



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO

CHARACTERIZATION OF GROUNDWATER QUALITY EXPLOITED IN THREE PORT UNITS IN THE STATE OF PARÁ FROM STATISTICAL NON-PARAMETRIC TEST

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA BRUTA EXPLOTADA EN TRES UNIDADES PORTUARIAS EN EL ESTADO DE PARÁ A PARTIR DE PRUEBA ESTADÍSTICA NO PARAMÉTRICA

Neuton Trindade Vasconcelos Junior¹, Bruno Santana Carneiro², Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes³, Cássio Raimundo Freitas Faial⁴, Kelson do Carmo Freitas Faial⁵

e483871

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i8.3871>

PUBLICADO: 08/2023

RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar a qualidade da água subterrânea bruta explorada em poços tubulares em três unidades portuárias localizadas em dois municípios do estado do Pará, bem como comparar e identificar diferenças nas propriedades químicas e físico-químicas, com base em testes estatísticos não paramétricos. Os seguintes parâmetros: pH, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, potencial de oxirredução (ORP), turbidez e os metais alumínio, ferro e manganês foram analisados em 42 amostras de águas subterrâneas, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Através do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi possível observar que a maioria dos parâmetros estudados apresentou diferença estatisticamente significativa, com exceção dos parâmetros turbidez e ORP, as diferenças estatísticas observadas podem estar relacionadas principalmente às características geológicas dos aquíferos de onde são exploradas as águas subterrâneas. Por se tratar de águas subterrâneas não tratadas, foram determinadas altas concentrações dos metais Fe e Mn, condições características do grupo Barreiras, por ser litologicamente mais favorável à produção de água, principalmente com alto teor de ferro.

PALAVRAS-CHAVE: Água Subterrânea. Unidades portuárias. Teste não paramétrico. Kruskal-Wallis.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the quality of raw groundwater exploited in tubular wells in three port units located in two counties in the Pará state, as well as comparing and identifying differences in the chemical and physical-chemical properties, based on nonparametrics statistical tests. The following parameters: pH, Temperature, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids, Oxidation Reduction Potential (ORP), Turbidity and the metals Aluminum, Iron and Manganese were analyzed in 42 groundwater samples, according to the procedures established by the Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Through the nonparametric Kruskal-Wallis test, it was possible to observe that most of the parameters studied presented a statistically significant difference, with the exception of the turbidity and ORP parameters, the statistical differences observed may be related mainly to the geological characteristics of the aquifers from which groundwater is exploited. As it is untreated groundwater, high concentrations of Fe and Mn metals were determined, characteristic conditions of

¹ Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Pará pela Universidade Federal do Pará. Pesquisador Colaborador do Instituto Evandro Chagas.

² Doutor em Saúde Coletiva pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pesquisador do Instituto Evandro Chagas.

³ Engenheira Sanitarista e Ambiental da Universidade Federal do Pará. Pesquisadora colaboradora no Instituto Evandro Chagas.

⁴ Graduado em licenciatura plena em Química pela Universidade Federal do Pará. Pesquisador colaborador no Instituto Evandro Chagas.

⁵ Doutor em Química Analítica pela Universidade Federal do Pará. Pesquisador do Instituto Evandro Chagas.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

the Barreiras group, since it is lithologically more favorable to the production of water, especially with high iron content.

KEYWORDS: Groundwater. Port units. Nonparametric test. Kruskal-Wallis.

RESUMEN

Este estudio tuvo por objetivo investigar la calidad del agua subterránea cruda explorada en pozos tubulares en tres unidades portuarias ubicadas en dos municipios del estado de Pará, así como comparar e identificar diferencias en las propiedades químicas y físico-químicas, con base en pruebas estadísticas no paramétricas. En 42 muestras de agua subterránea se analizaron los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, potencial de oxidación reducción, turbidez y los metales aluminio, hierro y manganeso, de acuerdo con los procedimientos establecidos por los Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales. A partir de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se pudo observar que la mayoría de los parámetros estudiados presentaron diferencias estadísticamente significativas, con excepción de los parámetros de turbidez y ORP, las diferencias estadísticas observadas pueden estar relacionadas principalmente con las características geológicas de los acuíferos de los que se aprovechan las aguas subterráneas. Al tratarse de aguas subterráneas sin tratar, se determinaron altas concentraciones de metales Fe y Mn, condiciones características del grupo Barreiras, por ser litológicamente más favorable para la producción de agua, especialmente con alto contenido en hierro.

PALABRAS CLAVE: Agua subterránea. Unidades portuarias. Prueba no paramétrica. Kruskal-Wallis.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso importante para a manutenção da vida na terra, exercendo influência na formação de civilizações ao longo da história, além de contribuir para o crescimento econômico de cidades, bem como auxiliar no bom funcionamento das atividades vitais dos organismos (Pimentel *et al.*, 2004; Kiliç, 2020).

No que concerne ao seu valor econômico, a substância é tida como um elemento imprescindível para a produção de energia, alimentos, entre outros bens industriais. No setor portuário, a água é fundamental para as atividades desenvolvidas, fator que potencializa a importância dos recursos hídricos, sobretudo, os de fontes subterráneas e superficiais; neste setor, frequentemente são disponibilizados serviços básicos às embarcações que atracam em um determinado porto, entre tais serviços, está o abastecimento de água, recolhimento de esgoto sanitário, coleta de triagem de resíduos, entre outros (Christiansen *et al.*, 2007; Porto Do Itaquí, 2018; Moraes; Jordão, 2002; Tundisi, 2008).

Tendo em vista a alta movimentação de cargas e conseqüentemente atracções de navios nos portos brasileiros, é necessário que os sistemas portuários disponham de uma infraestrutura eficiente, a fim de que os serviços prestados sejam de qualidade. Entre tais prestações de serviços, está a oferta de água potável para os navios que atracam no porto.

De acordo com a Resolução- RDC nº 17, de 12 de janeiro de 2001, é importante que empresas prestadoras de serviços de apoio portuário de abastecimento de água para consumo humano de embarcações, sejam licenciadas e fiscalizadas por órgãos estaduais ou municipais competentes, a fim



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

de que estas tenham seu funcionamento autorizado para a realização de abastecimento de água para consumo de bordo em embarcações.

Neste sentido, os sistemas portuários buscam atender às recomendações impostas pelos órgãos de vigilância sanitária. O Porto de Suape, localizado no litoral sul do estado de Pernambuco, realiza o controle bacteriológico, físico-químico, além do teor de cloro residual e do potencial hidrogênio (pH) em quatro pontos diários, sob a forma de rodízio, contemplando a área da sede administrativa e o Porto Organizado de Suape (De Freitas, 2014).

A empresa TECER - Terminais Portuários Ceará Ltda, é responsável pelo serviço de disponibilização de água no Porto do Pecém-CE, e se responsabiliza pelo monitoramento de potabilidade, bem como o armazenamento e bombeamento de água para embarcações ou cliente na área do Terminal (Alece, 2013) Já no porto de Santos-SP, em alguns pontos da rede de abastecimento do complexo portuário, a água distribuída apresenta aspecto impróprio para consumo, no entanto, há esforços que visam melhorar a qualidade da água, a partir de um novo sistema de abastecimento (Porto De Santos, 2006).

Estudos como os de Lin, (2010), Sawyer; Michael; Schroth (2016) e Goldhaber *et al.* (2014), relatam que pesquisas direcionadas aos contaminantes químicos em águas subterrâneas, tornaram-se bastante comuns nos últimos 30 anos, contribuindo para uma melhor compreensão acerca da dinâmica e importância dos aquíferos, além de ajudar em tomada de decisões para proteger e preservar os recursos hídricos.

Sabe-se que a composição química de águas subterrâneas pode ser influenciada por fatores geogênicos, como é o caso da dissolução dos depósitos minerais naturais dentro da crosta terrestre. No entanto, o novo cenário global, caracterizado pela expansão populacional e intensas atividades industriais, acarreta influências antrópicas, contribuindo, deste modo, para a contaminação hídrica (Basu *et al.*, 2014; Pandey; Duggal; Jamatia, 2016; Subba Rao; Ravindra; Wu, 2020; He *et al.*, 2020).

