente%20t%C3%B3xica>. Acesso em: 03 fev. 2022.

DECKER, A. *et al.* Análise ambiental e qualidade da água da lagoa dos patos nas proximidades de uma tradicional comunidade de pescadores. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 105-123, abr./jun. 2018.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (Ceará). **Índice de Aridez do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2017. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=5826. Acesso em: 11 jan. 2022.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (Ceará). **Postos pluviométricos do estado do Ceará e seus respectivos dados pluviométricos**. Fortaleza, 2022. Disponível em: http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/DownloadChuvasPublico.php. Acesso em: 16 fev. 2022.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. 1. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). **Manual Prático de Análise de Água**. 4. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2013.

GARCIA, Joice Machado; LONGO, Regina Márcia. Análise de impactos ambientais em área de preservação permanente (app) como instrumento de gestão em rios urbanos. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 18, n. 1, p. 107-128, jan./jun. 2020.

GOOGLE. **Google Earth website**. Versão 9.152.0.1. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 04 nov. 2021.

LEMOS, R. S. *et al.* Qualidade da água da lagoa do parque poliesportivo de Itapetinga, BA. *In: Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia Ambiental*, 14.; Fórum Latino de Engenharia e Sustentabilidade, 2., 2016, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, 2016.

LEMOS, Marcírio de; FERREIRA NETO, Miguel; DIAS, Nildo da S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 155-164, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2005.

MARIMUTHU, T.; RAJENDRAN, S.; MANIVANNAN, M. An analysis of efficiency and water quality parameters of dye effluent treatment plant, Karur, Tamilnadu, India. **Journal of Environmental Science**, Computer Science and Engineering & Technology, v. 2, n. 3, p. 567-571, 2013.

MAROTTA, Humberto; SANTOS, Roselaine Oliveira dos; ENRICH-PRAST, Alex. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Revista Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79, jan./jun. 2008.

MELLO, Gabriela Sá Leitão de. MENEGON JÚNIOR, Nelson. Problema da presença de espumas no médio tietê superior. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25., 2009, Recife. **Anais [...]**.

MORAES, P. B. **Tratamento Biológico e Físico-Químico de Efluentes Líquidos**. 2008.

NETO, J. C. *et al.* Qualidade da água da Lagoa do Josino, em Formiga (MG). **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 2, jun. 2017.

PACHECO, A *et al.* Cemeteries - A Potencial Risk to Groundwater. **Water Science Technology**, v. 24, n. 11, p. 97-104, 1991.

PAIVA, L. C.; SOUZA, A. O. Avaliação de alguns parâmetros físico-químicos da água do rio Riachão no município de Caatiba – BA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, 2010.

PEREIRA, Guilherme Reis; CUELLAR, Miguel Dragomir Zanic. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 29, n. 84, p. 115-137, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/104951>. Acesso em: 3 jan. 2022.

PIRATOBA, A. R. A. *et al.* Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 3, maio/jun. 2017

PIVELI, Roque Passos. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. [2005?]. [Documento de apoio a disciplina Saneamento Ambiental, lecionada na Escola Politécnica da USP]. Disponível em: http://www.pha.poli.usp.br/default.aspx?id=36&link_uc=disciplina. Acesso em: 28 dez. 2021.

ROCHA, Célio Martins da; SANTOS, Elayne Cristina Pereira dos; SILVA, Claudionor de Oliveira. Espaço Urbano e Recursos Hídricos: Uma Análise dos Impactos Ambientais Causados pelo Cemitério Campo Santo José Augusto na Cidade de Ibatiguara/AL. **Revista Geografia, Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, v. 21, n.2, p. 174-187, 2017.

RUSSAS. **Mapa Cartografia Urbana**. Russas, CE, 2019. Disponível em: <https://russas.ce.gov.br/downloads/>. Acesso em: 04 nov. 2021.

SAMPAIO, F. I. S. **Diagnóstico sócio-ambiental e da qualidade de água de um ecossistema lacustre urbano de Fortaleza-CE: Lagoa de Parangaba**. 2007. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental Urbana) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Fortaleza - CE, 2007.

SOUZA, Frank Pavan de; AZEVEDO, José Paulo Soares. Panorama das lagoas urbanas no Rio de Janeiro: aspectos relevantes na gestão das Lagoas Rodrigo de Freitas, Araruama e Complexo Lagunar de Jacarepaguá. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 197-204, jan./fev. 2020.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Água no meio urbano. *In*: TUCCI, C. E. M. **Água doce**. Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1997.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: CEPAL, 2012.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 17 dez. 2021.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 4, p. 67-75, 2010.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Limnologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Recursos hídricos no século XXI**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. 1. ed. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. Disponível em: <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Secondary maximum contaminant levels: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability**. Estados Unidos, 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: SEGRAC, 1995.