

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E QUIMIOMÉTRICA DA QUALIDADE DA ÁGUA E SUA CORRELAÇÃO COM DOENÇAS HÍDRICAS NA ZONA URBANA DE PATOS-PI

Maiara de Carvalho Gomes, Ramon Santos Sousa, Domingos Ferreira de Souza Neto, Tayna Paula Brito de Aquino Ferreira, Tiago Corrêa Menezes



<https://doi.org/10.36557/2674-9432.2026v5n7p133-158>

Artigo recebido em 3 de Julho e publicado em 3 de Setembro de 2026

ARTIGO ORIGINAL

RESUMO

A qualidade da água destinada ao consumo humano é um fator determinante para a saúde pública, especialmente em regiões semiáridas. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade físico-química da água consumida na zona urbana de Patos do Piauí, comparando-a com a água do manancial de abastecimento e investigando possíveis associações com doenças de origem hídrica. Foram analisados parâmetros físico-químicos em 62 pontos de coleta distribuídos nos bairros Centro e Areia Branca, além de quatro pontos na Barragem Poço do Marruá. Também foram aplicados questionários estruturados aos moradores para obtenção de informações sobre consumo, percepção da qualidade da água e ocorrência de agravos à saúde. Os dados foram tratados por estatística descritiva e Análise de Componentes Principais (PCA). Os resultados indicaram que a água do manancial apresentou conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, enquanto a água distribuída atendeu, em sua maioria, às diretrizes da Organização Mundial da Saúde, com variações pontuais, especialmente na turbidez. A PCA evidenciou que parâmetros relacionados à mineralização da água foram determinantes na variabilidade dos dados, além de indicar influência do sistema de distribuição e das condições domiciliares. Os questionários revelaram elevada dependência da rede pública e percepção predominantemente positiva da qualidade da água, embora tenham sido relatados sintomas compatíveis com doenças de origem hídrica. No entanto, não foi possível estabelecer relação causal direta. Os resultados indicam que a qualidade da água consumida resulta da interação entre fatores ambientais, operacionais e domiciliares, reforçando a importância do monitoramento contínuo em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Qualidade da água, Análise de Componentes Principais, Semiárido, Abastecimento público, Saúde pública.

ABSTRACT

Water quality for human consumption is a key factor for public health, especially in semiarid regions where water availability is limited. This study aimed to evaluate the physicochemical quality of drinking water in the urban area of Patos, Piauí, Brazil, comparing it with the water from the supply reservoir and investigating possible associations with waterborne diseases. Physicochemical parameters were analyzed in 62 sampling points distributed across the Centro and Areia Branca neighborhoods, in addition to four sampling points in the Poço do Marruá reservoir. Structured questionnaires were also applied to residents to obtain information regarding water consumption, perception of water quality, and occurrence of health-related issues. Data were analyzed using descriptive statistics and Principal Component Analysis (PCA). The results indicated that the reservoir water generally complied with the standards established by CONAMA Resolution No. 357/2005, while the distributed water mostly met the guidelines of the World Health Organization, with some variations, particularly in turbidity. PCA showed that parameters related to water mineralization were the main factors influencing data variability, as well as highlighting the influence of the distribution system and household conditions. Questionnaire results revealed a high dependence on the public water supply and a predominantly positive perception of water quality, although symptoms compatible with waterborne diseases were reported. However, no direct causal relationship could be established. Overall, the results indicate that drinking water quality is influenced by the interaction of environmental, operational, and household factors, reinforcing the importance of continuous monitoring in semiarid regions.

Keywords: Water quality, Principal Component Analysis, Semiarid region, Public water supply, Public health.

Instituição afiliada – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Paulistana, Piauí, 64750-000, Brasil.

Autor correspondente: *Tiago Corrêa Menezes* – tiago.menezes@ifpi.edu.br

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à vida e à manutenção da saúde pública, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é limitada e fortemente influenciada pelas condições climáticas. Nesses contextos, além da quantidade restrita, a qualidade da água destinada ao consumo humano assume papel central, uma vez que suas características físico-químicas podem variar em função de fatores naturais e da infraestrutura disponível para captação, tratamento e distribuição, podendo influenciar diretamente as condições de saúde da população (VON SPERLING, 2014).

