



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 12, n° 02 (2026)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2026v12n2ID43514>



Qualidade da água de abastecimento e implicações à saúde da população na mesorregião do Agreste Pernambucano

Quality of water supply and implications for public health in the Agreste mesoregion of Pernambuco

Maurício Costa Goldfarb¹; Alessandra Maria B. de Souza Nascimento²; Simone Rosa da Silva³; Willames de Albuquerque Soares⁴

¹ Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife/PE, Brasil. Email: mauricio.goldfarb@upe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0909-1514>

² Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife/PE, Brasil. Email: alessandra.mbsnascimento@upe.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9192-5547>

³ Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife/PE, Brasil. Email: simonerosa@poli.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546>

⁴ Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife/PE, Brasil. Email: willames.soares@upe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3268-7241>

Resumo: Considerando a importância do cloro para o processo de desinfecção nos sistemas de abastecimento de água, este trabalho teve como objetivo avaliar a conformidade do cloro residual e as implicações à saúde da população na região do Agreste Pernambucano. As informações foram oriundas do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A metodologia incluiu a verificação de normalidade, com o teste de Shapiro-Wilk; o teste de hipótese, com t-Student, e a análise de correlação de Pearson. Os resultados demonstram que os municípios com amostras de cloro residual fora do padrão estão mais sujeitos às Doenças Diarreicas Agudas. Indicam também a necessidade de melhoria dos sistemas de tratamento da água no que se refere à garantia dos valores mínimos de cloro residual, principalmente na região do Agreste Central, onde se encontra a maioria dos municípios em desconformidade.

Palavras-chave: Saneamento básico; Abastecimento de água; Cloro residual.

Abstract: Considering the importance of chlorine in the disinfection process in water supply systems, this study aimed to assess residual chlorine compliance and its implications for public health in the Agreste region of Pernambuco. The data were obtained from the National Sanitation Information System and the Brazilian Institute of Geography and Statistics. The methodology included assessment of normality using the Shapiro-Wilk test; hypothesis testing using the Student's t-test; and Pearson's correlation analysis. The results demonstrate that municipalities with non-compliant residual chlorine samples are more susceptible to acute diarrheal diseases. They also indicate the need to improve water treatment systems regarding the guarantee of minimum residual chlorine levels, especially in the Central Agreste region, where most of the non-compliant municipalities are located.

Keywords: Basic sanitation; Water supply; Residual chlorine.

Recebido: 04/04/2026; Aceito: 11/08/2026; Publicado: 02/09/2026.

1. Introdução

A relação entre a eficiência do abastecimento de água e a qualidade de vida das pessoas é amplamente documentada na literatura acadêmica. Com essa compreensão, o arcabouço jurídico internacional, representado pela Resolução A/64 de 2010, da Organização das Nações Unidas (ONU), atribui a condição de acesso à água, com qualidade e quantidade suficiente, o status de direito humano fundamental. O Estado brasileiro, não só como signatário dessa legislação global, mas conforme observam Costa (2023) e Klaus Júnior, Ogoshi e Martins, (2024), de acordo com sua própria Constituição, deve garantir esse direito a seus cidadãos. No entanto, segundo os dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, apresentados pelo Instituto Trata Brasil (2024), aproximadamente 32 milhões de brasileiros não têm acesso satisfatório à água em suas residências.

Apesar dos avanços observados nas últimas décadas, os desafios no sentido da universalização do abastecimento de água, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, como apontam Coelho e Campos (2014) e Andrade (2015), são sérios e persistentes. Mesmo na região Nordeste, as discrepâncias internas com relação ao acesso da população aos serviços públicos são grandes e, segundo Hissa-Teixeira (2018) e Porto (2024), estão relacionadas ao contexto histórico da formação econômica das cidades, com políticas que se mostraram insuficientes para melhorar os indicadores sociais de forma consistente, ampliando ainda mais as desigualdades. Nesse mesmo sentido, mas de forma específica sobre as políticas para acesso aos serviços de saneamento, Correia *et al.* (2023) observam que estas seguem um modelo centro-periferia, que tem, historicamente, priorizado as regiões mais ricas em detrimento das que habitam as populações mais vulneráveis.

Completamente inserido na região Nordeste, o semiárido brasileiro tem os menores índices pluviométricos nacionais. Segundo Caetano *et al.* (2020), características como o elevado índice de aridez, solos rasos e impermeáveis, assim como a intermitência dos rios, são fatores agravantes que resultam em uma disponibilidade hídrica per capita insuficiente. Monteiro *et al.* (2024) e Rocha *et al.* (2025) exemplificam essa condição quando mostram as dificuldades para o abastecimento de água em comunidades rurais do semiárido brasileiro no estado de Pernambuco.

Assim como a universalização, a qualidade da água fornecida, de acordo com Heller e Pádua (2010), Poague e Heller (2019), e Schafaschek *et al.* (2024), é também uma importante questão sobre os sistemas de abastecimento. Entre os problemas decorrentes da qualidade da água, estão as diversas doenças de veiculação hídrica relacionadas à falta de saneamento adequado (Rufino *et al.*, 2016). Citando dados da OMS e Unicef, Prolagos (2021) observa que entre estas, as doenças diarreicas são as de maior importância, representando mais de 80% do total, sendo responsáveis por cerca de 40% das internações em crianças de idade inferior a cinco anos.

No Nordeste do Brasil, entre o início de 2019 e o final de 2023, foram registradas quase 90 mil internações hospitalares por doenças diarreicas em crianças de até 14 anos, com custo superior a 32 milhões de reais (Cordeiro Aranha *et al.*, 2024). No Brasil, o impacto aos sistemas de saúde devido a esse agravo à saúde é tão importante que, por decisão do Ministério da Saúde, os casos individuais de Doenças Diarreicas Agudas (DDA) estão na classificação das doenças de notificação compulsória. Estas informações são periodicamente publicizadas pela Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente (SVSA), vinculada ao Ministério da Saúde.

