

AVALIAÇÃO DA INTRUSÃO MARINHA NO MANANCIAL SUBTERRÂNEO NA SUB-BACIA DO BAIXO JAGUARIBE NO MUNICÍPIO DE ITAIÇABA – CE

Raimundo Jovenildo do Nascimento⁽¹⁾

Tecnólogo em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (CENTEC). Especialista em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para Gestão Municipal de Recursos Hídricos (IFCE). Mestrando em Climatologia (UECE). Coordenador de Serviços e Expansão da UNBBJ – CAGECE.

Neyla Cristina de Oliveira Lima⁽²⁾

Tecnóloga em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (CENTEC), Licenciada em Ciências Biológicas (UECE) e Bacharel em Psicologia (UNP). Especialista em Sistemas de Águas de Abastecimento e Residuárias (CEFET), Especialista em Gestão Pública (UECE) e Especialista em Neuropsicologia (Católica do RN). Mestranda em Saúde Coletiva (UNIFOR). Coordenadora de Gestão Administrativa da UNBBJ – CAGECE.

José Ronaldo Pessoa⁽³⁾

Tecnólogo em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (CENTEC) e Bacharel em Enfermagem (UNIFAMETRO). Especialista em Educação Comunitária em Saúde Pública (ESP-CE), Especialista em Enfermagem do Trabalho (UNIASELVI) e Especialista em Educação Ambiental (UNIASELVI). Supervisor Administrativo-Financeiro da UNBBJ – CAGECE.

José Alcides da Silva Júnior⁽⁴⁾

Técnico em Meio Ambiente (IFCE). Tecnólogo em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IFCE). Supervisor de Redes de Água e Esgoto da UNBBJ – CAGECE.

Renato Régis de Melo⁽⁵⁾

Tecnólogo em Eletromecânica (CENTEC) e Bacharel em Engenharia Civil (IFCE). Especialista em Saneamento Básico (UNIFOR). Supervisor de Combate a Perdas e Medição da UNBBJ – CAGECE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Carmelita Setúbal, 185 – Bairro Antônio Holanda de Oliveira – Limoeiro do Norte - Ceará - CEP: 62930-000 - Brasil - Tel: +55 (88) 99715-3613 - Fax: +55 (88) 3411-8570 - e-mail: jovenildo.nascimento@cagece.com.br

RESUMO

O presente estudo tem o intuito de avaliar a intrusão marinha através da variação temporal da qualidade de água de uma bateria de 10 (dez) poços tubulares instalados no estuário do Rio Jaguaribe, na microbacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe/Ceará. As coletas de água foram realizadas semestralmente pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará no período de 2016 a 2023. Para análise da presença de intrusão marinha no aquífero foram investigados os indicadores Cloretos (Cl), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Relação Na/Cl e Mg/Cl. Identificou-se um aumento significativo no teor de cloretos em todos os poços monitorados, chegando ao patamar de elevação na ordem de 765% em um dos pontos estudados. Com base nos indicadores utilizados para análise do avanço da cunha salina a possibilidade da ocorrência do fenômeno no aquífero subterrâneo no município de Itaiçaba/Ceará é de 80%, com exceção do indicador do parâmetro de magnésio, os demais indicadores aplicados corroboram para a ocorrência do processo de salinização do manancial por avanço da cunha salina. Desta forma, os órgãos competentes terão a possibilidade de buscarem alternativas para minimizar e/ou retardar o avanço da cunha salina, seja através de obras civis ou por meios de instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Rio Jaguaribe; Intrusão Marinha; Bacia do Baixo Jaguaribe;

INTRODUÇÃO

A água constitui um elemento essencial à vida vegetal e animal. O ser humano não pode prescindir de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender às suas necessidades, para a proteção de sua saúde e para seu o desenvolvimento de uma maneira geral (Brasil, 2015).

A disponibilidade de água potável para atender as demandas das populações está seriamente comprometida devido ao crescimento populacional, maiores demandas de água nos processos produtivos, poluição dos recursos hídricos e alterações climáticas ocorridas desde a Revolução Industrial, acarretando um aumento significativo na queima dos combustíveis fósseis, com uma crescente quantidade de dióxido de carbono lançada na atmosfera, ocasionando mudanças no regime de precipitação em diversas partes do planeta, levando o aumento dos anos de estiagem, com prolongamento de secas na Região Semiárida do Brasil.

Essa região é caracterizada por distribuição irregular da precipitação no tempo, solos rasos, rios intermitentes e escassos recursos hídricos subterrâneos, onde a gestão dos recursos hídricos na região e a implementação de políticas públicas requer medidas de planejamento, visando atender à demanda da população, de forma permanente (INSA, 2012).

Os longos períodos de estiagem ocorridos em grande parte do Nordeste e conseqüentemente a redução da recarga dos aquíferos provocam, inevitavelmente, mudanças na quantidade e qualidade das águas subterrâneas, em especial afetam o equilíbrio entre a água doce e a água salgada marinha presentes nos aquíferos costeiros.

Nessas condições de baixa recarga e alta exploração desses aquíferos, promovem o processo de aceleração do avanço da cunha salina marinha. Essas alterações devem ser consideradas nas políticas e estratégias de planejamento e de gestão da água das regiões afetadas, pois independente da gravidade da estiagem e do período que ele perdure, se não forem tomadas medidas preventivas, teremos o avanço para o continente da intrusão marinha e a subseqüente redução das reservas de água doce subterrânea.

O modelo desenvolvido por Ranjan *et al* (2006) simula a redução de disponibilidade de água doce subterrânea em aquíferos costeiros face às alterações climáticas e ao uso da terra. As análises desenvolvidas evidenciam que os resultados do modelo são muito sensíveis a alterações na condutividade hidráulica e na recarga de aquíferos.

A depleção das águas subterrâneas e a salinização de aquíferos vêm se tornando uma grande preocupação para os gestores dos recursos hídricos em sistemas aquíferos costeiros de regiões tropicais e subtropicais no mundo (CHANDRAJITH *et al.*, 2014) em consequência das consideráveis perdas econômicas por conta da redução da qualidade de água doce subterrânea.

A crescente urbanização nessas regiões aumenta a exigência por água e o subseqüente declínio dos recursos urbanização nessas regiões hídricos subterrâneos. Além disso, uma diminuição significativa na recarga e mudanças bruscas no nível do mar também contribuem para esse problema (CHANDRAJITH *et al.*, 2014; BOUBERBALA, 2015).

No Ceará, especificamente no interior do Estado, as águas subterrâneas são consideradas fontes preciosas de abastecimento hídrico, principalmente em áreas sedimentares e aluvionares localizadas ao longo de rios e/ou nos limites litorâneos, que são as principais fontes de água subterrânea de boa qualidade. Já os poços em áreas cristalinas, captam, geralmente, água salobras com teor em sólidos dissolvidos totais muito acima do permitido para consumo humano (GOMES, 2005).

O Município de Itaiçaba é banhado pelo Rio Jaguaribe, sendo este o maior rio do Estado do Ceará, apesar de não ser uma fonte superficial perene, no entanto até o ano de 2015 o Rio Jaguaribe era a fonte de captação para o abastecimento das sedes municipais dos municípios de Aracati, Itaiçaba e Palhano, do distrito de Cabreiro no Aracati e da Localidade de Tomé Afonso do município de Itaiçaba porém em virtude de um longo período de estiagem a perenização do Rio Jaguaribe pelo Açude Castanhão, tornou-se inviável.

A interrupção na perenização do Rio Jaguaribe culminou na necessidade de outras fontes de captação para o abastecimento das regiões supracitadas, que outrora utilizavam o manancial superficial. Diante dessa situação

surgiu a necessidade de recorrer ao manancial subterrâneo. Para exploração do aquífero aluvionar da área em estudo, com uma demanda que suprisse a vazão necessária para os Sistemas de Abastecimento de Água – SAA de Itaiçaba, Palhano, Tabuleiro do Cabreiro e Tomé Afonso, se fez necessário a perfuração de uma bateria de poços, visando assim manter a continuidade no abastecimento desses sistemas.

Considerando que essa demanda de vazão para o abastecimento humano ser relativamente alta, considerando ainda a exploração do manancial em outras atividades, como carnicultura e irrigação provocando assim uma superexploração do aquífero, aliado a baixas recargas ocorridas nos últimos anos, além da não perenização do Rio Jaguaribe no trecho que banha o município. Nesse contexto, a realização deste estudo visa avaliar a influência da cunha salina no aquífero, elencar as causas que intensificam o processo de salinização das águas subterrâneas na área de estudo por meio de comparação de dados de qualidade da água do aquífero, fato que impacta diretamente na qualidade de vida da população da área de influência do estudo e de municípios adjacentes. Torna-se necessário avaliar e compreender os impactos gerados pela exploração de forma desordenada dos mananciais, sejam eles superficiais e/ou subterrâneos e da necessidade de utilizar instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos para coibir essa superexploração e buscar medidas mitigadoras para redução desse problema.