Na região amazônica, as águas subterrâneas possuem baixos valores de pH, por conta do clima tropical e do alto índice de precipitação pluviométrica da região e devido a percolação da água da chuva há altos índices de lixiviação, fazendo com que prevaleçam elementos com menor mobilidade geoquímica, como Ferro (Fe), Alumínio (Al) e Manganês (Mn) (Bahia *et al.*, 2011)

A predominância de Fe, Al e Mn, deve-se principalmente ao processo de intemperismo das rochas na região amazônica, o que ocasiona a formação de laterita e bauxita, no entanto, processos de oxirredução também disponibilizam teores residuais de Al e Fe, onde estes podem ser transportados em solução. Além disso, Fe e Mn estão presentes nas formas insolúveis numa grande quantidade de solos, todavia, em meios onde há pouca disponibilidade de oxigênio, como pode ocorrer em águas subterrâneas, os metais citados se apresentam na forma solúvel (Funasa, 2014; ANA, 2015a).

Concentrações anômalas de metais são geralmente associadas a processos geoquímicos naturais, sendo observadas em aquíferos que apresentam condições hidrogeoquímicas que favorecem a dissolução de certos minerais que liberam íons nas águas subterrâneas e que consequentemente,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

refletem em concentrações acima do padrão estipulado para o consumo humano (Martins *et al.*, 2018; Hirata; Suhogusoff, 2019).

Devido à importância das águas subterrâneas para o estudo dos recursos hídricos, é importante reunir dados acerca dos parâmetros físico-químicos inerentes à qualidade das águas; deste modo, a determinação da concentração de íons, metais, entre outros parâmetros, geram informações sobre os ambientes pelos quais a água circulou, permitindo assim compreender de que forma a geologia local, o clima e até mesmo a atividade antrópica influenciam na qualidade da água (Ramkumar *et al.*, 2012; ALI S; ALI U, 2018).

Neste sentido, este estudo buscou caracterizar a qualidade das águas subterrâneas brutas, explotadas em poços tubulares pertencentes a três unidades portuárias localizadas nos municípios de Belém-PA e Barcarena-PA; além de correlacionar as características geológicas de cada região com a qualidade da água e identificar as principais diferenças entre cada região geológica, tomando como base testes estatísticos não paramétricos, buscando identificar anomalias e apurar suas possíveis causas, sejam estas naturais ou antrópicas.

2 MÉTODO

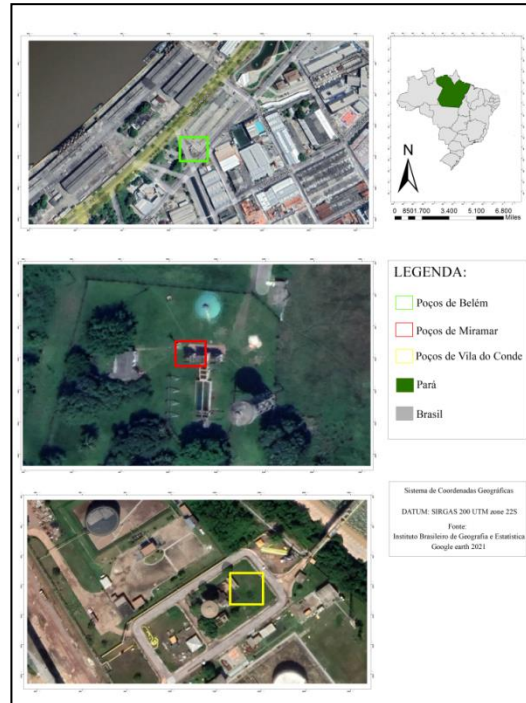
A área de estudo corresponde a três unidades portuárias (Porto de Belém, Terminal Petroquímico de Miramar e Porto de Vila do Conde) situadas na região imediata de Belém-PA, localizada na porção nordeste do estado do Pará, Brasil. A região geográfica possui área territorial de 16.819,7 km², com população estimada no ano de 2022 em 2.460,788 de habitantes e é formada por quinze (15) municípios, incluindo Belém-PA e Barcarena-PA, onde este estudo foi conduzido, representado na figura 1 (IBGE, 2017; IBGE, 2022).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Figura 1 - Mapa da área de estudo



Fonte: Autor

A capital do estado do Pará está situada às margens do Rio Guamá e da Baía do Guajará e de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima de Belém-PA é tido como quente e úmido, sendo assim, classificado como clima equatorial (Af) (Alvares *et al.*, 2013).

O município possui formas de relevo caracterizadas pelos baixos platôs com um relevo de extensas superfícies planas que se desenvolveram em rochas do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras, situando-se no contexto geológico da era cenozoica, além disso, Belém-PA apresenta solos do tipo latossolo amarelo que ocupa significativas porções da área metropolitana e adjacências, este tipo de solo é amadurecido com pH variando de ácido a muito ácido e sua coloração amarela é atribuída ao baixo teor de ferro (Neves; Serrão, 2016; PMB, 2020).

Os sistemas hidrogeológicos da região de Belém-PA estão distribuídos entre aquícludes, aquíardes e aquíferos, pertencentes às unidades estratigráficas Pirabas, Barreiras e cobertura quaternária, e são caracterizados por cinco conjuntos: Aluviões; Pós-Barreiras; Barreiras; Pirabas Superior e Pirabas Inferior (Martins *et al.*, 2010).

O Sistema Aquífero Barreiras é o mais conhecido e explorado, correspondente aos sedimentos do Grupo Barreiras; apresenta um perfil litológico variável, com argilitos, bem como arenitos grosseiros com níveis conglomeráticos, além de apresentarem níveis lateríticos e argilosos caulinizados, aparecendo em profundidades de 25 a 90 metros (Martins *et al.*, 2010).

O Sistema Aquífero Pirabas compreende aquíferos espessos, encerrados por camadas impermeáveis a semipermeáveis, com recorrência de camadas arenosas e argilosas (Neves; Serrão,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

2016; ANA, 2018). Essa unidade é composta por sedimentos marinhos, fossilíferos da Formação Pirabas e aparecem no intervalo de 70 - 180 metros e são do tipo confinado (Martins *et al.*, 2010).

O município de Barcarena, por sua vez, está situado na zona estuarina Amazonas, Tocantins e Guamá em uma área de 1.310,338 Km² e população estimada em 126.650 habitantes (IBGE, 2022). Nos aspectos climáticos, segundo a classificação de Koppen, o município apresenta característica climática equatorial úmida e sua temperatura média anual é de 27 °C, com variação térmica mínima, e precipitações acima de 2.500 mm por ano (Rodrigues *et al.*, 2020).

Sua estratigrafia é pouco variável, a porção continental do município é caracterizada por sedimentos da Formação Barreiras (sedimentos terciários), enquanto nas margens dos rios ocorrem os sedimentos do quaternário (De Fátima Rosseti, 2001). A formação Barreiras se apresenta em várias áreas do município e tem em sua composição arenitos, siltitos e argilitos, além de concreções lateríticas do mioceno superior (Oliveira, 2013). Além disso, Barcarena é caracterizada predominantemente por três tipos de solo: Latossolo Amarelo Distrófico, resultante da Formação Barreiras; Pdzol Hidromórfico, constituído por sedimentos arenosos, pertencentes ao quaternário e Concrecionário Laterítico, solo constituído por sedimentos argilosos ou arenoargilosos, com presença de concreções ferruginosas (DNPM, 1974).

Quanto aos sistemas aquíferos de Barcarena-PA, os aquíferos da região são constituídos por sedimentos aluvionares do quaternário (aquíferos livres) e por sedimentos terciários do Grupo Barreiras (aquífero semiconfinado). Os aquíferos da Formação Pirabas não ocorrem na área, pelo menos até a profundidade de aproximadamente 300 metros (IPT, 1984).

3 AMOSTRAGEM

Para a avaliação da qualidade da água subterrânea dos poços tubulares localizados nos portos da área de estudo, foi realizado o monitoramento mensal, durante sete meses, no período compreendido entre os meses de março a setembro do ano de 2019.

O suprimento de água para os Portos de Belém e Vila do Conde, bem como para o Terminal Petroquímico de Miramar, provém de sistema próprio de captação. No caso do Porto de Belém, dois poços com profundidade de 80 metros são responsáveis pela captação de água, que são tratadas na própria unidade portuária (CDP, 2021).

O Terminal Petroquímico de Miramar dispõe de um sistema de captação, composto de três poços com bombas submersas com capacidade de produção em 120 m³/h e em Vila do Conde, a captação é feita em três poços do tipo artesiano, sendo que cada poço tem tubulação, bombas e comandos independentes (CDP, 2022; CDP, 2021).