Para a garantia da qualidade da água fornecida, o processo de desinfecção é fundamental para eliminação de agentes patogênicos de veiculação hídrica. Richter (2009) observa que o cloro, elemento químico da família dos halogênios, por suas características, que incluem o preço acessível, a facilidade de transporte e manipulação, assim como a capacidade de suprimir a maior parte dos microrganismos nocivos presentes na água, tornou-se o agente desinfetante mais empregado nos sistemas de tratamento de água no Brasil.

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, apresentada em Brasil (2021), descreve os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano. O capítulo V desta portaria, que trata especificamente de padrões de potabilidade, estabelece a necessidade de manutenção do valor mínimo de 0,2 mg/L de cloro residual ou de dióxido de cloro, ou 2 mg/L de cloro residual combinado, em toda a extensão do sistema de distribuição e nos pontos finais de consumo. Para a avaliação da conformidade a esta portaria, as empresas responsáveis pelo abastecimento de água devem, de forma contínua e sistemática, calcular e divulgar os resultados de diversos indicadores, como o índice de conformidade da quantidade de amostra de cloro residual e a incidência das análises de cloro residual fora do padrão (ICR). Estes indicadores estão disponíveis no Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (Brasil, 2023).

Este trabalho, desenvolvido na região semiárida do Agreste Pernambucano, teve como objetivo principal investigar a adequação dos sistemas de abastecimento de água, com relação ao que estabelece a referida portaria, sobre a manutenção do valor mínimo do cloro residual, e as consequências da não conformidade na saúde da população, representada pelo número de casos de doenças diarreicas agudas notificados pela Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Busca-se, desse modo, contribuir para a indicação de prioridades para melhoria do sistema de abastecimento de água com propósito específico sobre a saúde da população.

2. Metodologia

2.1 Local de estudo

O estudo foi desenvolvido na mesorregião do Agreste Pernambucano, limitada pelo estado da Paraíba, ao norte, pelo estado de Alagoas, ao sul, pela Zona da Mata pernambucana, a leste, e pelo Sertão pernambucano, a oeste. É dividida em três microrregiões, Agreste Meridional (AM), com 26 municípios; Agreste Central (AC), também com 26, e Agreste Setentrional (AS), com 19, totalizando 71 municípios. Sua população, de aproximadamente 2,34 milhões de habitantes, está distribuída em uma área de 24 mil quilômetros quadrados, resultando em uma densidade populacional, de 97,5 hab/km², que lhe caracteriza como uma região semiárida densamente povoada.

Conforme Rodrigues *et al.* (2017), o clima predominante é o típico das regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, tropical quente e seco, tropical quente ou subúmido seco, com chuvas irregulares e evapotranspiração potencial superior às precipitações, resultando em déficit hídrico. Com relação às temperaturas, Rodrigues *et al.* (*op cit.*) observam máximas entre 24 e 31°C, nos meses de novembro a fevereiro, e mínimas de 16 a 20°C, registradas nos meses de julho e agosto.

A Figura 1 apresenta o mapa da região de estudo, composto pelos municípios do Agreste Pernambucano, distribuídos em suas três microrregiões: Agreste Meridional (AM), ao sul, o Agreste Central (AC), na região central, e o Agreste Setentrional (AS), ao norte. Observa-se a exceção do município de Tacaimbó, excluído do estudo por indisponibilidade de dados necessários à pesquisa no ano de 2022, por parte da Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente.

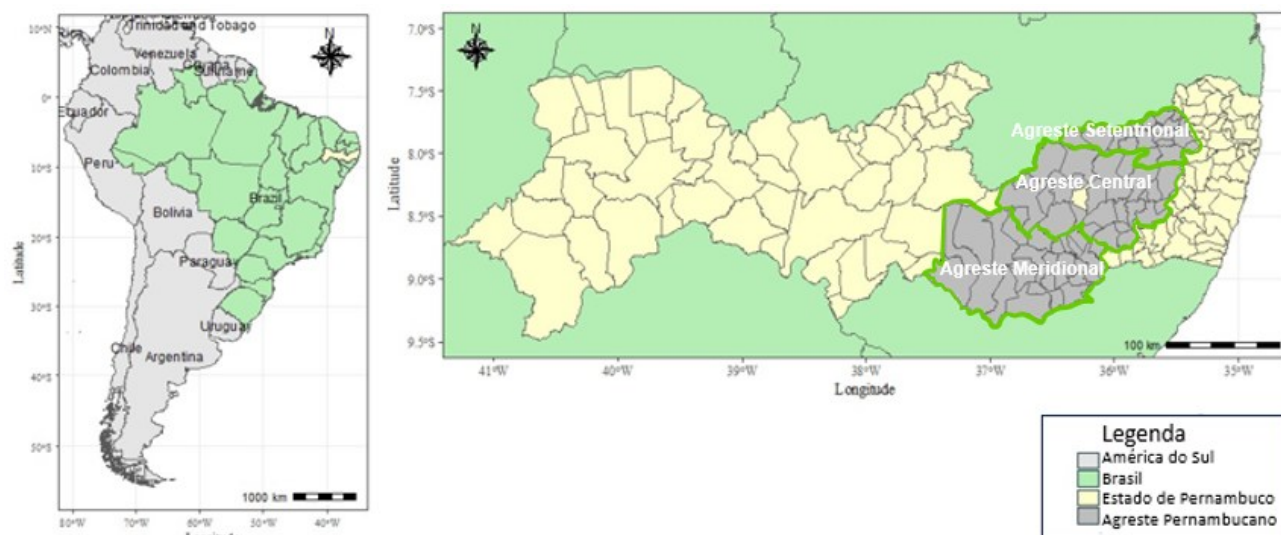


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Fonte: base de dados do IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

2.2 Obtenção dos dados

A pesquisa, caracterizada como estudo quantitativo de corte transversal, como descrito em Raimundo *et al.* (2018), foi feita a partir de dados referentes ao ano de 2022, disponibilizados em 2023. As informações sobre o indicador de conformidade de cloro residual fora do padrão foram obtidas do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), gerido pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, vinculada ao Ministério das Cidades, disponíveis em Brasil (2023). No SNIS os dados sobre diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos no ano de 2022, constam na tabela de indicadores desagregados e agregados que foi gerada a partir de dados fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

As informações sobre Doenças Diarreicas Agudas nos municípios do Agreste Pernambucano foram obtidas por somatório dos dados das 52 semanas do ano de 2022, gerados em setembro de 2023 e atualizados em junho de 2024 pela Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente (SVSA), vinculada ao Ministério da Saúde (BRASIL, 2024).