OBJETIVO

A presente pesquisa busca avaliar o avanço da intrusão marinha no aquífero de água doce na Região do Baixo Jaguaribe, no município de Itaiçaba/Ceará.

METODOLOGIA

Área de Estudo - A área de estudo deste projeto, fica no município de Itaiçaba no Estado do Ceará, situada na Região do Baixo Jaguaribe, distando em torno de 129km de Fortaleza, com uma área de aproximadamente 212,10km². Apresenta clima tropical quente semiárido brando, com pluviosidade média de 675mm/ano. O relevo no município é composto por depressões sertanejas e planícies pluviais. A Região Hidrográfica do Baixo Jaguaribe – RHBJ, integrante da Bacia do Rio Jaguaribe, localiza-se na porção nordeste do Estado do Ceará, entre as latitudes 4°23'53"S - 5°32'44"S e longitudes 37°15'11"W – 38°39'23"W. Limita-se à oeste com as Regiões Hidrográficas Metropolitanas, a sudoeste com a Região Hidrográfica do Banabuiú, ao sul com a do Médio Jaguaribe, a leste com o Estado do Rio Grande do Norte e ao norte com o Oceano Atlântico, ocupando uma área de 7.216,35km².

A referida Região Hidrográfica, tem como rio principal o Rio Jaguaribe no trecho localizado entre a confluência do rio com a ponte da BR-116, na localidade de Peixe Gordo no município de Tabuleiro do Norte e a sua foz no município de Fortim. O principal afluente nessa região, é o rio Palhano, na sua margem esquerda (Fuck Júnior, 2008).

Por sua localização privilegiada, situando-se a margem esquerda do Rio Jaguaribe, o município de Itaiçaba não costumava ter muitos problemas em decorrência da estiagem, principalmente no tocante ao abastecimento humano. No entanto, na última década em virtude da longa estiagem ocorrida, bem como, pelo crescente aumento na demanda da água subterrânea na carnicultura e outras atividades agrícolas, aliado a redução ou cessamento da vazão de perenização do Rio Jaguaribe, culminou na superexploração do manancial subterrâneo, sendo estes os principais fatores para justificar o avanço da intrusão marinha.

Figura 1 - Localização dos poços tubulares monitorados.



Fonte: Imagem extraída do Software Google Earth® em 06. jun. 2021.

Pontos de Coletas - Foram realizadas coletas semestrais no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2023, em 10 poços tubulares instalados na área da Estação de Tratamento de Água e no entorno, operados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE, na cidade de Itaipava/Ceará.

Análise Qualitativa da Água do Aquífero – O estudo foi realizado no manancial subterrâneo, a partir do uso dos dados de monitoramento da qualidade da água bruta do aquífero, realizado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE. Além de informações da qualidade, foram utilizados outros dados técnicos dos poços monitorados, com intuito de identificar profundidade, perfil geológico, entre outros, permitindo assim realizar uma correlação dessas características com a alteração na qualidade da água bruta, focando principalmente em parâmetros que corroboravam com a possibilidade de intrusão salina.

Materiais e métodos – O estudo utilizou como fonte de dados, os laudos de qualidade da água de uma bateria de 10 (dez) poços tubulares, sendo estes explorados como fonte hídrica dos Sistema de Abastecimento de Água de: Itaipava, Palhano, Tabuleiro do Cabreiro (localidade que pertence ao município de Aracati) e Tomé Afonso (localidade que pertence ao município de Itaipava). A demanda necessária para suprir o abastecimento dos quatros sistemas de abastecimento de água é da ordem de 85 a 90m³/h.

A análise da presença de intrusão marinha no aquífero foi investigada através dos seguintes indicadores Cloretos (Cl), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Relação Na/Cl e Mg/Cl, conforme Tabela 2. Os dados de qualidade dos poços tubulares denominados como PT – 01, PT – 02, PT – 03, PT – 04, PT – 05, PT – 06, PT – 07, PT – 08, PT – 09 e PT – 10, permitiu analisar o grau de avanço da cunha salina em cada poço tubular, além do critério qualitativo, outras características do ponto amostrado, como por exemplo a profundidade do poço, a proximidade do Rio, Jaguaribe, a vazão explorada, dentre outras características.

Localização dos poços tubulares e locais de coleta

Tabela 01 – Dados dos poços tubulares e pontos de coletas de água:

PT	Profund. (m)	Construção (Mês/Ano)	Localização (UTM)	Finalidade
PT - 01	80m	11/2009	9.481.950,00 N e 630.839,00 E	Abastecimento do município de Itaiçaba
PT - 02	80m	11/2009	9.482.014,00 N e 630.785,00 E	Abastecimento do município de Itaiçaba
PT - 03	29m	06/2016	9.481.983,00 N e 630.059,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.
PT - 04	28m	06/2016	9.481.956,00 N e 630.059,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.
PT - 05	30m	06/2016	9.481.989,00 N e 630.708,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.
PT - 06	27m	06/2016	9.481.959,00 N e 630.708,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.
PT - 07	27m	06/2016	9.481.997,00 N e 630.753,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.
PT - 08	27m	06/2016	9.481.961,00 N e 630.753,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.
PT - 09	29m	06/2016	9.481.988,00 N e 630.797,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.
PT - 10	27m	06/2016	9.481.959,00 N e 630.798,00 E	Abastecimento dos municípios de Itaiçaba e Palhano, distrito de Tabuleiro do Cabreiro e localidade de Tomé Afonso.

Fonte – Elaboração própria a partir dados extraídos da Companhia de Água e Esgoto do Ceará.

RESULTADOS

A investigação do avanço da cunha salina foi realizada com base nos indicadores Cloretos (Cl), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Relação Na/Cl e Mg/Cl, o que permitirá uma avaliação do grau de intrusão salina que está ocorrendo na área em estudo, pois estes parâmetros são enriquecidos quando há ocorrência de avanço de cunha salina. Essa análise de dados será realizada com base em parâmetros indicadores de contaminação das águas subterrâneas, conforme tabela abaixo:

Tabela 2 - Parâmetros para avaliação de contaminação da água subterrânea.

Indicador	Referência	Significado	Ref. Bibliográfica
Sódio (mg.L ⁻¹)	0,1 - 10	Águas subterrâneas	Custódio e Llamas (1983)
Magnésio (mg.L ⁻¹)	1- 40	Águas subterrâneas	Custódio e Llamas (1983)
Cloretos (mg.L ⁻¹)	<100	Águas subterrâneas	Custódio e Llamas (1983)
Na/Cl	<0,557	Intrusão da água do mar	Shammas e Jacks (2007)
Mg/Cl	0,05 – 0,14	Contaminação por água do mar	Olofsson (1996) e Shammas e Jacks (2007)

Cloretos (Cl⁻)

O cloreto, ânion Cl⁻, é encontrado naturalmente nas águas subterrâneas devido a percolação da água através de solos e rochas. Em geral, efluentes industriais apresentam altos níveis de cloretos, como a indústria de petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes, e etc. A intrusão da cunha salina em áreas costeiras, também, provoca altas concentrações de cloretos. No entanto, apenas apresenta risco ao ser humano em caso de deficiência no metabolismo do cloreto de sódio, que é o caso de insuficiência cardíaca congestiva (CETESB, 2018).

O Anexo XX da Portaria Consolidação de 05/2017 do Ministério da Saúde, que trata do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, define como limite máximo para valores de cloretos 250mg/L.

Sódio (Na⁺)

Um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes na água subterrânea, ocorrendo principalmente na forma de cloretos, sendo o principal causador da salinidade das águas naturais. A concentração de sódio aumenta gradativamente nas águas subterrâneas, a partir da zona de recarga do aquífero em direção as porções mais confinadas ou dos seus exutórios. Sua concentração varia de entre 0,1 e 10mg/L nas águas subterrâneas, entre 1 e 150mg/L em águas doces e alcançando 11.100mg/L nas águas do Oceano Atlântico (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983).

Magnésio (Mg+2)

Responsável pela dureza e sabor salobro nas águas, ocorrendo sob a forma em geral de bicarbonato. A água do Oceano Atlântico possui concentração com valor médio de 1410mg/L, por outro lado as águas subterrâneas possuem valores entre 1 e 40mg/L; a deficiência desta substância causa nervosismo e tremores e seu excesso provoca distúrbios intestinais, sendo maléfico para a saúde humana (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983).