Todos os pontos amostrais foram georreferenciados com o equipamento de Sistema de Posicionamento Global (GPS) marca *Garmin eTrex Vista-hiking companion* (Olathe, USA). As informações das latitudes e longitudes dos pontos de coleta estão dispostas no quadro 1.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Quadro 1: Identificação e descrição das coordenadas geográficas dos pontos amostrais

Local da Coleta	Município	Identificação do ponto de coleta	Coordenadas Geográficas	
			Latitude	Longitude
Porto de Belém	Belém	BEL-02	01°26'46.11"S	048°29'57.41"W
		BEL-03	01°26'27.10"S	048°29'47.02"W
Terminal Petroquímico de Miramar	Belém	MIR-02	01°24'16.86"S	048°29'42.65"W
		MIR-03	01°24'8.17"S	048°29'42.25"W
Porto de Vila do Conde	Barcarena	VDC-02	01°32'3.27"S	048°44'30.17"W
		VDC03	01°31'50.59"S	048°44'51.59"W

As amostras de água destinadas às análises físico-químicas e metais, foram coletadas em frascos de polipropileno com capacidade de 1 litro, previamente lavados e com auxílio de baldes inoxidáveis, previamente esterilizados. Foram realizadas análises físico-químicas *in loco*, por potenciometria, com auxílio de sonda multiparamétrica modelo HI9828 da HANNA® (*Woonsocket, USA*), previamente calibrada para a determinação de pH, Temperatura (T) Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Potencial de Oxirredução (ORP).

Após a coleta das amostras, os frascos foram mantidos sob refrigeração (<4°C) e encaminhados ao Laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas (SEAMB/IEC/SVS/MS) para determinação do parâmetro turbidez e dos metais Alumínio (Al), Ferro (Fe) e Manganês (Mn). Os métodos analíticos empregados obedeceram aos procedimentos e recomendações descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

4 ANÁLISE

O parâmetro Turbidez foi analisado por espectrofotometria, usando o equipamento DR-3900 da HACH® (*Loveland, USA*), a partir do comprimento de onda de 635 nm. Para a determinação dos metais Al, Fe e Mn, uma alíquota de 50 mL de amostra foi acidificada com 500 µL de ácido nítrico (HNO₃) 65% Emsure® Merck (*Darmstadt, Alemanha*) com alto grau de pureza (pH<2), gerando uma solução a 1% v/v.

Os metais Al, Fe e Mn foram analisados mediante a técnica de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP OES), modelo Vista- MPX CCD simultâneo (*Varian, Mulgrave, Austrália*), configuração axial (tocha axial de 2,4 mm de diâmetro e nebulizador cônico concêntrico) e equipado com um sistema de amostragem automático (SPS - 5). O controle das condições operacionais do ICP OES foi realizado com o *software ICPExpert Vista* e os parâmetros instrumentais estabelecidos para a determinação dos metais são apresentados no quadro 2.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Quadro 2: Parâmetros instrumentais usados na determinação de metais

Analito	Comprimento de onda (λ)	Descrição dos acessórios
Al	396.152 nm	Potência = 1.0 Kw Fluxo do Gás = 15 L.min ⁻¹ Fluxo do Gás auxiliar = 12 L.min ⁻¹ Rotação da bomba peristáltica = 30 rpm
Fe	238.204 nm	
Mn	257.610 nm	

A validação da técnica analítica ocorreu a partir da avaliação da linearidade do método com o auxílio de curvas de calibração, geradas a partir de soluções padrão de Al, Fe e Mn da marca Inorganics Venture® (*Christiansburg, Alemanha*); as alíquotas foram preparadas através do método de diluição, abrangendo o intervalo dinâmico de 0,1 a 3,2 mg.L⁻¹, partindo de uma concentração de 1000 mg.L⁻¹.

Para controle analítico de qualidade, utilizou-se a Amostra Certificada SRM 1640a “*Trace Elements in Water*” (NIST, *Gaithersburg, USA*), que permitiu determinar as recuperações do método para cada analito e para a determinação de todos os parâmetros, foram calculados os limites de detecção (LOD) e quantificação (LOQ) do método analítico utilizado, mediante a leitura de 10 brancos analíticos.

5 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

O tratamento estatístico dos resultados obtidos neste estudo foi realizado mediante recursos básicos de estatística descritiva; para isso os dados foram tabulados no *software Microsoft Office Excel*® 2010. Com o auxílio do *software Minitab 20 Statistical*®, foi realizado o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, ao nível de significância de 5% ($p = 0,05$).

Como a variação dos dados não atendeu aos critérios de normalidade, foram aplicados testes de hipóteses não paramétricos, portanto, para determinar a existência ou não de diferenças estatísticas na qualidade das águas subterrâneas explotadas nas unidades portuárias, foi aplicado o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*.

Aplicou-se também análise multivariada por meio da Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA), a fim de avaliar a similaridade entre os parâmetros determinados nas águas subterrâneas captadas em cada unidade portuária estudada. Para a análise de agrupamentos, os dados foram normalizados com o auxílio do método *Ward's* como método hierárquico aglomerativo e as distâncias Euclidianas normalizadas foram usadas como medida de similaridade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O quadro 3 mostra os valores obtidos no ensaio de recuperação, para análise de metais, o ensaio avaliou a exatidão do método analítico. Para que o método seja considerado exato é necessário que a porcentagem de recuperação varie entre 80 a 110% do valor real do material de referência (AOAC, 2016).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Quadro 3: Teores de recuperação analítica

Parâmetro	Material de Referência	Valor Real	Valor Obtido*	Recuperação* (%)
Al	SRM 1640 a	0,0526	0,0463	88,0
Fe	SRM 1640 a	0,0365	0,0363	99,4
Mn	SRM 1640 a	0,04007	0,0379	94,6

O quadro 4 mostra os valores gerais referentes às médias, desvio padrões, medianas, bem como os valores mínimos e máximos dos parâmetros estudados para as unidades portuárias de Belém (BEL), Miramar (MIR) e Vila do Conde (VCO), além do limite de detecção (LOD) e limite de quantificação (LOQ) dos parâmetros turbidez (Turb), Alumínio (Al), Ferro (Fe) e Mangânes (Mn).

Quadro 4: Estatística descritiva básica dos parâmetros físico-químicos e químicos

Parâmetro	Unidade Portuária	Média+D.P.	Mínimo	Máximo	LOD	LOQ
pH	BEL	6,86±0.81	4,35	7,46	-	-
	MIR	5,93±0.62	4,84	6,87		
	VCO	4,41±0,32	4,01	5,34		
T (°C)	BEL	29,20±0,40	28,58	29,85	-	-
	MIR	29,12±0,37	28,69	29,88		
	VCO	29,23±4,20	17,42	29,19		
CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	BEL	432,38±90,66	375,00	730,00	-	-
	MIR	161,13±80,75	70,00	320,80		
	VCO	43,64±15,08	31,00	84,10		
STD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	BEL	235,86±49,48	188,00	365,00	-	-
	MIR	96,86±57,74	35,00	205,00		
	VCO	17,57±10,26	15,00	44,00		
ORP (mV)	BEL	174,30±126,10	-6,60	359,00	-	-
	MIR	125,10±135,30	-18,50	387,00		
	VCO	178,40±224,40	-0,60	508,00		



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Turb (UNT)	BEL	1,96±2,52	1,20	9,22	0,38	1,00
	MIR	7,55±15,54	1,34	58,9		
	VCO	1,54±3,06	1,36	9,87		
Al (mg.L ⁻¹)	BEL	0,0204±0,0181	0,0145	0,0608	0,0036	0,0119
	MIR	0,0287±0,0220	0,0093	0,0753		
	VCO	0,0810±0,251	0,0469	0,1246		
Fe (mg.L ⁻¹)	BEL	1,8364±1,4265	0,2517	5,9395	0,0018	0,0060
	MIR	5,9748±4,6873	0,9657	13,1064		
	VCO	0,4722±0,1286	0,2819	0,7467		
Mn (mg.L ⁻¹)	BEL	0,1683±0,0193	0,1437	0,2158	0,0002	0,0008
	MIR	0,4395±0,4089	0,0084	0,9532		
	VCO	0,0118±0,0041	0,0054	0,0192		

Para avaliar a normalidade da distribuição dos dados, foi aplicado o teste de *Shapiro-Wilk*, a 5% de significância. O teste mostrou que nenhuma das 09 variáveis presentes no banco de dados apresentou distribuição normal, pois, o valor p esteve abaixo do nível de significância de 5%, fazendo com que a hipótese nula fosse descartada e indicando que os dados não seguem uma distribuição normal, conforme observado na figura 2.