Os dados sobre a população dos 70 municípios que compõem a área de estudo foram obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a partir do censo demográfico de 2022, divulgado em junho de 2023.

2.3 Análise dos dados

De acordo com o indicador de cloro residual (ICR) os municípios foram separados em dois grupos. O primeiro grupo é composto por aqueles municípios em que o indicador atende à Portaria GM/MS nº 888, em todas as amostras analisadas. No segundo grupo, aqueles municípios que tiveram amostras fora dos valores preconizados pela Portaria.

Nos dois grupos, a verificação inicial de posição e dispersão, assim como de existência de outliers com relação aos dados sobre os casos relativos de DDA foram feitas a partir da construção e análise de *boxplot*. Em seguida, após a retirada dos *outliers*, com vistas à posterior utilização de análises paramétricas, especialmente teste de hipóteses e análise de correlação, fez-se a verificação de normalidade com aplicação do teste de Shapiro-Wilk com nível significância de 5%. Nesse caso, a normalidade é confirmada quando o valor do operador do teste calculado W for superior ao valor tabelado W_{α} , obtido em função do nível de significância e do tamanho da amostra, de forma que a normalidade é aceita se $p > 0,05$.

O teste de hipótese aplicado foi o t-Student, unilateral, para amostras não pareadas ao nível de significância de 5%. A hipótese nula ou H_0 foi que a média dos casos de DDA por mil habitantes dos municípios com totalidade de amostras com valores de cloro residual em conformidade, é menor ou igual que a média dos casos de DDA por mil habitantes dos municípios com amostras com valores de cloro residual em desconformidade com o que preconiza a Portaria GM/MS nº 888. A hipótese alternativa ou H_1 é que o primeiro grupo, municípios em conformidade, tem número de casos relativos de DDA superior ao segundo grupo.

A análise de correlação de Pearson, possibilitada pela normalidade dos dados, foi avaliada a partir dos coeficientes de correlação (r) e determinação (r^2), com referência aos valores apresentados em Hopkins (2000). A regressão linear, para obtenção do modelo de ajuste entre o indicador de conformidade de cloro residual e número de casos relativos de DDA, está conforme Hopkins (*op. cit.*).

3. Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta os dados de 51 municípios do Agreste Pernambucano classificados no primeiro grupo, ou seja, nos quais o indicador de cloro residual (ICR) obteve resultado satisfatório para todas as amostras analisadas. Na segunda coluna, o número absoluto de casos de DDA; na terceira, a população do município e, na quarta coluna, o número relativo de casos de DDA por mil habitantes, calculado em função dessas duas.

A amplitude total dos casos relativos de DDA foi de 101,41 casos por mil habitantes, calculada pela diferença entre o maior valor, observado em Santa Cruz do Capibaribe, com 103,40 casos por mil habitantes, e o menor, em Itaíba, com 1,99 casos por mil habitantes. Quando comparada à ordem de grandeza dos dados, o valor da amplitude total indica elevada dispersão para os casos relativos de DDA, ou ainda a presença de possíveis *outliers*.

Tabela 1 - Municípios com indicador de cloro residual (ICR) satisfatório.

Município (Microrregião)	DDA (Casos)	Pop. (hab)	Casos (mil hab)	Município	DDA (Casos)	Pop. (hab)	Casos (mil hab)
Águas Belas (AM)	1289	41548	31,02	Ibirajuba (AC)	67	7114	9,42
Altinho (AC)	742	20674	35,89	Itaíba (AM)	65	32650	1,99
Angelim (AM)	56	10241	5,47	João Alfredo (AS)	646	27725	23,30
Barra Guabiraba (AC)	52	12263	4,24	Jucati (AM)	94	11517	8,16
Bezerros (AC)	3318	61694	53,78	Jupi (AM)	123	15329	8,02
Bom Conselho (AM)	1516	44294	34,23	Lagoa do Ouro (AM)	480	11933	40,22
Bom Jardim (AS)	1173	37629	31,17	Lagoa dos Gatos (AC)	203	14076	14,42
Bonito (AC)	1658	37474	44,24	Limoeiro (AS)	1609	56510	28,47
Brejão (AM)	68	9079	7,49	Palmeirina (AM)	182	7031	25,89
Brejo M. Deus (AC)	3761	48648	77,31	Panelas (AC)	1045	22991	45,45
Buíque (AM)	1620	52097	31,10	Paranatama (AM)	550	12199	45,09
Cachoeirinha (AC)	1205	19899	60,56	Passira (AS)	1346	28340	47,49

Caetés (AM)	783	28827	27,16	Pedra (AM)	823	22795	36,10
Calçado (AM)	242	11093	21,82	Poção (AC)	297	10500	28,29
Camocim S Felix (AC)	1145	17419	65,73	Sairé (AC)	75	10887	6,89
Canhotinho (AM)	453	24329	18,62	Salgadinho (AS)	307	5727	53,61
Capoeiras (AM)	527	18338	28,74	Saloá (AM)	187	13836	13,52
Casinhas (AS)	322	12967	24,83	Sta C. Capibaribe (AS)	10159	98254	103,40
Correntes (AM)	212	17131	12,38	São João (AM)	216	23837	9,06
Cumaru (AS)	584	15920	36,68	São V Férrer (AS)	930	16677	55,77
Cupira (AC)	1498	23518	63,70	Surubim (AS)	579	64120	9,03
Feira Nova (AS)	1584	21427	73,93	Terezinha (AM)	315	6513	48,36
Frei Miguelino (AS)	399	13636	29,26	Tupanatinga (AM)	649	26937	24,09
Garanhuns (AM)	2356	142506	16,53	Venturosa (AM)	1580	17251	91,59
Gravatá (AC)	5551	86516	64,16	Vertente do Lério (AS)	98	7558	12,97
Iati (AM)	820	17165	47,77				

Fontes: base de dados de Brasil (2024) e do IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

A Tabela 2 apresenta os dados de 19 municípios do Agreste Pernambucano classificados no segundo grupo, ou seja, nos quais o indicador de cloro residual, ICR, não apresentou valor satisfatório em todas as amostras analisadas. Entre estes, observa-se a falta do município de Tacaimbó, que deveria pertencer ao segundo grupo, mas foi excluído do estudo por indisponibilidade, por parte da Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente, de registros de casos de doenças diarreicas agudas no ano de 2022.