No estado do Piauí, os açudes e barragens constituem a principal fonte de abastecimento para grande parte da população, atendendo ao consumo humano, à agricultura e à pecuária, especialmente em municípios inseridos no semiárido nordestino (NASCIMENTO; MAIA; ARAÚJO, 2016). O município de Patos do Piauí, localizado no sudeste do estado, apresenta características climáticas típicas dessa região, com regime irregular de chuvas e longos períodos de estiagem, sendo abastecido predominantemente pela Barragem Poço do Marruá, com complementação por poços artesianos (IBGE, 2022).

O monitoramento da qualidade da água no estado do Piauí é realizado pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), por meio de redes de coleta distribuídas em diferentes corpos hídricos, permitindo a avaliação contínua de parâmetros físico-químicos e sua conformidade com a legislação ambiental vigente (SEMARH, 2024). Esse acompanhamento evidencia que a qualidade da água em reservatórios do semiárido está diretamente associada às condições hidrológicas, à variabilidade climática e ao uso e ocupação do entorno dos mananciais, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo da água destinada ao consumo humano.

A avaliação da qualidade da água é comumente realizada por meio da análise de parâmetros físico-químicos, os quais permitem caracterizar as condições ambientais dos corpos hídricos e verificar sua conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira, com destaque para a Resolução CONAMA nº 357/2005. No entanto, a interpretação isolada desses parâmetros pode ser limitada em estudos que envolvem múltiplas variáveis interdependentes.

Nesse contexto, ferramentas quimiométricas têm sido amplamente utilizadas para a análise de dados ambientais. Dentre essas ferramentas, a Análise de Componentes

Principais (PCA) destaca-se por permitir a redução da dimensionalidade dos dados e a identificação de padrões de similaridade entre amostras e variáveis, facilitando a visualização de agrupamentos e a interpretação integrada dos sistemas estudados (BRERETON, 2007; FERREIRA et al., 2015).

Apesar da relevância do tema, ainda são escassos estudos que integrem a avaliação da qualidade físico-química da água, a aplicação de ferramentas quimiométricas e a análise de aspectos relacionados à saúde da população em municípios de pequeno porte do semiárido piauiense, especialmente considerando a comparação entre a água do manancial e aquela distribuída à população.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade físico-química da água consumida na zona urbana de Patos do Piauí, comparando-a com a água do manancial de abastecimento por meio de análises laboratoriais e ferramentas quimiométricas, bem como investigar possíveis associações entre a qualidade da água e a ocorrência de doenças de origem hídrica na população local.

2 METODOLOGIA

Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo descritivo, de abordagem quantitativa e caráter observacional, desenvolvido com o objetivo de avaliar a qualidade físico-química da água consumida na zona urbana do município de Patos do Piauí, bem como investigar possíveis associações entre características da água, práticas de consumo e ocorrência de agravos à saúde autorreferidos pela população. O estudo integrou análises laboratoriais de parâmetros físico-químicos, aplicação de questionário estruturado aos moradores e tratamento estatístico e quimiométrico dos dados.

Área de estudo

O estudo foi realizado na zona urbana do município de Patos do Piauí, localizado na região sudeste do estado do Piauí, Brasil. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município possui aproximadamente 5.425 habitantes, sendo cerca de 2.501 residentes na zona urbana. O abastecimento hídrico do município é realizado predominantemente pela Barragem Poço do Marruá, com complementação por poços artesianos. A zona urbana do município é composta pelos