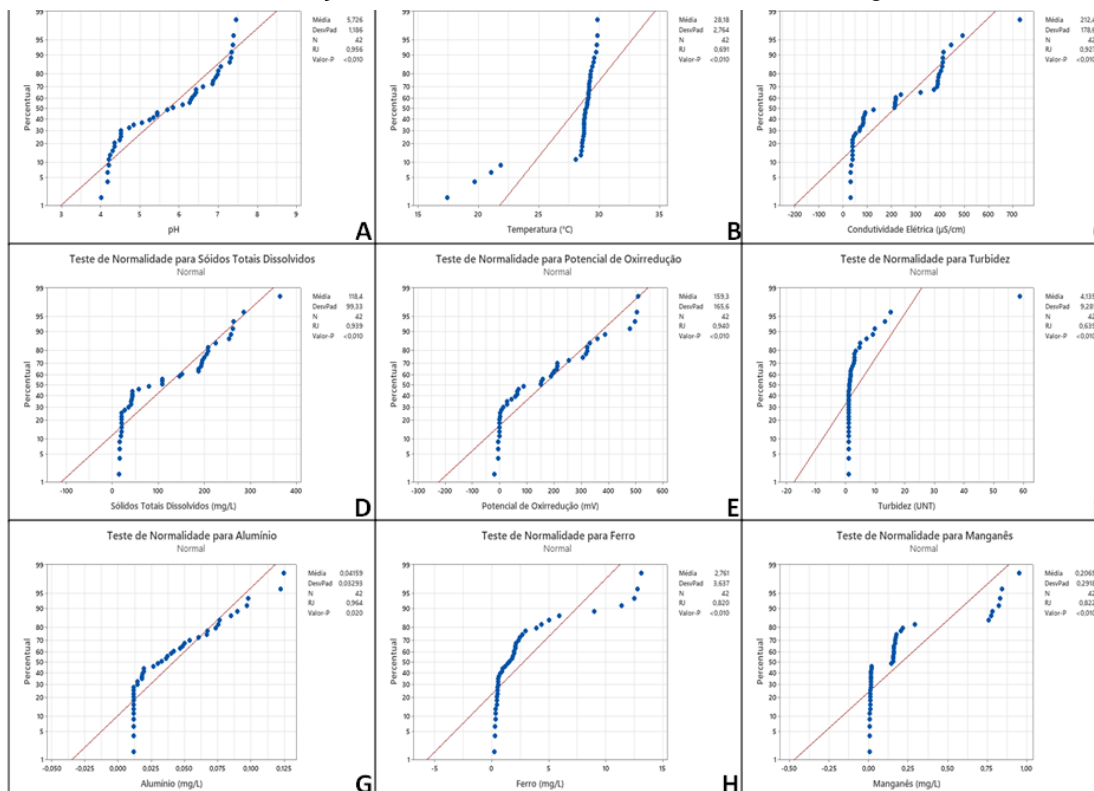


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Figura 2

A: pH; B: Temperatura; C: Condutividade Elétrica; D: Sólidos Totais Dissolvidos; E: Potencial de Oxidação; F: Turbidez; G: Alumínio; H: Ferro; I: Manganês



Fonte: Autor

O teste de *Kruskal-Wallis* foi utilizado para testar a hipótese de que as amostras têm a mesma distribuição, além de avaliar a igualdade das medianas das três unidades portuárias estudadas nesta pesquisa, configurando-se, deste modo, como uma alternativa não paramétrica para análise de variância. O quadro 5 fornece os resultados descritivos do teste de *Kruskal-Wallis* como mediana, posto médio, posto médio geral, valor-Z, valor H e valor-p.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Quadro 5 - Resultados descritivos do teste de Kruskal-Wallis

Unidade Portuária	Parâmetro	Mediana	Posto Médio	Posto Médio Geral	Valor-Z	Valor H	Valor-p
Belém	pH	7,03	33,3	21,5	4,40	29,67	0,000
Miramar		6,06	23,0		0,57		
Vila do Conde		4,33	8,2		-4,98		
Belém	T	29,16	27,6	21,5	2,29	15,15	0,001
Miramar		29,02	25,7		1,57		
Vila do Conde		28,55	11,1		-3,87		
Belém	CE	406,75	35,5	21,5	5,23	35,77	0,000
Miramar		168,25	21,2		-0,11		
Vila do Conde		39,50	7,8		-5,12		
Belém	STD	216,5	35,1	21,5	5,10	34,12	0,000
Miramar		94,0	21,3		-0,09		
Vila do Conde		20,0	8,1		-5,00		
Belém	ORP	173,0	23,8	21,5	0,84	1,24	0,537
Miramar		123,2	18,7		-1,05		
Vila do Conde		41,9	22,1		0,21		
Belém	Turb	1,560	22,0	21,5	0,20	3,78	0,151
Miramar		2,895	25,0		1,49		
Vila do Conde		1,000	17,0		-1,69		
Belém	Al	0,0145	13,5	21,5	-2,99	24,82	0,000
Miramar		0,0229	16,4		-1,89		
Vila do Conde		0,0750	34,6		4,88		
Belém	Fe	1,8633	21,9	21,5	0,16	25,25	0,000
Miramar		4,1527	32,9		4,27		
Vila do Conde		0,4668	9,6		-4,43		
Belém	Mn	0,1618	27,5	21,5	2,24	18,92	0,000
Miramar		0,5273	27,1		2,11		
Vila do Conde		0,0118	9,9		-4,35		

Os valores medianos de pH variaram entre 4,35 e 7,05, o valor mais ácido é referente as águas subterrâneas explotadas o Porto de Vila do Conde, enquanto o valor neutro corresponde as águas subterrâneas do Porto de Belém.

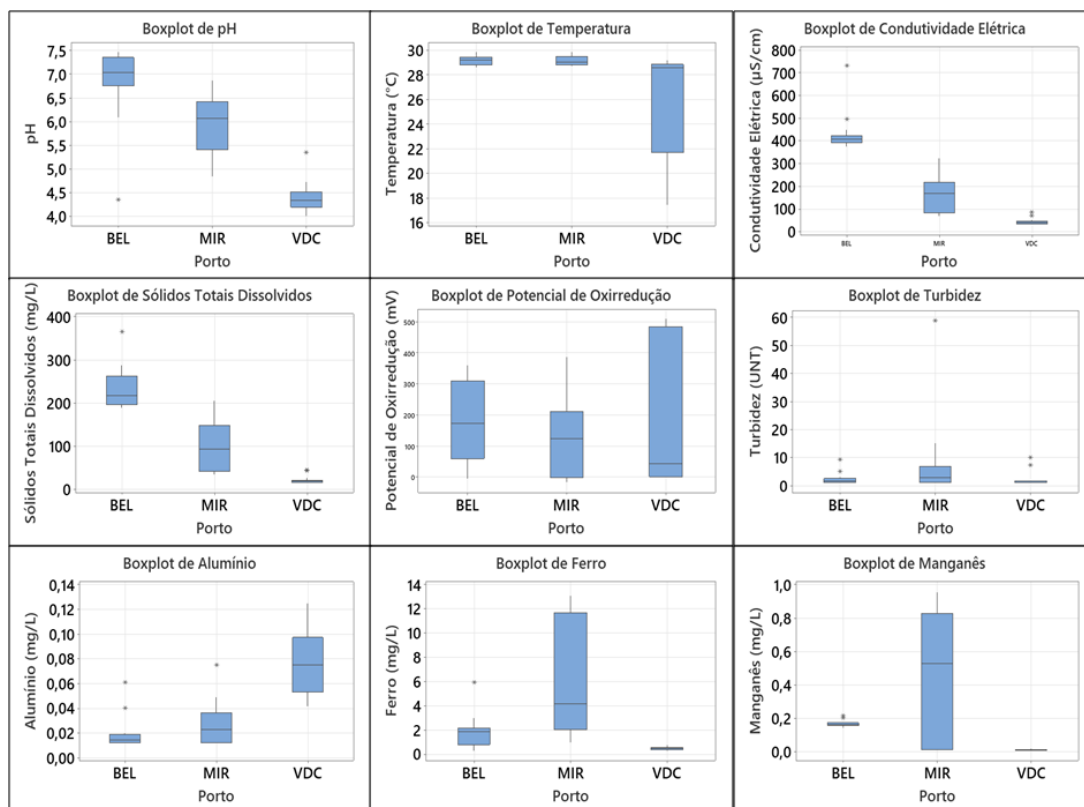


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

O teste de *Kruskal-Wallis*, aplicado à distribuição da variável estudada, indicou que os valores das medianas de pH diferem significativamente, do ponto de vista estatístico, entre as unidades portuárias estudadas ($p=0,000$). Os valores de posto médio geral para cada unidade portuária diferem entre si, indicando que o comportamento de pH nas águas subterrâneas explotadas em cada unidade é diferente, o que pode ser corroborado pelos *boxplots* ilustrados na figura 3.