Relação Na/Cl

Segundo Shammass e Jacks (2007), a relação Na/Cl pode indicar intrusão salina e descarga de água doce, sendo que valores abaixo de 0,557 indicam a primeira e aqueles acima de 0,604, a segunda. Observa-se que a relação entre Na/Cl há uma distribuição de poços nas duas faixas de valores. No entanto, as análises realizadas no ano de 2015 apresentaram aproximadamente 91% dos poços na faixa abaixo de 0,557, sendo indicado com intrusão salina. Além disso, percebe-se que mesmo os poços que possuem valor inferior a 100mg.L-1 de Cl, valor considerado por Custódio e Llamas(1983) como padrão para águas subterrâneas doces, são classificados com intrusão salina por Shammass e Jacks (2007).

Relação Mg/Cl

Quando a relação Mg/Cl é próxima ou igual a 0,14, significa que há uma mistura de descarga de água doce e intrusão de água do mar (SHAMMAS & JACKS, 2007), e valores acima de 0,05 significam que há contaminação por água do mar (OLOFSSON, 1996).

A probabilidade de ocorrência de intrusão marinha será de acordo com a quantidade de indicadores atingidos, será considerado 100% quando todos os indicadores forem atingidos no ponto monitorado, ou seja, a probabilidade de ocorrência no ponto amostrado será conforme o atendimento no número de indicadores alcançados, conforme determinado na Tabela 2.

A seguir apresentaremos os resultados dos indicadores encontrados em todos os poços tubulares:

EVOLUÇÃO NO TEOR DE CLORETOS NO PT-01

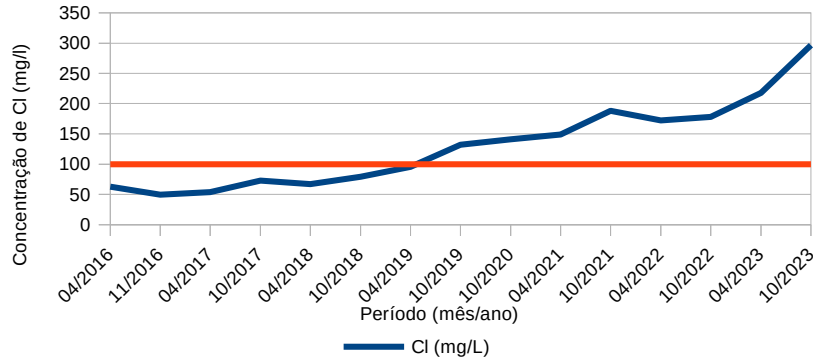
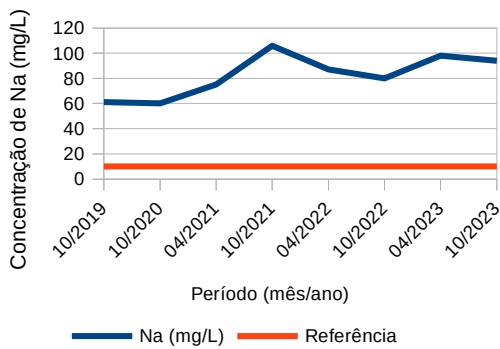


Gráfico 1- Evolução do Cloreto PT-01

EVOLUÇÃO DO TEOR DE SÓDIO NO PT-01



EVOLUÇÃO DO TEOR DE MAGNÉSIO NO PT 01

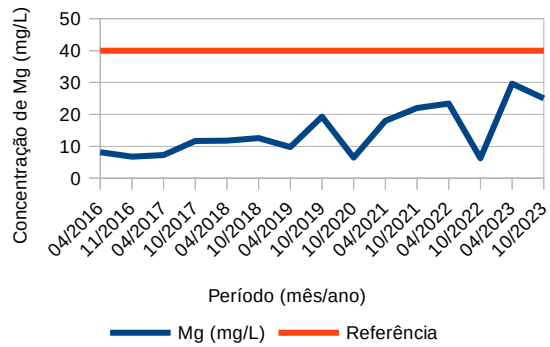
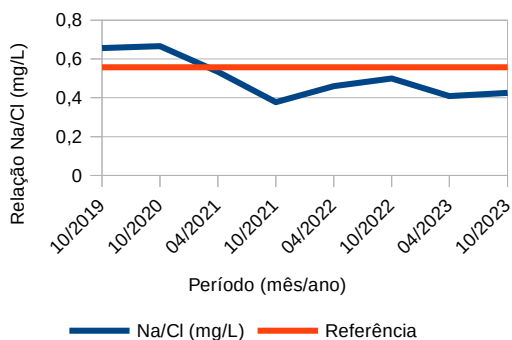