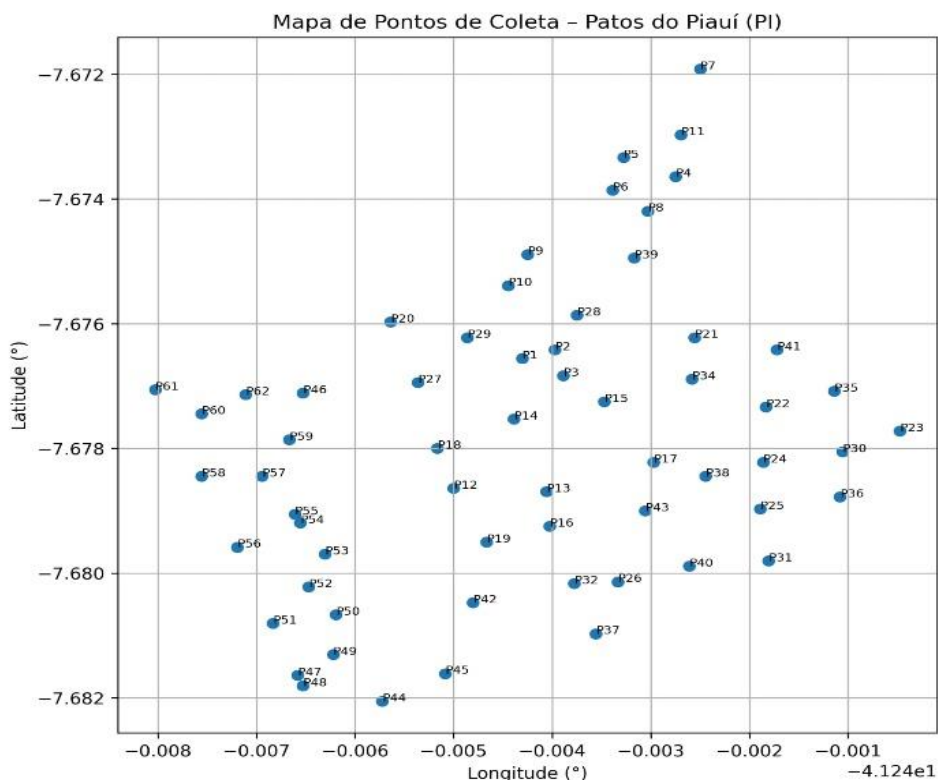
bairros Centro e Areia Branca, os quais foram integralmente considerados neste estudo, abrangendo a totalidade da área urbana.

Definição dos pontos de amostragem

Foram definidos 62 pontos de coleta distribuídos na zona urbana do município, correspondentes a domicílios abastecidos pela rede pública. Desse total, 43 pontos localizavam-se no bairro Centro e 19 no bairro Areia Branca. Os pontos foram selecionados de modo a contemplar diferentes ruas e setores dos bairros, garantindo representatividade espacial das amostras. Em cada residência, a coleta foi realizada no ponto de consumo, diretamente em torneiras de uso doméstico ou em recipientes de armazenamento quando a água utilizada se encontrava armazenada no momento da visita.

As coordenadas geográficas dos pontos foram registradas por sistema de posicionamento global (GPS), permitindo a caracterização espacial das amostras. A distribuição dos pontos de coleta é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Localização dos pontos de coleta no município de Patos do Piauí



Fonte: Autores (2026).

Para fins comparativos, foram considerados dados de quatro pontos amostrados na Barragem Poço do Marruá, coletados em 21 de outubro de 2025, no âmbito das

atividades do grupo de pesquisa ao qual o estudo está vinculado. Essas coletas fazem parte de campanhas sazonais de monitoramento da qualidade da água, realizadas com o objetivo de avaliar as condições do manancial durante o período de estiagem. As amostras foram analisadas com base nos mesmos parâmetros físico-químicos considerados neste estudo.

Amostragem e margem de erro

O tipo de amostragem utilizado nesta pesquisa foi a amostragem probabilística por conglomerados, com estratificação espacial, considerando a distribuição dos domicílios na zona urbana do município de Patos do Piauí. A estratificação espacial consistiu na divisão da área urbana em diferentes setores geográficos, representados pelos bairros Centro e Areia Branca, de modo a garantir que áreas com características ambientais e urbanas distintas fossem contempladas na amostragem, assegurando maior representatividade dos dados coletados, conforme recomendado em estudos estatísticos aplicados a pesquisas populacionais e ambientais (BRERETON, 2007).

A estrutura amostral foi organizada em 62 conglomerados, correspondentes a unidades domiciliares, onde foram realizadas as coletas de água e a aplicação dos questionários estruturados. A utilização de conglomerados domiciliares é indicada quando as unidades de análise estão associadas a residências, permitindo a integração entre dados ambientais e sociais e reduzindo custos operacionais sem comprometer a representatividade da amostra (FERREIRA et al., 2015).

Para a estimativa da margem de erro, considerou-se a população urbana de Patos do Piauí, estimada em 2.501 habitantes, conforme dados do Censo Demográfico de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Adotou-se uma média de três pessoas por domicílio, valor compatível com os dados populacionais divulgados pelo IBGE para municípios de pequeno porte, resultando em um número efetivo aproximado de 186 indivíduos representados na amostra.