Figura 3 – Análise de *boxplot* dos parâmetros físico-químicos



Fonte: Autor

Valores de pH mais elevados, como os observados nas unidades portuárias da cidade de Belém-PA, podem ser atribuídos à predominância de íons sódio e cálcio ou bicarbonatos em águas subterrâneas (Gomes; Cavalcante; Silva, 2016). Oliveira Filho; Galarza Toro; Silva (2018) observaram enriquecimento de íons Na^+ no Sistema Aquífero Barreiras, em Belém-PA, e associaram a ocorrência do elemento à ação da precipitação pluviométrica.

As águas mais ácidas, observadas no município de Barcarena-PA, associam-se a ligações que podem ocorrer com metais como Al, Fe e Mn (Gomes; Cavalcante; Silva, 2016). É importante lembrar que o município é considerado grande polo industrial de produção de alumina e alumínio, o que agrega ao meio ambiente, riscos de despejos industriais (De Fátima Pereira *et al.*, 2007).

Os valores das medianas de temperatura variaram de 28,56 a 29,17 °C; o menor valor corresponde à unidade portuária localizada no município de Barcarena-PA, enquanto o maior valor foi



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

observado no município de Belém-PA. As temperaturas determinadas na região de Belém-PA foram maiores quando comparadas com a pesquisa de Carvalho *et al.*, (2015), que estudaram as águas subterrâneas de cinco bairros de Belém-PA; na ocasião, os autores determinaram valor máximo de 27°C.

A temperatura é considerada como uma das características mais importante do meio aquático, uma vez que este parâmetro influencia as propriedades físicas, químicas e biológicas da água, além de ser importante para as interpretações geoquímicas, pois, os constituintes presentes na rocha e na água variam em função da temperatura (Schwarzbach; Morandi, 2000).

Através da aplicação do teste de Kruskal-Wallis, se observou que houve diferença significativa nas medianas de temperatura das águas subterrâneas explotadas nas unidades portuárias de Belém-PA e a unidade portuária de Barcarena ($p = 0,001$). A figura 03 mostra que há diferença entre as amostras do porto de vila do conde quando comparadas com as amostras das unidades portuárias do município de Belém-PA, que por sua vez, não apresentam diferença entre si, pois, os valores de seus postos médios são próximos (quadro 5).

Os resultados de Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) quando submetidos ao teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, mostraram medianas com diferença estatística significativa ($p = 0,000$) e os valores de posto médio indicam que há diferença entre as águas subterrâneas explotadas em cada unidade portuária estudada (figura 3 e tabela 5).

Os valores medianos determinados para CE variaram de 39,50 a 406,75 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, enquanto, para STD os valores variaram entre 19,50 e 216,50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; os menores valores foram encontrados no município de Barcarena e os maiores valores determinados no porto de Belém-PA.

Os valores encontrados refletem os teores de sais dissolvidos ionizados presentes nas águas subterrâneas, onde os índices maiores representam águas mais mineralizadas, podendo esta característica estar atrelada ao cenário urbano no qual a unidade portuária está inserida (Cabral; Lima, 2006; Dos Santos; Dos Santos; Alexandrino, 2011) O Porto de Belém-PA, por exemplo, está inserido em um aglomerado urbano permeado por empresas e prédios residenciais, além de intenso tráfego de veículos.

Ainda na cidade de Belém -PA, o Terminal Petroquímico de Miramar, encontra-se mais afastado do centro da cidade, onde as interferências antrópicas, ainda que presentes, são menores quando comparadas com o cenário antropogêncio do centro de Belém-PA. Por outro lado, as características urbanas encontradas na unidade portuária de Barcarena, são praticamente nulas, uma vez que o porto dista 3,3 Km do aglomerado urbano mais próximo, no entanto, vale ressaltar, que as águas subterrâneas estudadas são de natureza bruta, ou seja, sem tratamento prévio.

Oliveira Filho; Galarza Toro; Silva (2018) em seu estudo observaram que áreas com baixo grau de antropogenia apresentaram águas subterrâneas mais ácidas e como menor quantidade de íons dissolvidos, ou seja, com valores de CE e TDS mais baixo, o que corrobora com os achados nesta pesquisa.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

Os valores médios de CE e STD encontrados em uma das unidades portuárias de Belém-PA, foram semelhantes aos encontrados por Carvalho *et al.*, (2015); por outro lado, Maciel da Silva *et al.*, (2018), encontraram valores médios elevados em uma área do município de Barcarena e associaram os altos teores às características do solo do município, no entanto, a pesquisa dos autores foi realizada em poços do tipo amazonas; poços de características rasas e mais suscetíveis à contaminação.

Os valores medianos de potencial de oxirredução (ORP) não apresentaram diferença estatística significativa ($p = 0,537$), tal observação é corroborada pelo *boxplot* presente na figura 3. Os valores médios de ORP observados nas três unidades portuárias demonstraram caráter redutor, com águas oxidadas.

Para Queiroz *et al.*, (2007), é de suma importância monitorar este parâmetro, uma vez que o seu comportamento reflete os tipos de reações bioquímicas ocorrentes no ambiente. De acordo com Fiorucci Filho (2005), as perdas de oxigênio em sistemas aquáticos podem ocorrer por meio da decomposição da matéria orgânica, bem como processos de nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias como íons metálicos de Fe^{2+} e Mn^{2+} .

Quando submetidos ao teste de *Kruskal-Wallis*, as medianas de turbidez não apresentaram diferença estatística significativa ($p = 0,180$); tais valores variaram de 1,00 a 2,89 UNT. O maior valor mediano corresponde ao comportamento de turbidez na unidade portuária de miramar, que apresentou grande dispersão em seu comportamento, atingido valor máximo de 58,9 UNT, conforme indica a figura 3.

Tal dispersão pode estar relacionada com as oscilações de vazão no interior da tubulação durante os períodos de coletas, provocando o desprendimento de materiais, aumentando a turbidez na água, bem como o estado de conservação e os esforços aplicados na tubulação.

A origem da turbidez pode ser natural ou antrópica, sendo importante a sua quantificação e também a identificação da sua origem. De formas naturais, a principal contribuição vem do material que fica em suspensão carregado pelos solos, como materiais inorgânicos constituídos por Fe, Al, Mn e Si (Casali, 2008).

Os valores de turbidez encontrados nesta pesquisa foram notadamente superiores aos encontrados por Carvalho *et al.*, (2015) na região de Belém-PA e por Maciel da Silva *et al.*, (2018) no município de Barcarena.

Para o metal Alumínio (Al), os valores medianos variaram de 0,0145 a 0,0750 $mg.L^{-1}$, o maior valor corresponde às concentrações de Al determinadas nas águas subterrâneas explotadas no município de Barcarena-PA; o teste de *Kruskal-Wallis* indicou diferença estatística significativa quanto ao comportamento do metal entre as unidades portuárias estudadas ($p = 0,000$). A partir da figura 3, percebe-se que as concentrações de Al determinadas nas águas subterrâneas de Vila do Conde diferem das encontradas nas unidades portuárias da cidade de Belém-PA, esta observação é reforçada quando se leva em consideração os valores dos postos médios (tabela 5), a proximidade dos postos



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

médios referentes aos portos de Belém-PA e Miramar-PA, indica que as amostras são provenientes da mesma população.

A presença de Al em águas subterrâneas é comum em áreas com climas tropicais, cuja precipitação pluviométrica é abundante, pois, propiciam condições fortemente lixiviadas, favorecendo a predominância de elementos de menor mobilidade geoquímica, como é o caso do metal em questão (Bahia; Fenzl; Morales, 2008).

Na região imediata de Belém-PA, poucas são as pesquisas direcionadas para a determinação de metais em águas subterrâneas e poucos destes encontrados na literatura, dispõem de análises de Al, no entanto, os estudos conduzidos por Freddo Filho (2018) e Vasconcelos Junior *et al.*, (2018), associaram a ocorrência de Al em águas subterrâneas ao tipo de solo encontrado na região.