Gráfico 2 - Evolução do Sódio PT-01

Gráfico 3 - Evolução do Magnésio PT-01

RELAÇÃO DE SÓDIO E CLORETOS NO PT 01



RELAÇÃO MAGNÉSIO E CLORETOS NO PT 01

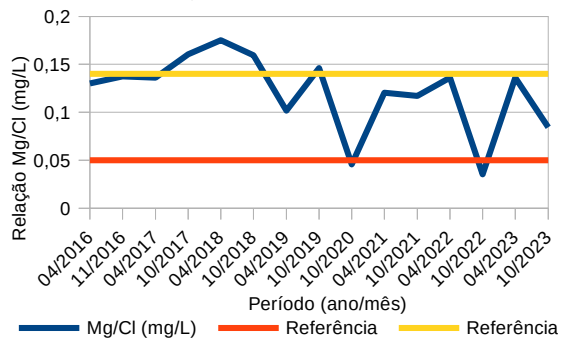


Gráfico 4 – Relação Sódio/Cloretos PT-01

Gráfico 5 – Relação Magnésio/Cloretos PT-01

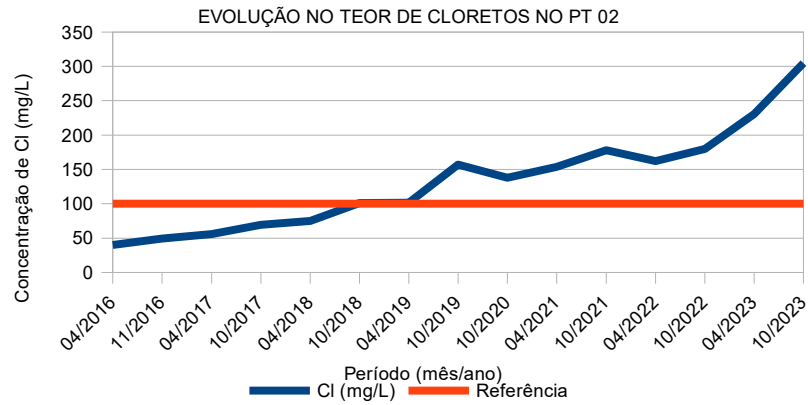


Gráfico 6- Evolução do Cloreto PT-02

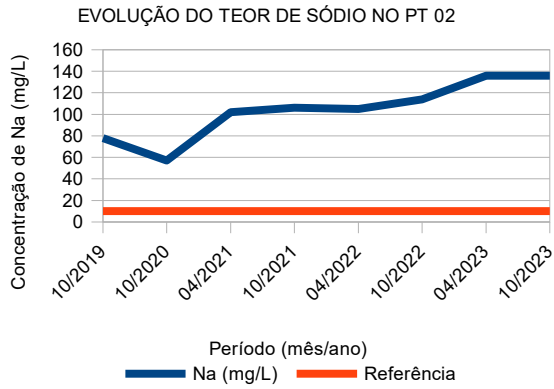


Gráfico 7 - Evolução do Sódio PT-02

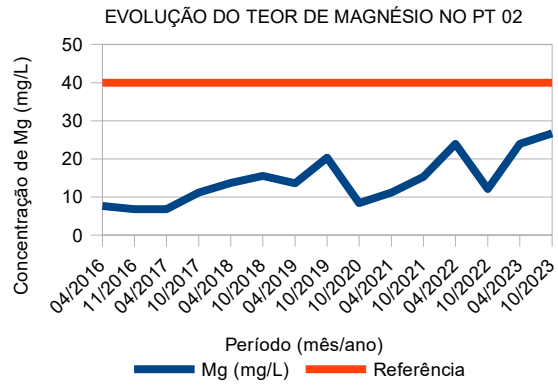


Gráfico 8 - Evolução do Magnésio PT-02

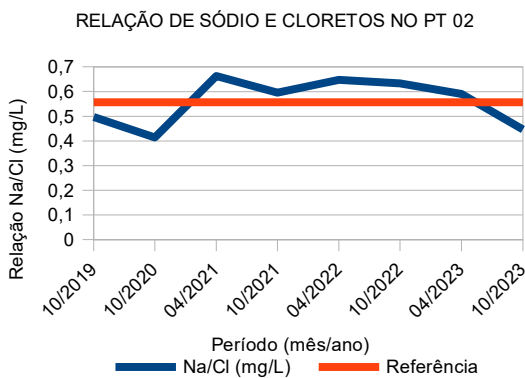


Gráfico 9 – Relação Sódio/Cloretos PT-02

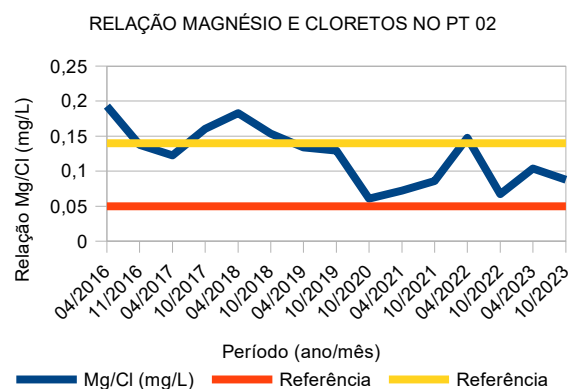


Gráfico 10 – Relação Magnésio/Cloretos PT-02

EVOLUÇÃO NO TEOR DE CLORETOS NO PT 03

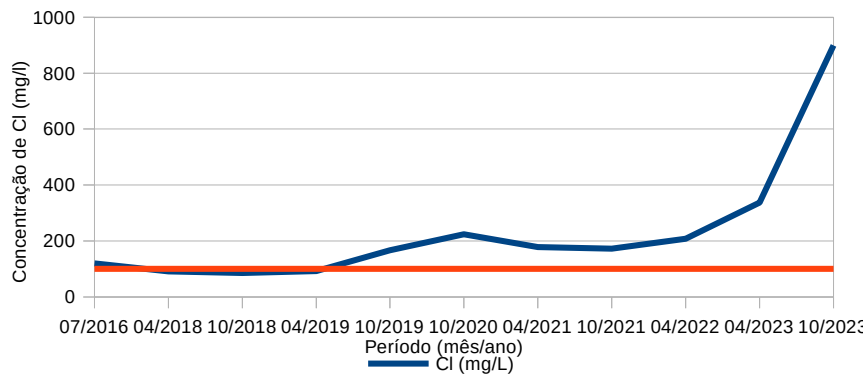
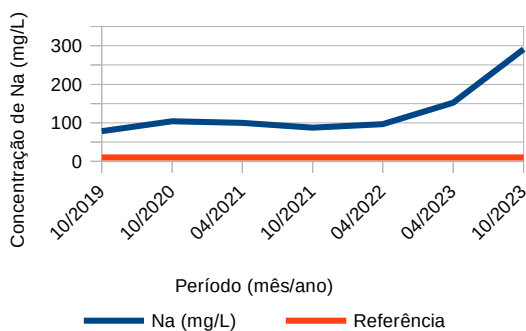


Gráfico 11- Evolução do Cloreto PT-03

EVOLUÇÃO DO TEOR DE SÓDIO NO PT 03



EVOLUÇÃO DO TEOR DE MAGNÉSIO NO PT 03

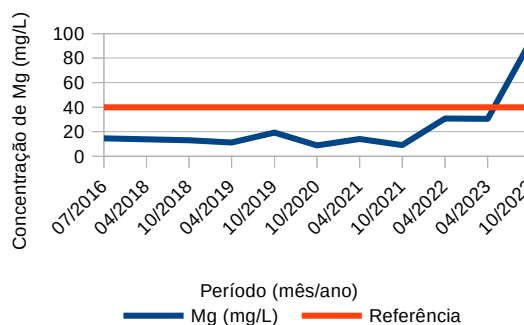
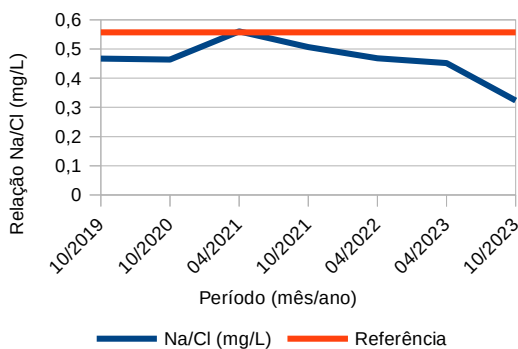