O número de municípios que compõem a Tabela 2, os do segundo grupo, 19 de um total de 70 municípios, revela que aproximadamente 27% dos municípios da área de estudo não estão de acordo com a determinação da Portaria GM/MS nº 888, do Ministério da Saúde, sobre a necessidade de manutenção do valor mínimo de cloro residual em todas as amostras analisadas. Este é um valor preocupante, considerando a importância do cloro para desinfecção e garantia da qualidade da água para consumo humano.

Tabela 2 - Municípios com indicador de cloro residual (ICR), fora do padrão.

Município (Microrregião)	DDA (Casos)	Pop. (hab)	Casos (mil hab)	ICR (%)
Alagoinha (AC)	767	13542	56,64	5,45
Agrestina (AC)	414	23779	17,41	0,5
Belo Jardim (AC)	3317	79507	41,72	0,33
Caruaru (AC)	11890	378048	31,45	1,13
Jataúba (AC)	1757	15843	110,90	5,77
Jurema (AM)	495	13648	36,27	1,23
Lajedo (AM)	2416	39582	61,04	41,04
Machados (AS)	492	11333	43,41	2,78
Orobó (AS)	206	21808	9,45	15
Pesqueira (AC)	2746	62722	43,78	6,74
Riacho das Almas (AC)	794	20639	38,47	1,62
Sanharó (AC)	977	18624	52,46	12,58
Santa M. Cambuca (AS)	299	14013	21,34	3,57
São Joaquim Monte (AC)	1038	20037	51,80	0,56
São Bento do Una (AC)	3101	49449	62,71	27,88
São Caitano (AC)	2550	37126	68,69	1,03

Taquaritinga Norte (AS)	2110	24736	85,30	8,67
Toritama (AS)	1055	41137	25,65	1,35
Vertentes (AS)	948	21959	43,17	2,78

Fontes: base de dados de Brasil (2023), Brasil (2024) e IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

Com relação ao número de casos notificados de DDA, na coluna 5 da Tabela 2, o município de Jataúba é o que apresenta o pior resultado com 110,90 casos por mil habitantes de DDA. Na melhor situação, o de Orobó com 9,75. Para o segundo grupo, estes valores resultam em uma amplitude total de 101,45 casos por mil habitantes. Assim como aconteceu no primeiro grupo, quando comparada à ordem de grandeza dos dados, o valor da amplitude total indicou elevada dispersão e ainda a possível presença de *outliers*.

Com relação ao atendimento à portaria do Ministério da Saúde, na coluna 4 da Tabela 2, o valor mais desfavorável ocorre no município de Lajedo, com 41% das amostras fora do padrão, ou seja, sem a presença da quantidade mínima de cloro residual necessária à desinfecção da água.

Esse é um problema que tem sido observado em diversos municípios, especialmente das regiões Norte e Nordeste do Brasil, conforme apontam Araújo e Almeida (2025) e Ribeiro (2024). Este segundo pesquisador, com objetivo de investigar sobre os principais problemas relacionados ao sistema de abastecimento de água no município de São Bento, no estado do Maranhão, encontra resultado ainda mais grave que o apresentado na Tabela 2. Segundo esse pesquisador, 50% das amostras do município de São Bento tiveram valores do cloro residual abaixo do recomendado pela Portaria.

A Figura 2, gerada com relação aos valores do indicador de cloro residual, das Tabelas 1 e 2, apresenta os municípios do grupo 1 em azul, ou seja, os que tiveram todas as amostras em conformidade com a Portaria nº 888. Em vermelho, são os municípios que tiveram amostras fora do padrão estabelecido pela Portaria.



Figura 2 - Classificação dos municípios pesquisados.

Fonte: base de dados de Brasil (2023) e IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

Na Figura 2, a região do Agreste Meridional é a que consta em melhor condição, com apenas dois dos 26 municípios, correspondendo a 7,7% com amostras de cloro residual em desconformidade. No Agreste Setentrional, seis dos 19, indicando 31,6%. Na situação mais desfavorável, o Agreste Central com 11 dos seus 26 municípios, correspondendo a 42,3% deles com amostras de cloro residual em desconformidade. Ou seja, em todas as microrregiões do Agreste Pernambucano, há municípios em desacordo com o que determina a Portaria GM/MS nº 888, do Ministério da Saúde, sobre o valor mínimo de cloro residual.

Para uma primeira avaliação da distribuição dos dados dos casos relativos de DDA, a Figura 3 apresenta o *boxplot* para os municípios do primeiro e do segundo grupo, construídos com uso do *software* estatístico R a partir dos valores das Tabelas 1 e 2. A Figura 3 torna possível a comparação entre os dois grupos, mesmo antes da verificação de normalidade, a partir dos cálculos das medianas. Observa-se considerável diferença entre as medianas: para o primeiro grupo, o valor de 29,3, e para o segundo, de

43,4 casos por mil habitantes. Em cada caso, observa-se a presença de um único *outlier* superior. Estes valores podem ser oriundos de erros de supernotificação ou questões particulares desses municípios.