O teste de *Kruskal-Wallis* mostrou que há diferença estatística significativa quanto ao comportamento dos metais ferro e manganês entre as unidades portuárias estudadas ($p = 0,000$ para ambos). As medianas das concentrações de Fe variaram de 0,4668 a 4,1527 mg.L⁻¹ e para Mn a variação das medianas foi de 0,0118 a 0,5273; as maiores concentrações de Fe e Mn foram encontradas na unidade portuária de Miramar e as menores concentrações correspondem à unidade portuária localizada no município de Barcarena-PA.

Ao analisar os valores dos postos médios distribuídos na tabela 5, percebe-se que as três unidades portuárias se diferem quanto ao comportamento do metal Fe, no entanto, considerando as concentrações de Mn, nota-se que as águas explotadas na unidade portuária localizada na cidade de Barcarena são diferentes das explotadas nos portos da cidade de Belém-PA. Tais condições podem ser observadas também na figura 3.

Moruzzi; Reali (2012) afirmam que é comum a presença de Fe e Mn em águas subterrâneas brutas destinadas ao abastecimento público e suprimento industrial. A alta incidência dos metais deve-se principalmente à ação do intemperismo e à eventos de lixiviação (Postawa; Hayes, 2013).

Na Região Metropolitana de Belém-PA, diversos estudos relatam ocorrência de Fe em águas subterrâneas em concentrações superiores a 0,3 mg.L⁻¹, como é o caso das pesquisas de Bahia; Fenzl; Morales (2006), Carvalho *et al.*, (2015), Freddo Filho (2018) e Vasconcelos Junior *et al.*, (2018). Na região de Barcarena, Ferreira *et al.*, (2018) e Pantoja *et al.*, (2021) descreveram concentrações anômalas de Fe.

Geralmente, concentrações desta magnitude são encontradas em poços que captam águas do sistema aquífero do grupo Barreiras, pois, comumente apresenta teores de ferro dissolvido superiores a 0,3 mg.L⁻¹; o alto grau de intemperismo presente no ambiente amazônico também contribui para teores excessivos de Fe, uma vez que o alto índice pluviométrico presente na região propicia a ocorrência de substâncias ácidas capazes de atacar minerais formadores de rochas sedimentares (ricas em Fe) (BAHIA *et al.*, 2011; MESQUITA *et al.*, 2016)

Altas concentrações de Fe necessariamente não representam contaminação antrópica, tendo em vista a ocorrência de reações de oxirredução, atuantes sobre o ferro insolúvel residual do



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

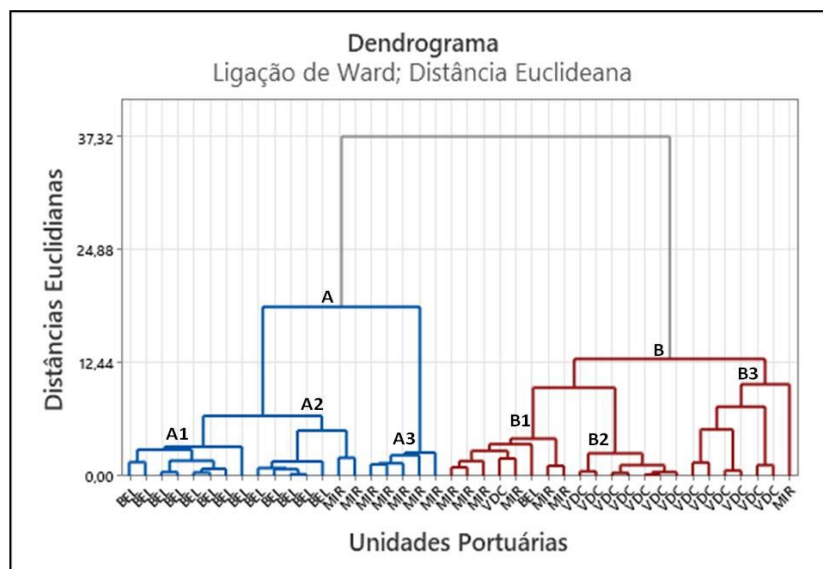
intemperismo químico, sobretudo na região amazônica, tendo em vista os altos índices pluviométricos e acidez das águas que favorecem a decomposição de rochas (ANA, 2015b).

O comportamento de Mn é semelhante ao do Fe nas águas subterrâneas, porém, sua concentração em águas naturais é menor, quando comparada às concentrações de Fe, por ser menos abundante nas formações rochosas (Macedo, 2004).

Estudos conduzidos na Região Metropolitana de Belém-PA relatam concentrações abaixo de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de Mn em águas subterrâneas captadas de poços rasos, como é o caso do estudo de Mesquita *et al.*, (2016), Freddo Filho (2018) e Vasconcelos Junior *et al.*, (2018). No entanto, em muitos sistemas aquíferos da Amazônia, há relatos de concentrações anômalas do metal, como constatado no aquífero Rio Branco e no aquífero Içá, esta condição está relacionada a elevados valores de potencial redox que propiciam a oxidação tanto de Fe, quanto de Mn (ANA, 2015b).

A fim de avaliar a homogeneidade entre as unidades portuárias, os poços selecionados como pontos de coleta foram agrupados de acordo com os teores similares dos parâmetros físico-químicos e químicos determinados nas amostras e o resultado deste procedimento é apresentado no dendrograma, representado na figura 4. O ponto de corte do dendrograma, para definir o número de grupos, fundamentou-se na técnica apresentada por Corrar *et al.*, (2009) em que o corte ocorre no momento em que a distância reescalada do coeficiente de aglomeração apresenta a maior variação.

Figura 4 - Análise de Agrupamentos Hierárquicos dos parâmetros físico-químicos e químicos



Fonte: Autor

Ao analisar o dendrograma, nota-se que os poços selecionados como pontos amostrais em cada unidade portuária são representados pelas linhas horizontais, enquanto as medidas de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

similaridades, calculadas com base nas distâncias euclidianas, são representadas pelas linhas verticais.

Observa-se inicialmente no dendrograma, a nítida separação de dois grupos (A e B), cada um com três subgrupos (A1, A2, A3 e B1, B2, B3), de acordo com as amostras das três unidades portuárias estudadas separadas pela máxima dissimilaridade com distância euclidiana normalizada de 37,32.

Ao analisar o dendrograma no sentido da esquerda para direita, observa-se que o agrupamento A foi formado pelas amostras de águas subterrâneas explotadas nas unidades portuárias da cidade de Belém-PA (Porto de Belém-PA e Terminal Petroquímico de Miramar) com distância euclidiana normalizada de 18,61.

Observa-se uma forte homogeneidade no subgrupo A1 e A3, com distâncias euclidianas de 3,21 e 2,58, respectivamente, tal homogeneidade é ocasionada provavelmente pelos parâmetros pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos e Fe, pois, apresentaram peculiaridade em cada unidade portuária. O subgrupo A2, com distância euclidiana de 5,0, por sua vez, reúne amostras das duas unidades portuárias, a homogeneidade deste grupo de amostras deve-se, principalmente, às concentrações de Al e Mn e aos valores de temperatura, tendo em vista que estas variáveis não apresentaram diferença estatística entre si nas duas unidades portuárias.

O agrupamento B, por sua vez, além de ser formado por amostras das duas unidades portuárias supracitadas, foi também formado por todas as amostras provenientes do Porto de Vila do Conde, com distância euclidiana normalizada de 12,85. O subgrupo B1, bem como o subgrupo B3, com distâncias euclidianas normalizadas de 4,10 e 10,09, respectivamente, são formados por amostras provenientes das três unidades portuárias, o que provavelmente deve-se aos parâmetros ORP e turbidez, que não foram capazes de diferenciar as três unidades portuárias.

O subgrupo B2 é formado exclusivamente por amostras provenientes do Porto de Vila do Conde, a alta homogeneidade deste subgrupo, com distância euclidiana de 2,51, deve-se aos teores de Al, Mn e aos valores de T, que diferenciaram esta unidade portuária das demais, além dos parâmetros que apresentaram valor $p < 0,05$.

7 CONSIDERAÇÕES

O teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* mostrou ser uma ferramenta aplicável para a comparação e diferenciação da qualidade das águas subterrâneas brutas explotadas nas três unidades portuárias estudadas. Dos nove (09) parâmetros estudados, apenas dois destes (ORP e turbidez) não indicaram diferença estatística significativa ($p > 0,05$) e conseqüentemente indicaram que a qualidade das águas subterrâneas explotadas nas três unidades não diferem entre si quanto ao comportamento destes dois parâmetros.