Gráfico 12 - Evolução do Sódio PT-03

Gráfico 13 - Evolução do Magnésio PT-03

RELAÇÃO DE SÓDIO E CLORETOS NO PT 03



RELAÇÃO MAGNÉSIO E CLORETOS NO PT 03

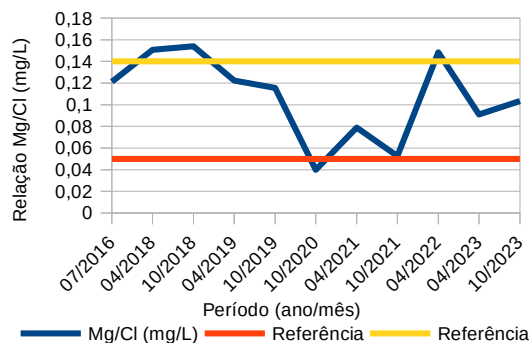


Gráfico 14 – Relação Sódio/Cloretos PT-03

Gráfico 15 – Relação Magnésio/Cloretos PT-03

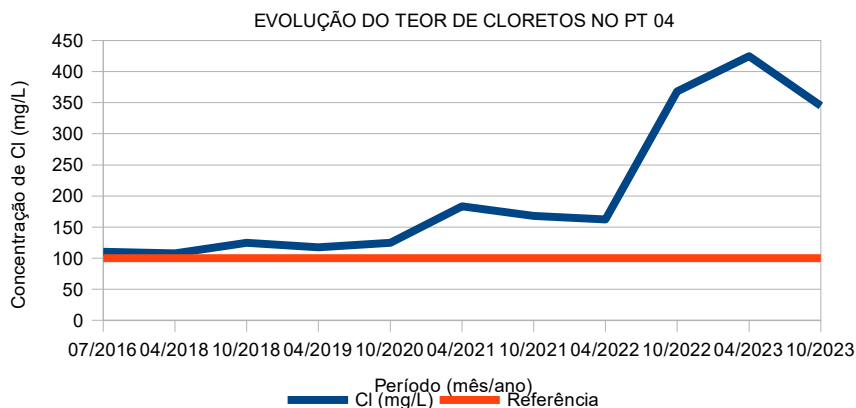


Gráfico 16- Evolução do Cloreto PT-04

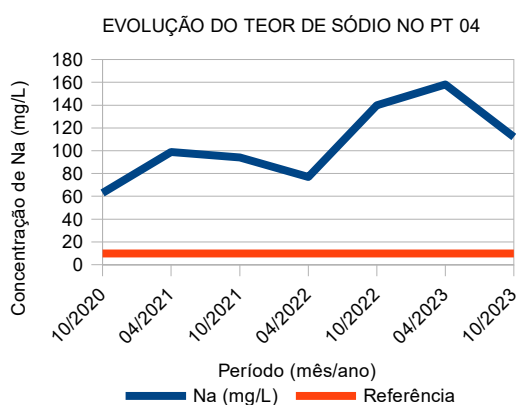


Gráfico 17 - Evolução do Sódio PT-04

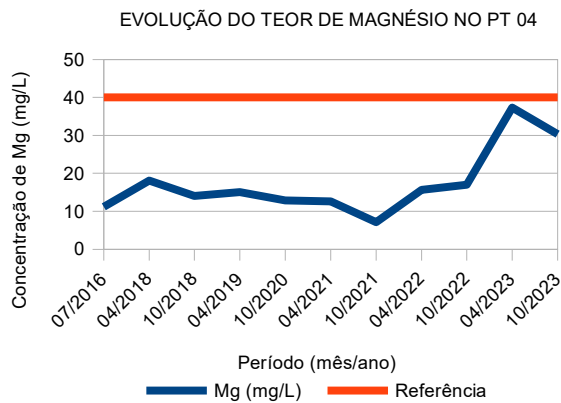


Gráfico 18 - Evolução do Magnésio PT-04

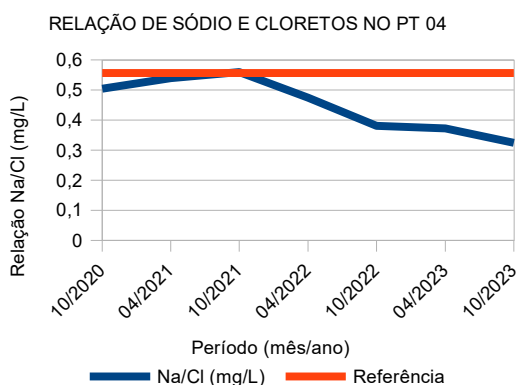


Gráfico 19 – Relação Sódio/Cloretos PT-04

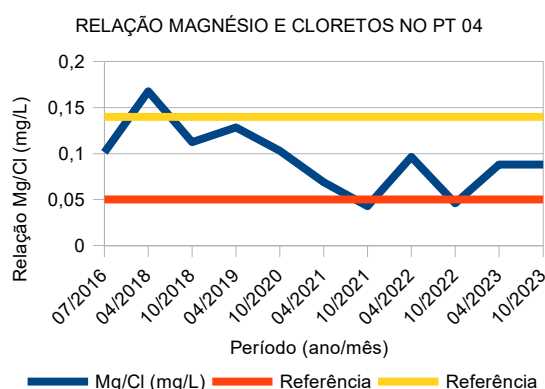


Gráfico 20 – Relação Magnésio/Cloretos PT-04

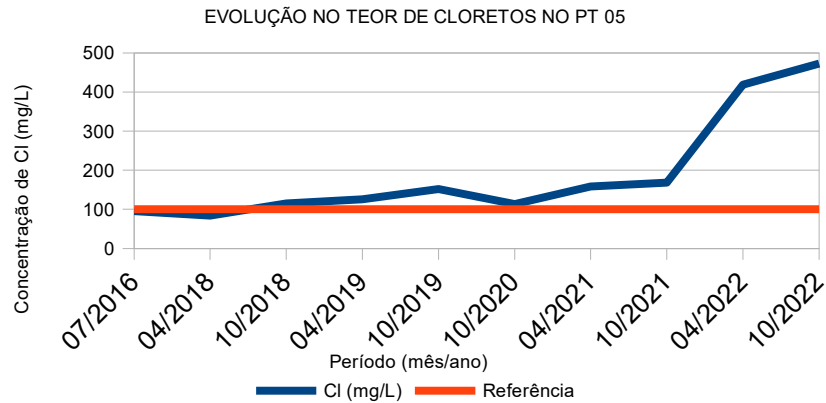


Gráfico 21- Evolução do Cloreto PT-05

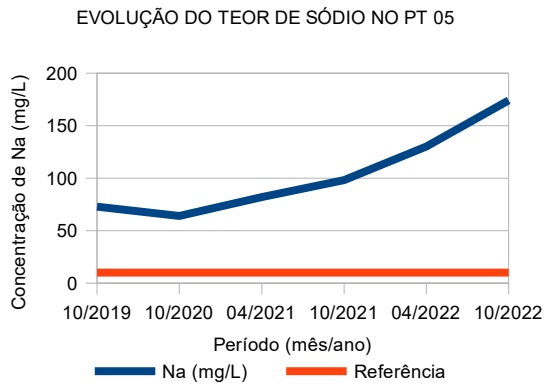


Gráfico 22 - Evolução do Sódio PT-05

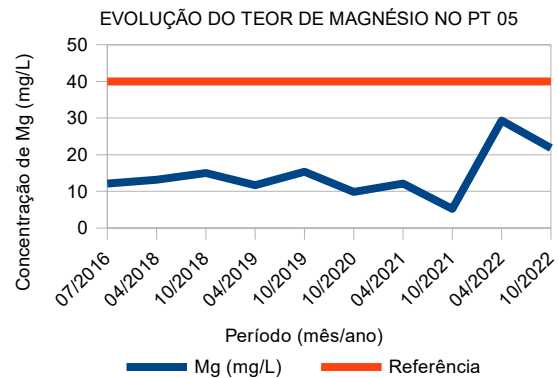


Gráfico 23 - Evolução do Magnésio PT-05

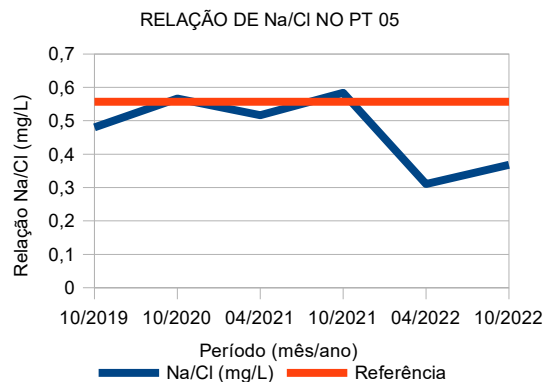


Gráfico 24 – Relação Sódio/Cloretos PT-05

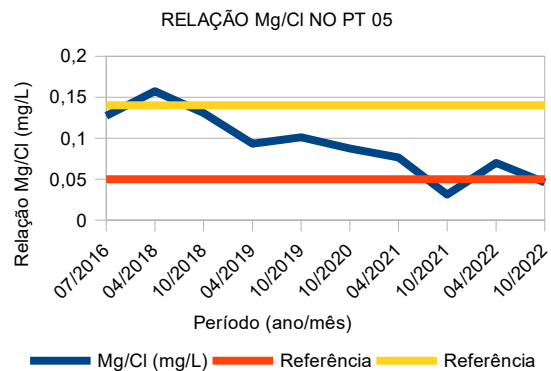


Gráfico 25 – Relação Magnésio/Cloretos PT-05

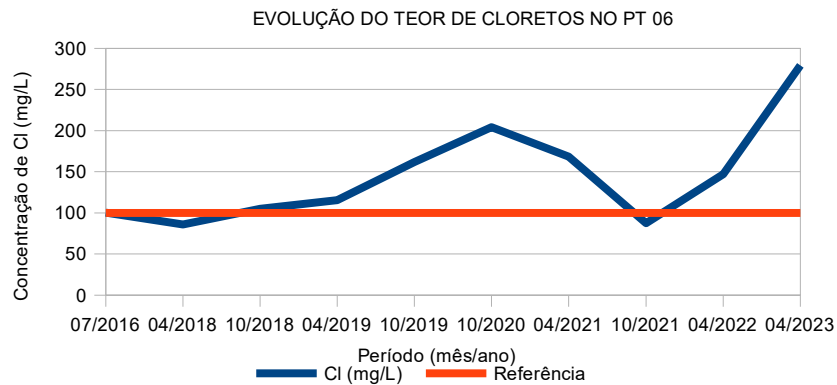


Gráfico 26- Evolução do Cloreto PT-06

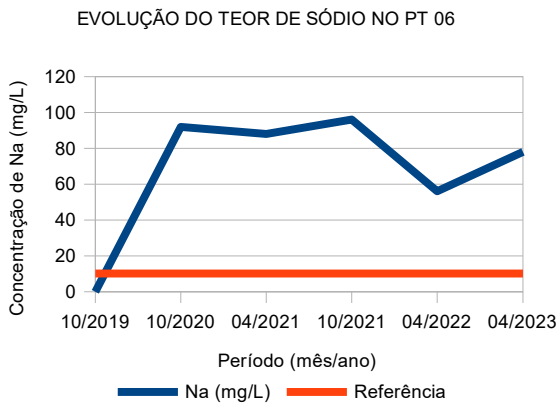


Gráfico 27 - Evolução do Sódio PT-06

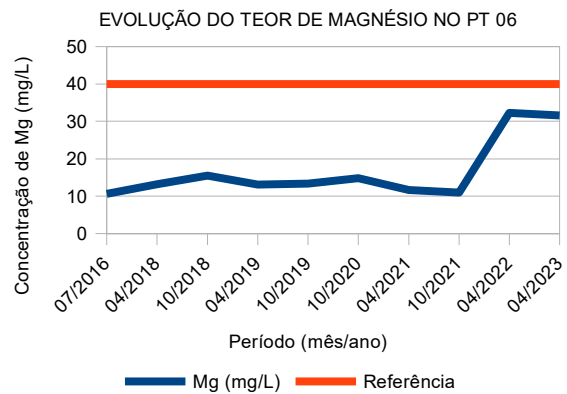


Gráfico 28 - Evolução do Magnésio PT-06

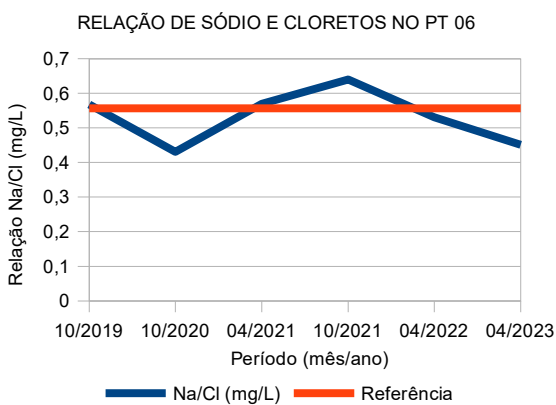


Gráfico 29 – Relação Sódio/Cloretos PT-06

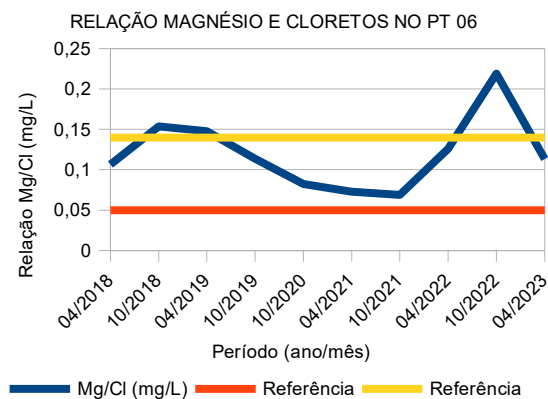


Gráfico 30 – Relação Magnésio/Cloretos PT-06

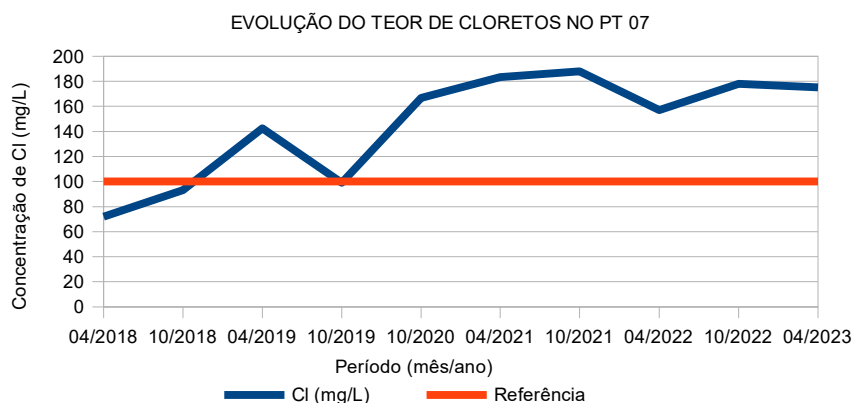


Gráfico 31- Evolução do Cloreto PT-07

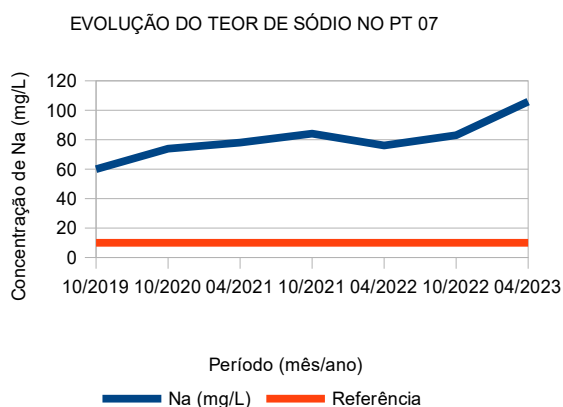


Gráfico 32 - Evolução do Sódio PT-07

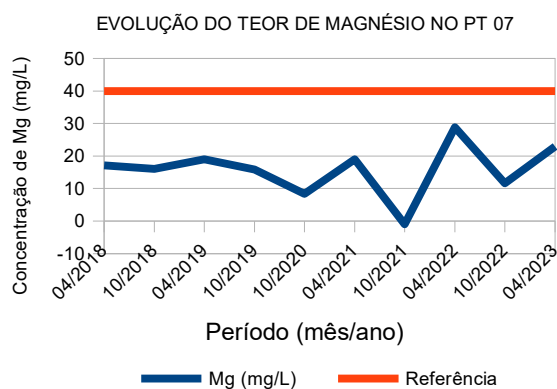


Gráfico 33 - Evolução do Magnésio PT-07

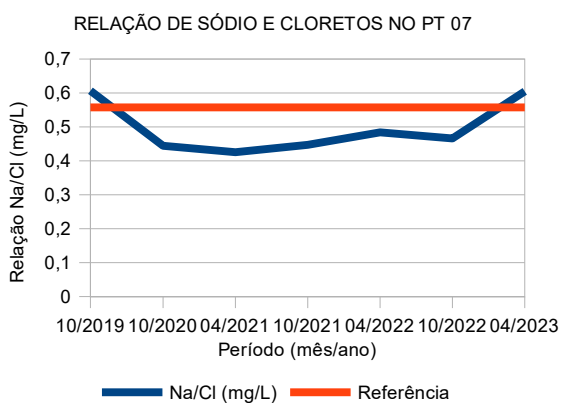


Gráfico 34 – Relação Sódio/Cloretos PT-07

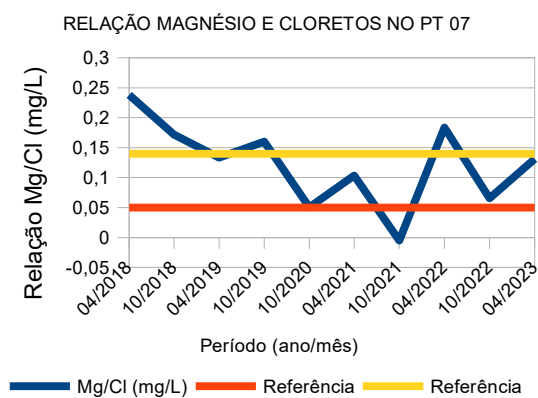


Gráfico 35 – Relação Magnésio/Cloretos PT-07

EVOLUÇÃO NO TEOR DE CLORETOS NO PT 08

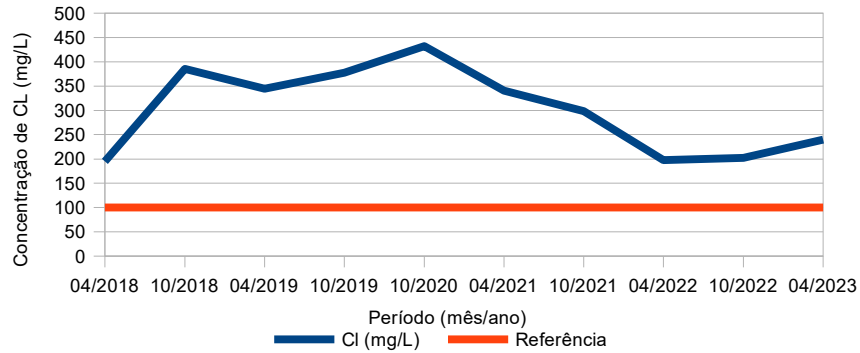


Gráfico 36- Evolução do Cloreto PT-08

EVOLUÇÃO DO TEOR DE SÓDIO NO PT 08

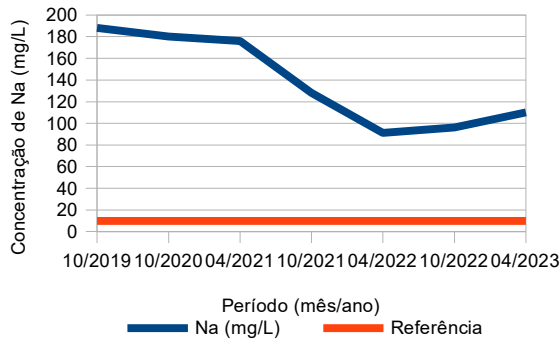


Gráfico 37 - Evolução do Sódio PT-08

EVOLUÇÃO DO TEOR DE MAGNÉSIO NO PT 08

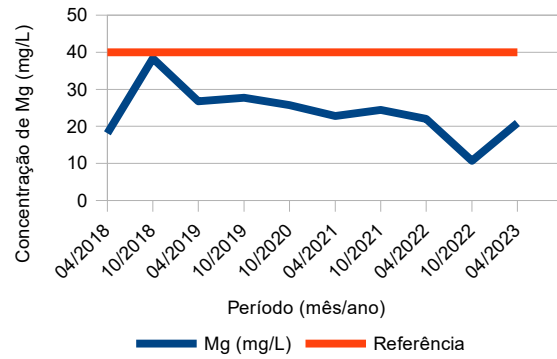


Gráfico 38 - Evolução do Magnésio PT-08

RELAÇÃO DE NA/CL NO PT 08

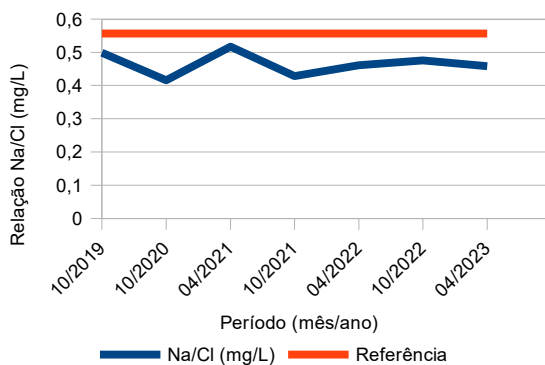


Gráfico 39 – Relação Sódio/Cloretos PT-08

RELAÇÃO MG/CL NO PT 08

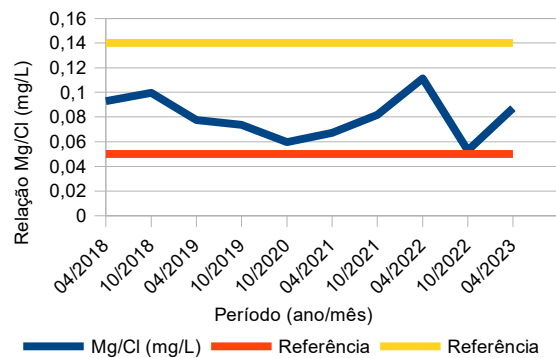


Gráfico 40 – Relação Magnésio/Cloretos PT-08

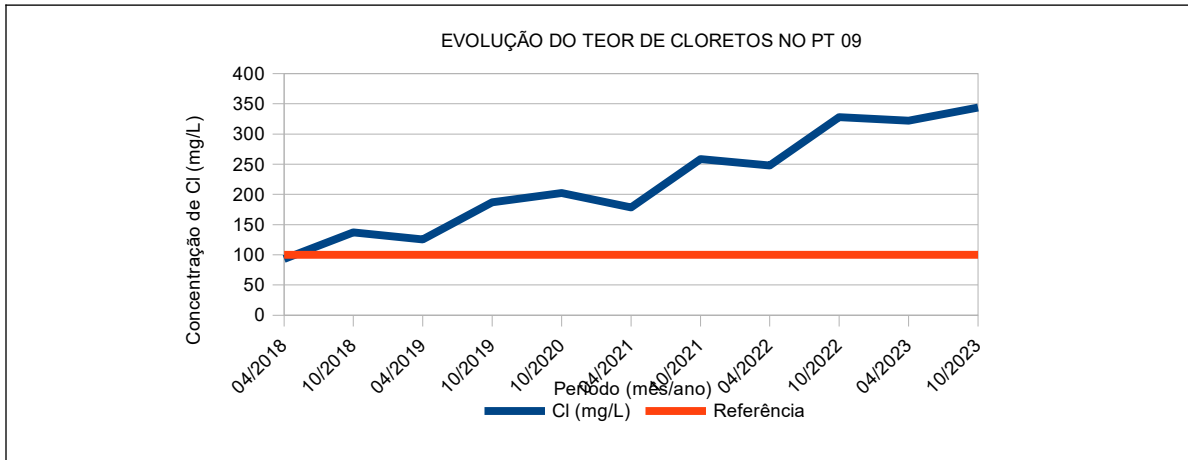