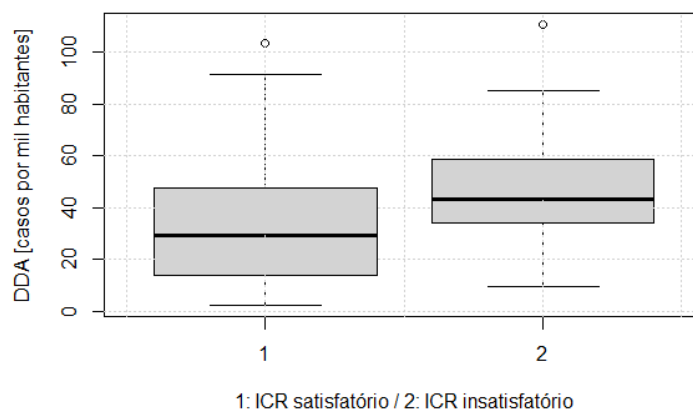


Figura 3 - Boxplot com outliers

Fontes: base de dados de Brasil (2024) e IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

Os pontos retirados de outliers representam os municípios Santa Cruz do Capibaribe, da Tabela 1, e Jataúba, da Tabela 2. Calculada sem a presença desses municípios, a mediana do primeiro grupo tem valor de 29,0 e do segundo, de 43,3 casos por mil habitantes. Essas retiradas não comprometem as análises pretendidas nesse trabalho, que é de comparação entre os grupos, visto que os dois outliers retirados têm a mesma ordem de grandeza e cada um é um ponto superior do seu grupo.

A Tabela 3 apresenta os resultados do teste de Shapiro-Wilk, com nível de 5% de significância, para verificação de normalidade dos dados, necessário para a posterior aplicação de estatísticas paramétricas, como o teste de hipótese e a análise de correlação. Os resultados são apresentados para os grupos 1 e 2, antes e após a retirada dos *outliers*.

Tabela 3 - Resultado do teste de Shapiro-Wilk

Grupo	W	W _α	Resultado
1 com outliers	0,935	0,947	Normalidade rejeitada
2 com outliers	0,949	0,901	Normalidade aceita
1 sem outliers	0,948	0,947	Normalidade aceita
2 sem outliers	0,989	0,897	Normalidade aceita

Fontes: base de dados de Brasil (2024) e IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

Considerando a normalidade dos dados, a Figura 4 apresenta os histogramas e as curvas normais para os grupos 1 e 2. Observando os gráficos de histograma, no caso dos municípios com ICR sem amostras fora do padrão, o intervalo de maior densidade é o que representa entre 5 e 10 casos por mil habitantes, enquanto que nos municípios com ICR fora do padrão, o intervalo de maior densidade é o que está entre 45 e 50 casos por mil habitantes.

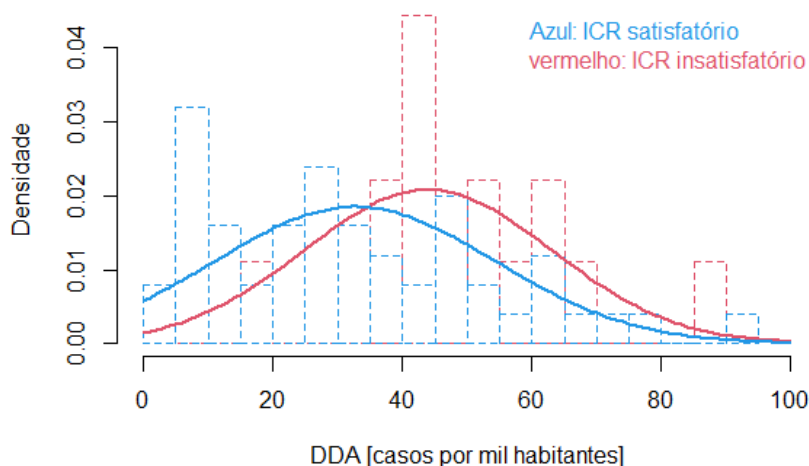


Figura 4 - Histogramas e curvas normais dos dois grupos

Fontes: base de dados de Brasil (2023), Brasil (2024) e IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

Ainda na Figura 4, o achatamento das duas curvas normais, associado a uma elevada curtose, está relacionado a desvios padrão relativamente altos e, por consequência, a distribuições menos centralizadas dos dados. Ou seja, os casos de DDA, apesar de ocorrerem de forma mais importante em alguns municípios, atingem de forma significativa a grande totalidade destes.

Para comparação entre os grupos 1 e 2, o cálculo do teste de hipótese forneceu o p-valor de 0,9764, ao nível de significância de 5%, comprovando a veracidade da hipótese nula. Dessa forma, é possível afirmar que os casos de DDA dos municípios com índice de conformidade de acordo com o que preconiza a Portaria GM/MS nº 888, de 2021, em todas as amostras, com média de 32,7 e desvio padrão de 21,5 casos por mil habitantes, são estatisticamente menores que o grupo dos municípios que não tiveram a totalidade das amostras em conformidade, com média de 43,9 e desvio padrão de 19,2 casos por mil habitantes. De forma resumida, a partir do teste de hipótese, foi possível afirmar, com 95% de certeza, que a impropriedade do cloro residual no sistema de abastecimento está relacionada ao aumento dos casos de DDA na região do Agreste de Pernambuco.

A importância do cloro como agente desinfetante da água, e de forma específica para o controle de DDA, pode ser verificada também em Solomon *et al.* (2020), quando a partir de pesquisa em região rural da Etiópia, afirmam que sua utilização pode reduzir consideravelmente os episódios graves de diarreia, especialmente entre crianças menores de 5 anos.

Finalmente, a Figura 5 apresenta o diagrama de dispersão entre o indicador de amostras de cloro residual fora do padrão e os casos relativos de DDA por mil habitantes, assim como o modelo de ajuste linear.