Os resultados de temperatura, Al e Mn permitiram estabelecer de forma significativa, diferença estatística entre as águas explotadas no porto de vila do conde e as águas dos portos da cidade de Belém-PA, onde merece destaque a discrepância observada para o metal Al, quando se considera que



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

a cidade de Barcarena-PA atraiu investimentos públicos e privados para instalação de indústrias de beneficiamento de minérios, como a bauxita, que dá origem ao alumínio.

Em contrapartida, o comportamento dos parâmetros: pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos e ferro é peculiar em cada unidade portuária estudada. As altas concentrações de Mn e principalmente do metal Fe, deve-se à natureza das águas, ou seja, águas subterrâneas que necessitam de um tratamento prévio para que possam ser consumidas, o comportamento observado para as concentrações de Fe é característico do sistema aquífero Barreiras, os altos teores do metal no sistema aquífero, podem gerar manchas em instalações hidráulicas, incrustações nas bombas e nos filtros dos poços, podendo acarretar a diminuição da vida útil dos poços.

A análise de agrupamento hierárquico mostrou a separação de dois grupos (A e B), onde o agrupamento A foi formado exclusivamente pelas amostras de águas subterrâneas explotadas nas unidades portuárias da cidade de Belém-PA, enquanto o agrupamento B formado majoritariamente por amostras de águas subterrâneas explotadas na unidade portuária da cidade de Barcarena-PA, corroborando para as relações indicadas pelo teste de *Kruskal-Wallis*.

A distinção da qualidade das águas subterrâneas explotadas em cada unidade portuária pode estar relacionada às diversas características, como por exemplo: tipo de solo, profundidade dos poços, além das características antrópicas. Diante dos achados desta pesquisa, é aconselhável conduzir estudos que tenham por objetivo avaliar a eficácia do tratamento das águas subterrâneas brutas explotadas em cada unidade portuária, tomando como base as normas vigentes no Brasil que tratam da qualidade da água destinada, sobretudo, ao consumo humano.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000)**: Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da PHA no Brasil. Brasília: ANA, 2015a. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/07c7cf8f-6e81-4040-b405-8361f6b4cdf9/attachments/Volume_III-Hidrogeologia_e_Modelo_Numerico_de_Fluxo_da_PHA_no_Brasil.pdf. Acesso em: 10 mai. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000)**: Volume XII – Resumo Executivo. Brasília: ANA, 2015b. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/07c7cf8f-6e81-4040-b405-8361f6b4cdf9/attachments/Volume_XII_Resumo_Executivo.pdf. Acesso em: 10 mai. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA**: Relatório Final. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4e560d0e-9534-44e2-8e19-31ba5fb3596a/attachments/RF_ANA_BELEM_VOL2_TOMOI.pdf. Acesso em: 10 maio 2023.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

ALI, S. A.; ALI, U. Hydrochemical characteristics and spatial analysis of groundwater quality in parts of Bundelkhand Massif, India. **Applied Water Science**, v. 8, p. 1-15, 2018.

ALVARES, C, A.; STAPE, J., L.; SENTELHAS, P., C.; GONÇALVES, J., L., M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington, DC: APHA, 2017.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO CEARÁ (ALECE). **Cenário Atual do Complexo Industrial e Portuário do Pecém**. Fortaleza: Alece, 2013. Disponível em: <https://www.al.ce.gov.br/download-file/270650>. Acesso em: 10 maio 2023.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Guidelines for Standard Method Performance Requirements (Appendix F)**. Gaithersburg, MD: AOAC International, 2016.

BAHIA, V. E.; FENZL, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUÍS, J. G. Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga - Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, v. 25, p. 43-56, 2011.

BAHIA, V. E.; FENZL, N.; MORALES, G. P. Estudo hidrogeológico e hidrogeoquímico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de Belém (Aurá) e lago água preta. **Geochimica Brasiliensis**, v. 20, p. 295-311, 2006.

BAHIA, V.; FENZL, N.; MORALES, G. P. Análise da vulnerabilidade e risco de contaminação como instrumentos de proteção das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Utinga / Belém(PA). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., 2008, Natal. **Anais [...]**. São Paulo: ABAS, 2008. 1 *online*. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23321/15414>. Acesso em: 23 mai. 2023.

BASU, A.; SAHA, D.; SAHA, R.; GHOSH, T.; SAHA, B. A review on sources, toxicity and remediation technologies for removing arsenic from drinking water. **Res Chem Intermediates**, v. 40, p. 447-485, 2014.

CABRAL, N. M. T.; LIMA, L. M. Comportamento hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras nos bairros centrais de Belém, Pará. *Boletim do Museu Paraense*. **Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 1, p. 149-166, 2006.

CARVALHO, F. I. M.; LEMOS, V. P.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. G. F. Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas de Belém a partir de Parâmetros Físico-Químicos e Níveis de Elementos Traço Usando Análise Multivariada. **Revista Virtual de Química**, v. 7, p. 2221-2241, 2015.

CASALI, Carlos Alberto. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

CHRISTIANSEN, M.; FAGERHOLT, K.; NYGREEN, B.; RONEN, D. *Maritime transportation*. *In*: BARNHART, C.; LAPORTE, G. (eds.). **Handbooks in Operations Research and Management Science**, Amsterdam: North-Holland, 2007, v. 14, cap. 4, p. 189-284.

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento – Porto de Belém**. Belém: CDP, 2021, 309 p. Disponível em: <https://cdp.com.br/wp-content/uploads/2022/06/PDZ-2021-DO-PORTO-DE-BELEM.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento – Porto de Vila do Conde.** Belém: CDP, 2022, 420 p. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/arquivos-pdz/pdz_vila_do_conde_portaria_591_2021-e-alterado-pela-portaria-36_2023.pdf. Acesso em: 10 maio 2023.

CORRAR, Luis João; PAULO, Edilson; DIAS, José Maria Filho. **Análise Multivariada para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia.** São Paulo, SP: Atlas, 2009.

DA SILVA, E. R. M.; COSTA, L. G. S.; DOS SANTOS SILVA, A.; DE SOUZA, E. C.; BARBOSA, I. C. C. Caracterização Físico-Química, Química e Quimiométrica de Águas Subterrâneas dos Aquíferos Pirabas e Barreiras em Municípios do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, p. 1026-1041, 2018.

DE FÁTIMA PEREIRA, S.; ARAÚJO DE LIMA, M.; HELOIZY FREITAS, K.; MESCOUTO, C. S.; FONSECA SARAIVA, A. Estudo químico ambiental do rio Murucupi - Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. **Ambiente & Água**, v. 3, p. 62-82, 2007.

DE FÁTIMA ROSSETI, D. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 14, p. 77-89, 2001.

DE FREITAS, Marco Aurélio Vasconcelos. Manual de boas práticas portuárias do Porto de Suape. Rio de Janeiro, RJ: COPPE – UFRJ, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: IBGE, 1974, 438 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24022.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.

DOS SANTOS, J. S.; DOS SANTOS, M. L. P.; ALEXANDRINO, D. M. Comparative study of the salinalization process in surface water reservoirs located in two distinct regions in southwestern Bahia, Brasil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, p. 1418-1425, 2011.

FERREIRA, R. A.; MENDES, N. O. M.; DA SILVA, E. F.; DIAS, A. V. M.; CRUZ, R. H. R. Análise qualitativa das águas subterrâneas captada para abastecimento na comunidade de Burajuba (Barcarena - PA) no ano de 2018. **In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL**, 16.; FÓRUM LATINO-AMERICANO DE ENGENHARIA E SUSTENTABILIDADE, 4., 2018, Palmas. **Anais** [...]. Campinas: Galoá, 2018. 1 *online*. Disponível em: <https://proceedings.science/eneeamb-2018/trabalhos/analise-qualitativa-das-aguas-subterraneas-captada-para-abastecimento-na-comunid?lang=pt-br>. Acesso em: 23 mai. 2023.

FIORUCCI, A. R.; FILHO, E. B. A importância do oxigênio dissolvido em sistemas aquáticos. **Química Nova na escola**, v. 22, p. 10-16, 2005.

FREDDO FILHO, Valmor José. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero barreiras: estudo de caso em Benevides – PA.** 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília: FUNASA, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 10 maio 2023.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

GOLDHABER, M. B.; MILLS, C. T.; MORRISON J. M.; STRICKER, C. A.; MUSHET, D. M.; LABAUGH, J. W. Hydrogeochemistry of prairie pothole region wetlands: role of long-term critical zone processes. **Chem Geol**, v. 387, p. 170-183, 2014.