Gráfico 41- Evolução do Cloreto PT-09

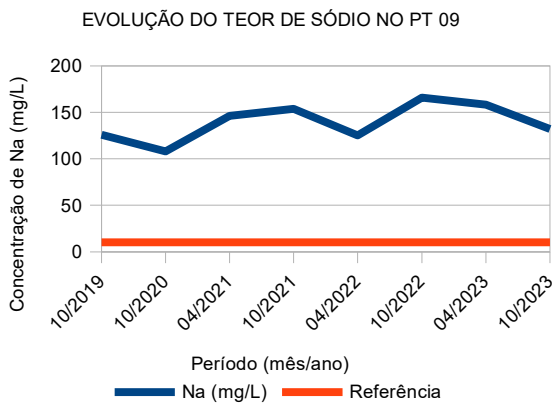


Gráfico 42 - Evolução do Sódio PT-09

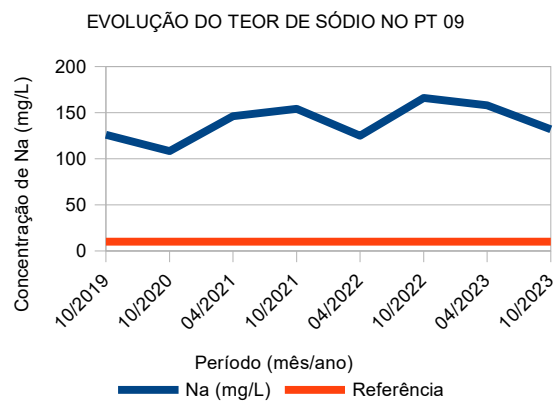


Gráfico 43 - Evolução do Magnésio PT-09

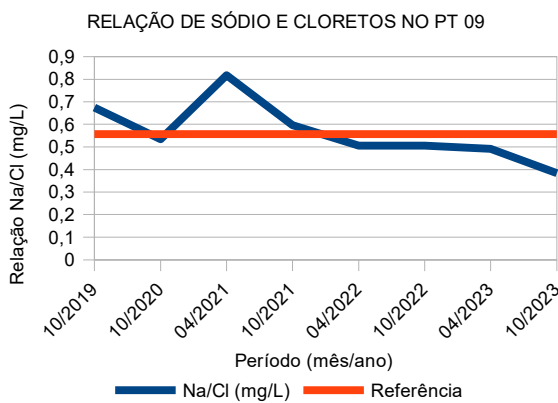


Gráfico 44 – Relação Sódio/Cloretos PT-09

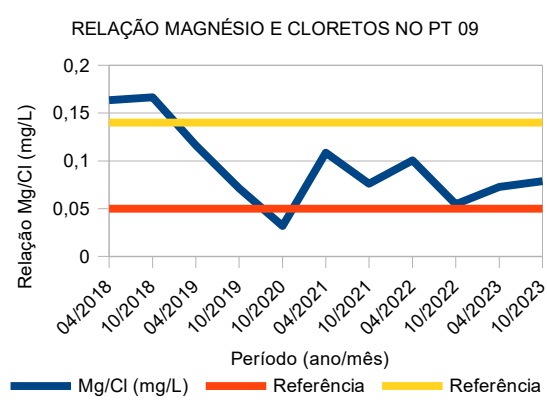


Gráfico 45 – Relação Magnésio/Cloretos PT-09

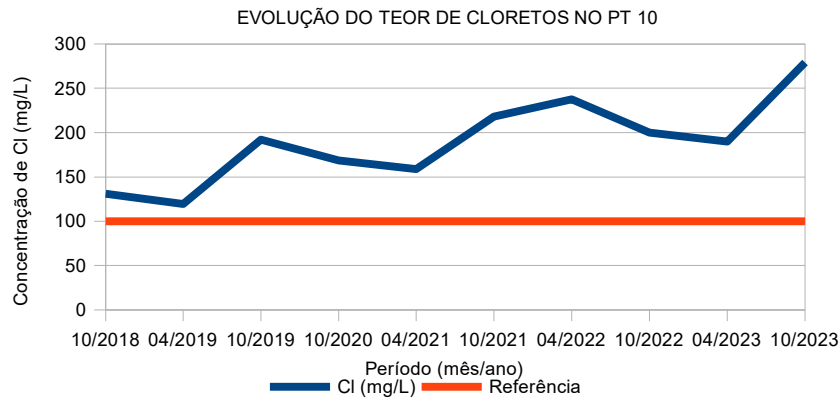


Gráfico 46- Evolução do Cloreto PT-10

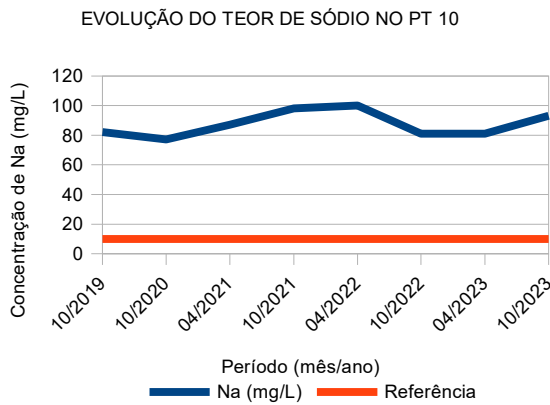


Gráfico 47 - Evolução do Sódio PT-10

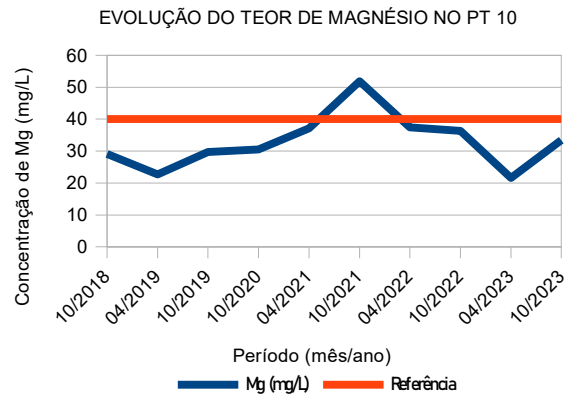


Gráfico 48 - Evolução do Magnésio PT-10

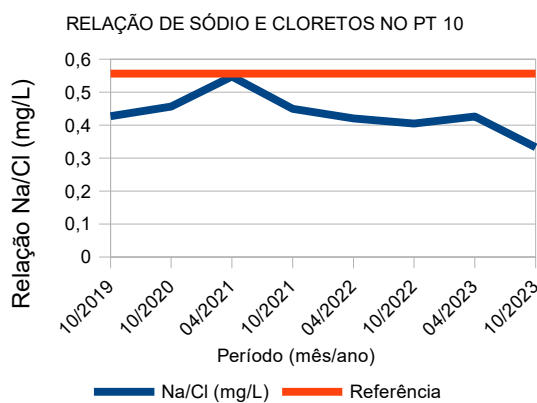


Gráfico 49 – Relação Sódio/Cloretos PT-10

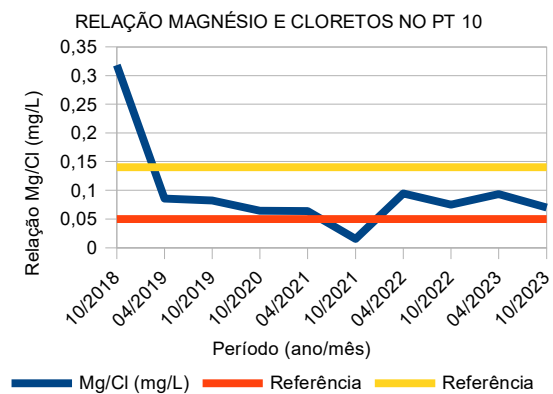


Gráfico 50 – Relação Magnésio/Cloretos PT-10

ANÁLISE E DISCUSSÕES

Os resultados evidenciaram que os indicadores ligados a intrusão salina foram atingidos em quase todos os pontos. Usando-se como referência os valores dos indicadores estabelecidos na Tabela 2, e considerado todos os pontos amostrados, podemos destacar o aumento significativo no teor de cloretos em todos os poços monitorados, chegando a um incremento nos valores de cloretos na ordem de 470% no PT 01, de 765% no PT 02, 748% no PT 03, 312% no PT 04, 496% no PT 05, 278% no PT 06, 243% no PT 07, 122% no PT 08, 369% no PT 09 e 213% no PT 10.

Vale salientar que a partir do ano de 2019, todos os poços monitorados, apresentaram valor para cloretos superior ao limite de 100mg/l, valor de referência para o parâmetro em água subterrânea em aquífero costeiro ou aluvionar. Destaca-se ainda, que dentre os dez poços monitorados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, nas últimas amostras analisadas em outubro de 2023, apenas o PT 07, apresentou resultado de cloretos dentro da faixa estabelecida pelo Anexo XX da Portaria Consolidação de 05/2017 do Ministério da Saúde, que trata do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, definindo como limite máximo para valores de cloretos em 250mg/L.

As variáveis de sódio e magnésio são outros dois indicadores que corroboram com a tese de avanço da cunha salina na área em estudo. Em todos os pontos amostrados o teor de sódio presente encontra-se com valores superior ao limite estabelecido para o parâmetro em águas subterrâneas sem intervenção de água marinha, conforme Tabela 2. Em relação ao indicador magnésio este se apresenta de forma discreta, permanecendo sempre muito próximo ao limite estabelecido para o parâmetro em água subterrânea (40mg/l).