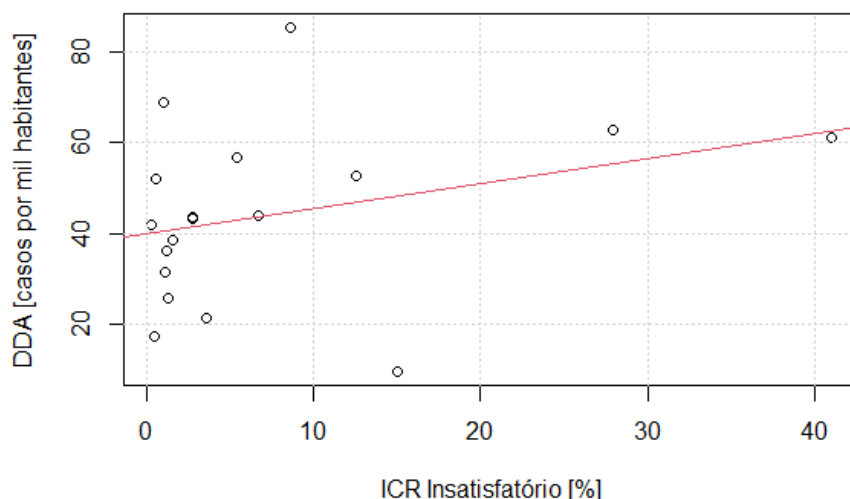


Figura 5 - Diagrama de dispersão e correlação

Fontes: base de dados de Brasil (2023), Brasil (2024) e IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

O modelo de ajuste linear apresentado na Figura 5 tem coeficiente angular de 0,55 e linear de 39,83. O coeficiente angular positivo indica que o número de amostras fora do padrão está diretamente relacionado ao aumento de notificações de casos relativos de DDA. O grau da correlação foi estimado pelo coeficiente de correlação de 0,31, indicando, conforme Hopkins (2000), uma correlação moderada entre as variáveis. A Figura 6 apresenta a distribuição dos resíduos do modelo linear.

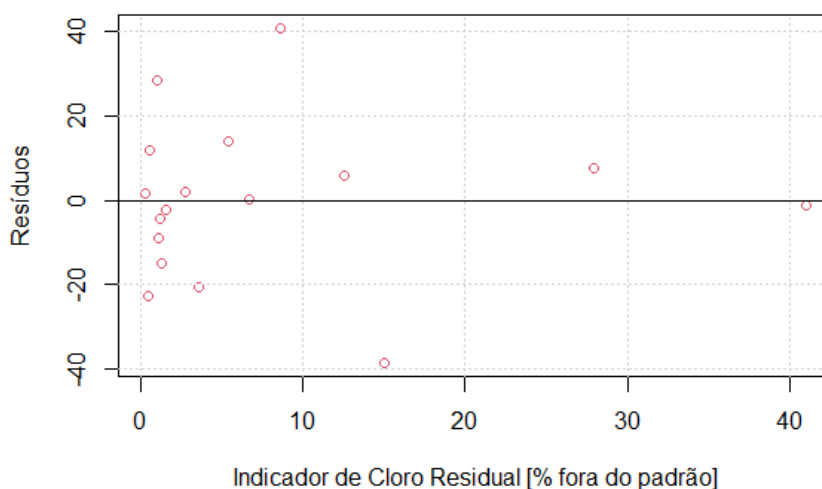


Figura 6 - Distribuição dos resíduos

Fontes: base de dados de Brasil (2023), Brasil (2024) e IBGE (2023). Elaboração: os autores (2025).

A Figura 6 apresenta uma distribuição aleatória dos resíduos em torno do valor zero, confirmando a validade do modelo linear da Figura 5. Apesar da correlação observada, este trabalho não investigou relação de causa-efeito entre o indicador de amostras do cloro residual fora do padrão e os casos relativos de DDA.

A relação entre os sistemas de abastecimento e a saúde da população, verificada neste trabalho, tem semelhança com as constatações de Ribeiro (2024), que em município do Estado do Maranhão, relaciona à falta de conformidade do cloro residual à presença de contaminantes, como coliformes totais e *Escherichia coli*, na água de abastecimento. Nesse mesmo sentido, Monteiro *et al.* (2024), em trabalho qualitativo desenvolvido no Agreste de Pernambuco, apesar de não investigar sobre a

qualidade dos sistemas de abastecimento, mas o impacto negativo de sua ausência, chegam a resultados correlatos. Essas pesquisadoras afirmam que, embora não se possa confirmar o impacto direto do abastecimento de água nas internações por diarreia, o único município pesquisado em que não havia abastecimento apresentou número superior de internações.

Sobre a importância da qualidade da água de abastecimento, Richter (2009) afirma que, entre os motivos que colaboram para a contaminação das redes de distribuição de água no Brasil, destacam-se a ligação cruzada, nesse caso com redes de águas pluviais ou servidas, e o *Back flow*, que se caracteriza pelo retorno da água para a rede de distribuição devido a pressões negativas no sistema. Fenômeno confirmado por Castro, Cruvinel e Oliveira (2020), ao observarem piora da qualidade da água durante os períodos de racionamento no Distrito Federal.

Conforme informações da COMESA (2024), a grande maioria dos municípios pernambucanos, e a totalidade dos municípios localizados na região do Agreste convivem com “calendários de abastecimento” associados a intermitências relativamente frequentes, o que torna a região extremamente suscetível ao fenômeno de *Back flow*. Nessas condições, as estratégias de desinfecção que ocorrem nos sistemas de abastecimento de água, que incluem a manutenção de valor mínimo da taxa do cloro residual, ou de dióxido de cloro, ou do cloro residual combinado, de acordo com o que preconiza o Ministério da Saúde, a partir da Portaria GM/MS nº 888, são ainda mais importantes para o fornecimento de água isenta de contaminantes que podem comprometer a saúde da população.

As questões apresentadas neste trabalho, sobre consequências da ineficiência do abastecimento de água, estão diretamente relacionadas à segurança hídrica da população. Para Nicolas-Artero e Blanco (2024), a insegurança hídrica é um problema na grande maioria dos países latino-americanos, e que se não houverem políticas amplas e contínuas, deve ainda se agravar com as consequências advindas das mudanças climáticas.