GOMES, M. R. C.; CAVALCANTE, I. N.; SILVA, M. P. Análise Qualitativa das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará. **Estudos Geológicos**, v. 26, p. 62-76, 2016.

HE, X.; LI, P.; WU, J.; WEI, M.; REN, X.; WANG, D. Poor groundwater quality and high potential health risks in the Datong Basin, northern China: research from published data. **Environ Geochem Health**, v. 43, p. 791-812, 2020.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V. How much do we know about the groundwater quality and its impact on Brazilian society today?. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 31, p. 1-10, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Conheça cidades e estados do Brasil**. Brasília: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 maio 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo hidrogeológico para a definição da possibilidade de captação de água subterrânea na usina de alumínio da ALBRÁS em Barcarena/PA, 1984**. São Paulo: IPT, 1984, 381 p.

KILIÇ, Z. The importance of water and conscious use of water. **International Journal of Hydrology**, v. 4, p. 239-241, 2020.

LIN H. Earth's critical zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances. **Hydrol Earth Syst Sci**, v. 14, p. 25-45, 2010.

MACEDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas & Águas**. 2. ed. Belo Horizonte, MG: CRQ, 2004.

MACIEL DA SILVA, E. R.; SILVA COSTA, L. G.; DOS SANTOS SILVA, A.; DE SOUZA, E. C.; BARBOSA, I. C. C. Caracterização Físico-Química, Química e Quimiométrica de Águas Subterrâneas dos Aquíferos Pirabas e Barreiras em Municípios do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, p. 1026-1041, 2018.

MARTINS, J. A. C.; MATTA, M. A. S.; CAVALCANTE, I. N.; ASSIS, J. F. P.; DINIZ, C. G.; VASCONCELOS, Y. B.; DE CRISTO, L. C. F.; DO ROSÁRIO, D. C. Qualidade das águas subterrâneas da bacia do murucutu, Belém-PA. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010, São Luis. Anais [...].** São Paulo: ABAS, 2010. 1 *online*. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23141/15256>. Acesso em: 23 maio 2023.

MARTINS, V. T. S.; PINO, D. S.; BERTOLO, R.; HIRATA, R.; BABINSKI, M.; PACHECO, D. F.; RIOS, A. P. Who to blame for groundwater fluoride anomaly in São Paulo, Brazil? **Hydrogeochemistry and isotopic evidence. Applied Geochemistry**, v. 90, p. 25-38, 2018.

MESQUITA, K. F. C.; SANTOS, M. L. S.; PEREIRA, J. A. R.; DA SILVA, M. A. M. Avaliação da concentração de metais na água subterrânea consumida em comunidades amazônicas brasileiras. **Ciência & Engenharia. Science & Engineering Journal**, v. 25, p. 91-96, 2016.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Resolução-RDC Nº 17, de 12 de janeiro de 2001**. Brasília: Ministério da Saúde, 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0017_12_01_2001.html. Acesso em: 10 maio 2023.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública (online)**, v. 36, p. 370-374, 2002.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, p. 29-43, 2012.

NEVES, S.; SERRÃO G. Indicadores de dinâmica costeira no Marau - Ilha de Mosqueiro, Belém do Pará. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais [...]**. São Paulo: UGB, 2016. 1 *online*. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/7/7-567-1547.html>. Acesso em: 23 maio 2023.

OLIVEIRA FILHO, O. B. Q.; GALARZA TORO, M. A.; SILVA, W. C. M. Caracterização hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas da Região Metropolitana de Belém (RMB) e investigação de possíveis misturas entre águas. **Cadernos de Geociências**, v. 14, p. 8-23, 2018.

OLIVEIRA, Diomar Cavalcante. **Distribuição de metais pesados e isótopos de PB em sedimentos de fundo do Rio Murucupi Barcarena-Pará**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

PANDEY, H. K.; DUGGAL, S. K.; JAMATIA, A. Fluoride contamination of groundwater and its hydrological evolution in District Sonbhadra (U.P.) India. **Proc Nat Acad Sci India Sect A Phys Sci**, v. 96, p. 979-985, 2016.

PANTOJA, D. N. S. M.; RIBEIRO, H. M. C.; LOIOLA, R. S. P.; COSTA, G. M. M.; PANTOJA, N. G.; CABRAL, G. S.; FURTADO, L. G. Avaliação dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos de poços individuais no município de Barcarena/PA. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, p. 557-566, 2021.

PIMENTEL, D.; BERGER, B.; FILIBERTO, D.; NEWTON, M.; WOLFE, B.; KARABINAKIS, E.; CLARK, S.; POON, E.; ABBETT, E.; NANDAGOPAL, S. Water Resources, Agriculture and the Environment. **BioScience**, v. 54, p. 909-918, 2004.

PORTO DE SANTOS. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) Porto de Santos**. Santos: Porto de Santos, 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/pdz29-pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.

PORTO DO ITAQUI. **Plano mestre do complexo portuário do Itaqui**. Itaqui: Porto de Itaqui, 2018. Disponível em: <https://www.portodoitaqui.com/files/arquivos/plano-mestre.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.

POSTAWA, A.; HAYES, C. **Best practice guide on the control of iron and manganese in water supply**. London: IWAPublishing, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM (PMB). **Revisão do plano municipal de saneamento básico, do plano de gestão integrada de resíduos sólidos e respectivas políticas municipais**: Relatório 3.1 – revisão 1. Belém: PMB, 2020. Disponível em: <http://ww4.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2020/10/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-Geral-de-Bel%C3%A9m-Relat%C3%B3rio-3.1.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRUTAS EXPLOTADAS EM TRÊS UNIDADES PORTUÁRIAS DO ESTADO DO PARÁ A PARTIR DE TESTE ESTATÍSTICO NÃO PARAMÉTRICO
Neuton Trindade Vasconcelos Junior, Bruno Santana Carneiro, Luíza de Cássia Santa Brígida Gomes, Cássio Raimundo Freitas Faial, Kelson do Carmo Freitas Faial

QUEIROZ, S.; MAXIMINIANO, A.; SIQUEIRA, A. F.; CRUZ, Z. M. A.; RAMOS, A. C. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos do processo de atenuação natural monitorada em área contaminada por solventes clorados. **Natureza on line**, v. 5, p. 10-18, 2007.

RAMKUMAR, T.; VENKARRAMANAN, S.; ANITHAMARY, I.; IBRAHIM, S. M. Evaluation of hydrogeochemical parameters and quality assessment of the groundwater in Kottur blocks, Tiruvarur district, Tamilnadu, India. **Arab J Geosci**, v. 6, p. 101-108, 2021.

RODRIGUES, H. C. T.; DA SILVA CAMPOS, P. S.; ALMEIDA, H. F. P.; PAIVA, P. F. P. R.; DOS SANTOS JUNIOR, P. C.; MARQUES, G. T.; MORAIS, E. C. Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Barcarena-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 1598-1612, 2020.

SAWYER, A. H.; MICHAEL H. A.; SCHROTH, A. W. From soil to sea: the role of groundwater in coastal critical zone processes. **Wires Water**, v. 3, p. 706-726, 2016.

SCHWARZBACH, M. S. R.; MORANDI, I. C. Avaliação da variabilidade temporal das características físico-químicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Porto Alegre, Rio Grande Do Sul, Brasil. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 11., 2000, Fortaleza. **Anais** [...]. São Paulo: ABAS, 2000. 1 *online*. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24337/16341>. Acesso em: 23 mai. 2023.

SUBBA RAO, N.; RAVINDRA, B.; WU, J. Geochemical and health risk evaluation of fluoride rich groundwater in Sattenapalle Region, Guntur district, Andhra Pradesh, India. **Hum Ecol Risk Assess**, v. 26, p. 2316-2348, 2020.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados** (Online), v. 22, p. 7-16, 2008.

VASCONCELOS JUNIOR, N. T.; FAIAL, K. R. F.; SILVA, M. M. C.; CARNEIRO, B. S.; MEDEIROS, A. C.; FERREIRA, V. S.; ARAUJO, P. P.; COSTA, J. P.; FAIAL, K. C. F. Diagnóstico qualitativo das águas subterrâneas de poços rasos do bairro das flores, município de Benevides-PA, a partir da determinação de elementos traços. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**, 58., 2018, São Luís. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: ABQ, 2018. 1 *online*. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2018/trabalhos/5/970-13811.html>. Acesso em: 23 maio 2023.