O indicador relação Na/Cl, apresentou-se favorável ao processo de avanço da cunha salina na área em estudo, com resultados a partir do ano de 2021 inferiores a 0,557 em quase todos os poços monitorados, a exceção do PT 06, que veio apresentar essa característica apenas em 2022.

O último indicador usado no estudo a relação Mg/Cl, também mostrou-se favorável para a comprovação do estudo. Os valores obtidos dessa relação ao longo do período amostrado sempre estiveram na faixa de 0,05 a 0,14, valores estes que indicam a mistura de água doce com ou água do mar quando o resultado se encontra próximo de 0,14 e valores acima de 0,05 indicam a intrusão salina, fato que ocorreu com frequência em todos os pontos amostrados.

Diante do exposto, e com base nos indicadores utilizados para análise do avanço da cunha salina a possibilidade da ocorrência de avanço da cunha salina no aquífero subterrâneo no município de Itaiçaba no Ceará é de 80%, com exceção do indicador do parâmetro de magnésio, os demais indicadores aplicados corroboram para a ocorrência do processo de salinização do manancial por avanço da cunha salina.

Desta forma, o estudo pode evidenciar que o avanço da cunha salina é uma realidade na área de estudo e que medidas mitigadoras precisam ser tomadas. Que as condições climáticas aliados aos conjuntos de ações antrópicas supracitadas, são fatores determinantes para que este processo esteja ocorrendo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação da intrusão marinha no manancial subterrâneo na Região do Baixo Jaguaribe, os impactos gerados por este processo na qualidade de vida das comunidades da área de estudo e os danos causados no meio ambiente se constituem como principal propósito deste estudo.

A partir dos dados obtidos e da confirmação da existência do fenômeno, os órgãos competentes terão a possibilidade de buscarem alternativas para minimizar e/ou retardar o avanço da cunha salina, seja através de obras civis ou por meios de instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos.

A pesquisa possibilitou também a criação de cenários futuros da salinização do aquífero da área em estudo, realizando simulações com o aumento da vazão de exploração, podendo ser observado, o quanto isso aceleraria o processo de salinização, assim como o uso de outras variáveis que contribuam para maximizar o processo de intrusão marinha.

Em resumo, o resultado da pesquisa auxiliou no esclarecimento das seguintes questões:

- a) Que a intrusão marinha é um processo natural, e caso não ocorra intervenções antrópicas, esse processo levará centenas de anos para ocorrer;