O cálculo da margem de erro foi realizado considerando um nível de confiança de 95%, valor amplamente aceito como consenso científico em pesquisas acadêmicas e estudos estatísticos aplicados (BRERETON, 2007). Com base nesses parâmetros, obteve-se uma margem de erro estimada de $\pm 7,1\%$. O cálculo foi efetuado com auxílio da ferramenta estatística disponível no site Raosoft – Sample Size Calculator, com ajuste para

amostragem por conglomerados, conforme metodologia adotada em estudos populacionais (RAOSOFT INC., 2024).

Coleta das amostras de água

As amostras de água foram coletadas em 05 de dezembro de 2025, utilizando frascos de vidro âmbar com capacidade de 100 mL. Os frascos foram previamente higienizados com detergente neutro, enxaguados com água destilada e submetidos a banho ácido com solução de ácido clorídrico (HCl), com o objetivo de remover possíveis resíduos e evitar contaminação das amostras. Após esse procedimento, os recipientes foram novamente enxaguados com água destilada e secos em condições adequadas.

Durante a coleta, foram utilizados equipamentos de proteção individual, incluindo luvas descartáveis. As amostras foram acondicionadas em caixa térmica com gelo e transportadas ao laboratório de Química do Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Paulistana, onde permaneceram sob refrigeração até a realização das análises.

Variáveis analisadas

A caracterização da qualidade da água foi realizada por meio da determinação dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, dureza total, alcalinidade total e cloretos. A escolha dessas variáveis baseou-se em sua relevância para a avaliação da qualidade da água em sistemas de abastecimento, bem como na disponibilidade de equipamentos e infraestrutura laboratorial.

Os dados obtidos para o manancial foram interpretados com base na Resolução CONAMA nº 357/2005, enquanto os dados da água distribuída à população foram analisados conforme as diretrizes da Organização Mundial da Saúde para água destinada ao consumo humano.

Procedimentos analíticos

As medições de pH, turbidez, oxigênio dissolvido e sólidos dissolvidos totais foram realizadas com equipamentos portáteis previamente calibrados, no momento da coleta, sendo cada determinação efetuada em triplicata. As análises de dureza total, alcalinidade total e cloretos foram realizadas em laboratório no IFPI – Campus Paulistana, utilizando

métodos analíticos padronizados. A determinação de cloretos foi realizada pelo método de Mohr. Os resultados foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel®) e submetidos à análise estatística descritiva, com cálculo de valores mínimos, máximos e médios.

Questionário aplicado aos moradores

Foi aplicado um questionário estruturado aos moradores dos domicílios onde ocorreram as coletas de água, com o objetivo de obter informações complementares sobre o consumo e a percepção da qualidade da água. O questionário foi elaborado com base em informações relacionadas ao perfil de saúde do município, considerando dados sobre a ocorrência de doenças de possível origem hídrica.

As perguntas foram estruturadas para investigar a fonte de abastecimento, práticas de tratamento e armazenamento domiciliar, percepção da qualidade da água, regularidade do abastecimento e ocorrência autorreferida de agravos à saúde. As respostas foram registradas de forma padronizada e analisadas de maneira agregada, preservando o anonimato dos participantes.

Tratamento estatístico e quimiométrico dos dados

Os dados físico-químicos e as informações obtidas por meio dos questionários foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel®) e submetidos à análise estatística descritiva. Em seguida, aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) com o objetivo de promover a interpretação integrada dos dados, identificar padrões de similaridade entre as amostras e avaliar as variáveis mais relevantes na variabilidade do sistema estudado.

Antes da construção dos modelos, os dados foram escalonados para minimizar a influência das diferentes escalas de medição. As análises quimiométricas foram realizadas no software Matlab R2015a.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Caracterização Físico-Química da água

A Tabela 1 apresenta os valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros

físico-químicos obtidos a partir das amostras coletadas na Barragem Poço do Marruá, principal manancial de abastecimento do município de Patos do Piauí. Para a interpretação desses dados, os valores observados foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2, uma vez que essa legislação regulamenta a qualidade de corpos hídricos superficiais destinados a múltiplos usos, incluindo o abastecimento humano após tratamento adequado.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos da água da Barragem Poço do Marruá e valores de referência segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005