4. Considerações finais

Após a constatação de normalidade dos dados referentes aos casos de DDA, as curvas de distribuição dos dois grupos avaliados revelam achatamento por curtose e desvio padrão elevado, indicando que os casos de DDA, apesar de ocorrerem de forma mais importante em alguns municípios, atingem toda a região de estudo.

O Teste de hipótese aplicado confirma, com 95% de certeza, que o grupo composto pelos municípios que tiveram todas as amostras com cloro residual de acordo com a Portaria GM/MS nº 888 possui menos casos de DDA do que os municípios com amostras em desconformidade. Esse resultado reforça a necessidade de melhorias do sistema de tratamento de água, sobretudo na microrregião do Agreste Central, onde 42,3% dos municípios apresentam amostras de cloro residual em desconformidade.

O ajuste de regressão linear indicou uma relação positiva entre o indicador de amostras de cloro residual fora do padrão e os casos relativos de DDA. No entanto, o coeficiente de correlação linear demonstra que essa correlação é apenas moderada. Apesar de confirmar a relação entre o cloro residual e a incidência de Doenças Diarreicas Agudas, esta pesquisa não investigou sobre relações de causa-efeito entre as variáveis. Investigações nesse sentido são sugestões para futuras pesquisas.

Em regiões semiáridas, a inexorabilidade da escassez hídrica acaba por direcionar a maioria das políticas públicas no sentido da necessidade da universalização do acesso à água. No entanto, os resultados desta pesquisa indicam que no Agreste pernambucano, a qualidade da água é também uma questão essencial, que pode ser limitadora da qualidade de vida. Considerando os prejuízos à saúde da população observados, e ainda, que os custos relacionados ao processo de desinfecção compõem uma parte pequena do total dos sistemas de abastecimento, é essencial e urgente que a potabilidade da água fornecida seja garantida.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade de Pernambuco pelo apoio necessário à realização da pesquisa, assim como, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos concedida a segunda autora (processo nº 177595/2025-6).

Referências

ANDRADE, E. C. L. *Estudo de caso do abastecimento d'água do município de Santarém no Pará*. 2015. Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos e Saneamento Urbano). Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Repositório da Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2015. Disponível em: <https://ppcs.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2015/elcn.pdf>. Acesso em: 03/04/2025.

ARAÚJO, T. L.; ALMEIDA, R. F. B. Quantificação do cloro residual livre no abastecimento de água do município de Paraíso do Tocantins e avaliação da sua eficiência no controle de microrganismos. *Revista Sítio Novo*, v. 9, p. e1716, 2025. DOI:

- <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2025.v9.1716>. Disponível em: <https://sitionovo.iftto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/1716>. Acesso em: 06/03/2025.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. [...] dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 7 maio 2021. https://bvsm.sau.gov.br/bvs/saualegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html. Acesso em: 06/02/2025.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Informações sobre Doenças Diarreicas Agudas no ano de 2022. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://public.tableau.com/app/profile/dda.brasil/viz/MonitoramentodasDDA/5-MonitoramentoMun2024>. Acesso em: 20/04/2025.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico dos serviços de água e esgotos*, 2023. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/agua-e-esgotos-1>. Acesso em: 12/02/2025.
- CAETANO, T. O.; DE PAIVA, A. L. R.; DA SILVA, S. R.; COUTINHO, A. O. P.; CIRILO, J. A.; CABRAL, J. J. S. P. Abastecimento rural de água: uso e demanda em comunidades do Semiárido e a disponibilidade hídrica das aluviões. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 17, n. 2020, 2020. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/357>. Acesso em: 20/06/2025.
- CASTRO, R. S. D.; CRUVINEL, V. R. N.; OLIVEIRA, J. L. D. M. *Correlation between drinking water quality and occurrence of diarrhea and hepatitis A in the Federal District/Brazil*. *Saúde em Debate*, v. 43, n. especial 3, p. 8-19, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/kDsVZRQxJ4w4Z9YZCsc4w6w/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 22/04/2025.
- COELHO, B.; CAMPOS, A. A. *Efficiency achievement in water supply systems—A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.30, p. 59-84, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113006692>. Acesso em: 06/04/2025.
- COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO (COMPESA). *Calendário de abastecimento*. Recife, 2024. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/calendario-de-abastecimento-da-compesa/>. Acesso em: 02/08/2025.
- CORDEIRO ARANHA, M.; SOUZA FARIA, A. de; ROMUALDO de MEDEIROS, A. J.; FERREIRA CURY, G.; TORRES TALIM, A.; ALVES BARBOSA, A. V.; ... LUIZA PERUZZO, Y. Diarreia e gastroenterite infecciosa presumível em crianças do Nordeste: epidemiologia das internações (2019-2023). *Periódicos Brasil. Pesquisa Científica*, Macapá, Brasil, v. 3, n. 2, p. 898–907, 2024. DOI: <https://doi.org/10.36557/pbpc.v3i2.134>. Disponível em: <https://periodicosbrasil.emnuvens.com.br/revista/article/view/134>. Acesso em: 03/05/2025.
- CORREIA, M. D. C.; AMARAL, S.; ARCOVERDE, G. F. B.; PAZ, M. G. A da. Dependência espacial do acesso ao abastecimento de água e esgotamento sanitário na área urbana da região metropolitana do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. *Anais eletrônicos* [...]. Florianópolis: INPE, 2023. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05.15.16.53/doc/155669.pdf>. Acesso em: 02/3/2025.
- COSTA, N. D. R. Política Pública de Saneamento Básico no Brasil: ideias, instituições e desafios no Século XXI. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 28, n. 09, 2595-2600. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232023289.20432022>. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/mzjJbSchpDfnYYfTRrC3btd/?lang=pt#>. Acesso em: 22/04/2025.
- HELLER, L., PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano (Vol. 1). V. L. de Pádua (Ed.). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- HISSA-TEXEIRA, K. Un análisis de la estructura espacial de los indicadores socioeconómicos del Noreste de Brasil (2000-2010). *Revista EURE - Revista De Estudios Urbano Regionales*, [s. l.], v. 44, n. 131. 2018. DOI:

- <https://doi.org/10.4067/S0250-71612018000100101>. Disponível em: <https://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/1923>. Acesso em: 06/05/2025.
- HOPKINS, W. G. *Correlation coefficient: a new view of statistics*. 2000. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso em: 20/01/2025.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2022: População e Domicílios - Primeiros Resultados*. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>. Acesso em: 03/02/2025.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do saneamento do Instituto Trata Brasil de 2024. Instituto Trata Brasil, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Relatorio-Completo-Ranking-do-Saneamento-de-2024-TRATA-BRASIL-GO-ASSOCIADOS.pdf>. Acesso em: 03/03/2025.
- KLAUS JÚNIOR, C. A.; OGOSHI, R. C. S.; MARTINS, A. A. M. *The right to water, social rights and the brazilian constitution: o direito à água, direitos sociais e a constituição brasileira. Ponto de Vista Jurídico*, Caçador (SC), Brasil, v. 13, n. 1, p. e3393-e3393, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33362/juridico.v13i1.3393> Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/juridico/article/view/3393>. Acesso em: 26/03/2025.
- MONTEIRO, G. T. G; SILVA, S. R. DA; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, F. B. DA. Impactos na saúde pública pós-implantação de sistema integrado de saneamento rural: resultados no sisar Moxotó em Pernambuco. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, Uberlândia, v. 20, p. e2059, 2024. DOI: 10.14393/Hygeia2070873. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/70873>. Acesso em: 22/04/2025.
- NICOLAS-ARTERO, C.; BLANCO, G. *Propuesta de un indicador para estudiar la seguridad hídrica en la interfaz doméstica-comunitaria de áreas rurales chilenas. Revista EURE - Revista De Estudios Urbano Regionales, [s. l.]*, v. 50, n.151, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7764/EURE.50.151.05>. Disponível em: <https://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/EURE.50.151.05>. Acesso em: 26/03/2025.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Declaração Universal dos Direitos Humanos. Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/documentos/direitos-humanos>. Acesso em: 02/06/2025.
- POAGUE, K. I. H. M.; HELLER, L. Associação entre saneamento básico e a ocorrência de geo-helminthoses no Brasil: uma análise do Inquérito Nacional de Prevalência. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM PARASITOLOGIA, 10., 2019. *Resiliência e pesquisa: um olhar para as origens, caminhos para o futuro*. [S.l.: s.n.], 2019.
- PORTO, L.; MIRANDA-NASCIMENTO, H. Los “diversos urbanos”: *Un análisis de las transformaciones recientes en la jerarquía urbano-regional del Noreste brasileño. Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales, [s. l.]*, v. 51, n. 152, p. 1–20, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7764/EURE.51.152.01>. Disponível em: <https://eure.cl/index.php/eure/article/view/EURE.51.152.01>. Acesso em: 15/11/2025.
- PROLAGOS. Investimentos em saneamento básico reduzem internações e gastos com a saúde. *G1 Região dos Lagos*, 12 de abril de 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/especial-publicitario/prolagos/prolagos-nossa-natureza-movimenta-a-vida/noticia/2021/04/12/investimentos-em-saneamento-basico-reduzem-internacoes-e-gastos-com-a-saude.ghtml>. Acesso em: 16/03/2025.
- RAIMUNDO, J. Z.; ECHEIMBERG, J. O.; LEONE, C. Tópicos de metodologia de pesquisa: Estudos de corte transversal. *Revista Brasileira de Crescimento e Desenvolvimento Humano*, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 356-360, 2018. Disponível em: SciELO Brasil. Acesso em: 11 jul. 2026.
- RIBEIRO, S. J. R. Análise dos serviços de saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de São Bento, Maranhão. 2024. Artigo (Tecnologia em Gestão Ambiental). Repositório Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2024. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/2546>. Acesso em: 17/04/2025.
- RICHTER, C. A. *Água: métodos e tecnologia de tratamento*. E. Blucher, 2009. 352p.

-
- RODRIGUES, L. de O.; SOUZA, W. M de; COSTA, V. S. de O.; PEREIRA, M. L. T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1995–2009, 2017. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1995-2009>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf/article/view/235912>. Acesso em: 19/06/2025.
- ROCHA, R. D. de L.; AMORIM, A. P. A. F. de; MOURA, T. C. C.; NASCIMENTO, I. D. F. do; CARVALHO, M. C. N. de. Saneamento rural no semiárido brasileiro: desafios, avanços e a contribuição do SISAR. *Revista DCS*, [s. l.], v. 22, n. 85, p. e3868, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54899/dcs.v22i85.3868>. Disponível em: <https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3868>. Acesso em: 09/05/2025.
- RUFINO, R.; GRACIE, R.; SENA, A.; FREITAS, C. M. de; BARCELLOS, C. Surtos de diarreia na região Nordeste do Brasil em 2013, segundo a mídia e sistemas de informação de saúde –Vigilância de situações climáticas de risco e emergências em saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 21, p. 777-788, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.17002015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/sQPTg5j4qQS47dsJvX9DRK/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 06/03/2025.
- SCHAFASCHEK, M.; DENIZ, J. P.; PIRES, T. C. da S.; PIRES, Y. M. da S. Avaliação Físico-Química e Microbiológica da Qualidade da Água consumida em Escolas do interior de Santa Catarina. *Revista de Casos e Consultoria*, [s. l.], v. 15, n. 1, p. e35695, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/casoseconsultoria/article/view/35695>. Acesso em: 03/07/2025.
- SOLOMON, E.T.; ROBELE, S.; KLOOS, H.; MENGISTIE, B. *Effect of household water treatment with chlorine on diarrhea among children under the age of five years in rural areas of Dire Dawa, eastern Ethiopia: a cluster randomized controlled trial. Infectious Diseases of Poverty*, [s. l.], v. 1, n. 64, 2020. Disponível em: <https://idpjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40249-020-00680-9#citeas>. Acesso em: 02/04/2025.