- b) A intermitência do fluxo da água no trecho do Rio Jaguaribe referente a área em estudo, após 2015, contribuiu de forma significativa para o avanço da intrusão marinha;
- c) A exploração desordenada do aquífero é fator primordial para o avanço da cunha salina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015. 642 p. Disponível em: <<http://www.abens.org.br/CBENS2016/anais/anais/index.htm>>. Acesso em: 30 mar. 2020.
2. BOUBERBALA, A. (2015). *Groundwater salinization in semiarid zones: an example from Nador plain* (Tipaza, Algeria). *Environmental Earth Science*, v. 73, n. 9, p. 5479-5496. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3801-9>
3. CHANDRAJITH, R.; CHATURANGANI, D.; ABEYKOON, S.; BARTH, J.A.C.; GELDERN, R.V.; EDIRISINGHE, E.A.N.V.; DISSANAYAKE, C.B. (2014). *Quantification of groundwater-sea water interaction in a coastal sand aquifer system: a study from Panama*, Sri Lanka. *Environmental Earth Science*, v. 72, n. 3, p. 867-877. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-3010-y>
4. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). (2018). Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem Disponível em: <Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>>. Acesso em: junho. 2024.
5. CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. (1983). Hidrologia Subterrânea. 2. ed. Barcelona: Omega. 2 v.
6. FUCK JÚNIOR, S.C. de F. Subsídio à Gestão Ambiental: descrição fisiográfica e análise funcional das Bacias Hidrográficas do Ceará. Geoambiente On-Line. Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG In: [HTTP://www.jatai.ufg.br/geografia_j_gg](http://www.jatai.ufg.br/geografia_j_gg). Jataí-GO. N.10. Jan-jun/2008
7. GOMES, D.F. Estudo hidroquímico, isotópico e da dinâmica do nível estático das águas subterrâneas e superficiais da região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará - UFC. 218p. 2005
8. INSA. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido. 2012. 258p. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Recurso.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

9. OLOFSSON, B.O. (1996) *Salt groundwater in Sweden-occurrence and origin*. In: SALT-WATER INTRUSION MEETING, 14, 1996, Malmo Anai Malmo. p. 91-100.
10. Ranjan, S. Priyantha, So Kazama and M. Sawamoto. (2006). *Effects of climate and land use changes on groundwater resources in coastal aquifers*, Journal of Environmental Management 80, pp 25–35; Strack, O. D. L.(1989): Groundwater Mechanics, Prentice Hall.
11. SHAMMAS, M.I.; JACKS, G. (2007) *Seawater intrusion in the Salalah Plain Aquifer, Oman*. *Environmental Geology*, v. 53, p. 575-587. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0673-2>