Parâmetro	Mínimo observado	Máximo observado	Média	Valor mínimo (CONAMA)	Valor máximo (CONAMA)
pH	7,1	7,2	7,15	6,0	9,0
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4,4	6,7	5,60	≥ 5,0	—
Turbidez (UNT)	11,7	56,1	36,10	—	—
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	216	228	223,25	—	—
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	10,20	19,97	13,70	—	—
Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	70	90	80,00	—	—
Cloretos (mg/L)	72,7	74,5	73,33	—	—

Nota: Valores de referência estabelecidos com base na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. O símbolo “—” indica ausência de valor de referência para o parâmetro na legislação considerada.

Os valores de pH apresentaram baixa variação entre os pontos analisados, situando-se dentro do intervalo recomendado pela legislação (6,0 a 9,0), indicando estabilidade desse parâmetro no manancial. Esse comportamento está associado às características naturais do reservatório, como composição geológica e equilíbrio químico do sistema aquático (VON SPERLING, 2014).

Em relação ao oxigênio dissolvido, os valores variaram entre 4,4 e 6,7 mg/L, sendo que a maioria dos pontos apresentou concentrações iguais ou superiores ao mínimo recomendado (≥ 5 mg/L). No entanto, o ponto P4 apresentou valor inferior ao

limite estabelecido, o que pode indicar condições locais de menor oxigenação, possivelmente relacionadas à presença de matéria orgânica ou à menor circulação da água no reservatório (VON SPERLING, 2014; CHAPMAN, 1996).

Para os demais parâmetros analisados, como turbidez, sólidos dissolvidos totais, dureza, alcalinidade e cloretos, não há limites específicos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. Ainda assim, os valores observados refletem características típicas de reservatórios do semiárido, podendo sofrer influência de fatores naturais, como geologia local e variações climáticas, além de processos de uso e ocupação do entorno do manancial (VON SPERLING, 2014).

A Tabela 2 apresenta os valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros físico-químicos da água distribuída à população urbana do município. Considerando que essa água é destinada ao consumo humano e às atividades domésticas, sua avaliação foi realizada com base nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017), que estabelecem parâmetros de qualidade para água potável.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos da água distribuída na zona urbana de Patos do Piauí e valores de referência segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017)

Parâmetro	Mínimo observado	Máximo observado	Média	Valor mínimo (OMS)	Valor máximo (OMS)
pH	6,5	7,8	7,09	6,5	8,5
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,3	7,1	6,00	—	—
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	228	261	243,86	—	1000
Turbidez (UNT)	1,3	20,5	9,42	—	5,0
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	7,6	13,6	10,74	—	—
Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	50	140	83,62	—	—
Cloretos (mg/L)	12,8	86,2	73,58	—	250

Nota: Valores de referência estabelecidos com base nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017) para água destinada ao consumo humano. O símbolo “—” indica ausência de valor de referência para o parâmetro.

Os valores de pH apresentaram baixa variação, mantendo-se dentro da faixa recomendada, indicando estabilidade ao longo do sistema de distribuição. Esse comportamento sugere que não há alterações significativas nesse parâmetro entre o

manancial e a água distribuída, o que é comum em sistemas de abastecimento bem estabelecidos (VON SPERLING, 2014).

Em relação ao oxigênio dissolvido, os valores médios permaneceram próximos ou acima do mínimo recomendado na maioria das amostras, indicando condições favoráveis da água distribuída. Embora esse parâmetro não seja diretamente utilizado como critério de potabilidade, sua variação pode refletir alterações nas condições físico-químicas ao longo do sistema de distribuição (CHAPMAN, 1996).

A turbidez apresentou valores médios superiores ao recomendado para água destinada ao consumo humano, podendo comprometer aspectos estéticos, como cor e aparência, além de indicar a presença de partículas em suspensão. Valores elevados de turbidez também podem interferir na eficiência dos processos de desinfecção, favorecendo a proteção de microrganismos contra agentes desinfetantes (WHO, 2017; LIBÂNIO, 2010).

Os sólidos dissolvidos totais permaneceram abaixo dos limites recomendados, indicando baixa concentração de sais dissolvidos e boa aceitabilidade da água para consumo humano. A dureza total e os teores de cloretos também se mantiveram dentro de faixas aceitáveis, não representando restrições significativas ao consumo (WHO, 2017).

As variações observadas entre os pontos de coleta podem estar associadas a fatores como o sistema de distribuição, o tempo de uso das tubulações e as práticas de armazenamento domiciliar, que podem influenciar as características físico-químicas da água no ponto de consumo (VON SPERLING, 2014).

De forma geral, a análise conjunta dos dados evidencia que a água do manancial apresenta, em sua maioria, conformidade com os padrões ambientais estabelecidos pela legislação vigente, enquanto a água distribuída atende, em grande parte, aos critérios de potabilidade recomendados pela Organização Mundial da Saúde. No entanto, variações pontuais observadas reforçam a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água ao longo de todo o sistema de abastecimento, desde a captação até o consumo final.

Análise de Componentes Principais (PCA)

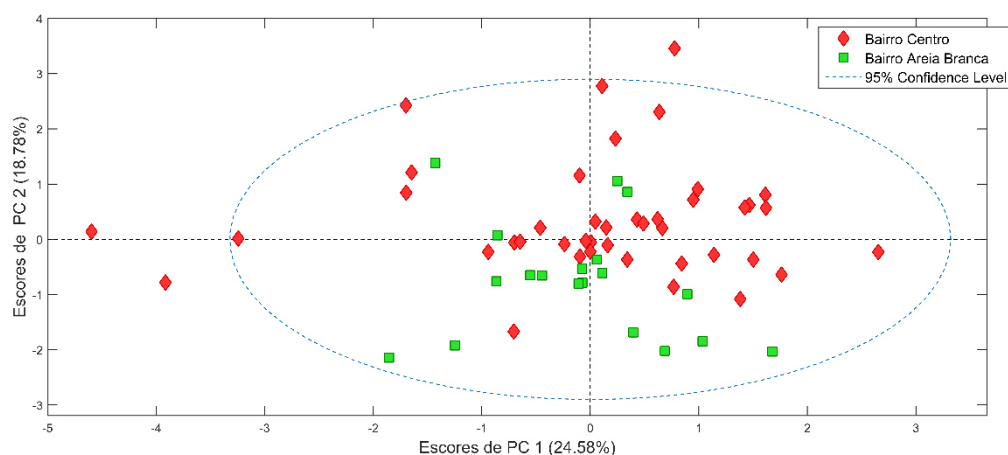
A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada para promover a

interpretação integrada dos dados físico-químicos, permitindo a identificação de padrões de similaridade entre as amostras e a avaliação das variáveis mais relevantes na diferenciação do sistema estudado.

Antes da aplicação da PCA, os dados foram escalonados, a fim de minimizar a influência das diferentes escalas de medição das variáveis analisadas. Durante a construção dos gráficos no ambiente Matlab®, a amostra 11 foi retirada do conjunto de dados por apresentar comportamento característico de um *outlier* (amostra anômala), evidenciado por um afastamento não consistente em relação às demais amostras e sem sustentação estatística nos quadrantes analisados. A exclusão dessa amostra permitiu uma melhor representação do comportamento global dos dados, procedimento comumente adotado em análises multivariadas quando determinados pontos não representam adequadamente o conjunto analisado (BRERETON, 2007; FERREIRA et al., 2015).

O gráfico de *scores* da PCA (Figura 2) representa a distribuição dos 62 pontos de coleta da zona urbana no espaço definido pelos componentes principais. O modelo ajustado com 2 PCs, que juntas, explicam 43,36% da variabilidade das amostras. Ao analisar as componentes principais, observou-se que PC1 não conseguiu distinguir as amostras, entretanto, PC2, com 18,72% da variabilidade das amostras, conseguiu designar o conjunto de amostras em dois subgrupos, como pode ser visto na Figura 2. As amostras 9 e 27 apresentaram-se ligeiramente afastadas do agrupamento principal; contudo, não foram excluídas da análise por não apresentarem comportamento anômalo simultaneamente nos parâmetros de T^2 de *Hotelling* e Q residual (figuras de mérito para detecção de *outliers* no Matlab), sendo interpretadas como variações pontuais dentro do comportamento esperado para dados ambientais.

Figura 2 – Scores da PCA dos 62 pontos de coleta da água distribuída na zona urbana de Patos do Piauí



Fonte: Autores (2026).

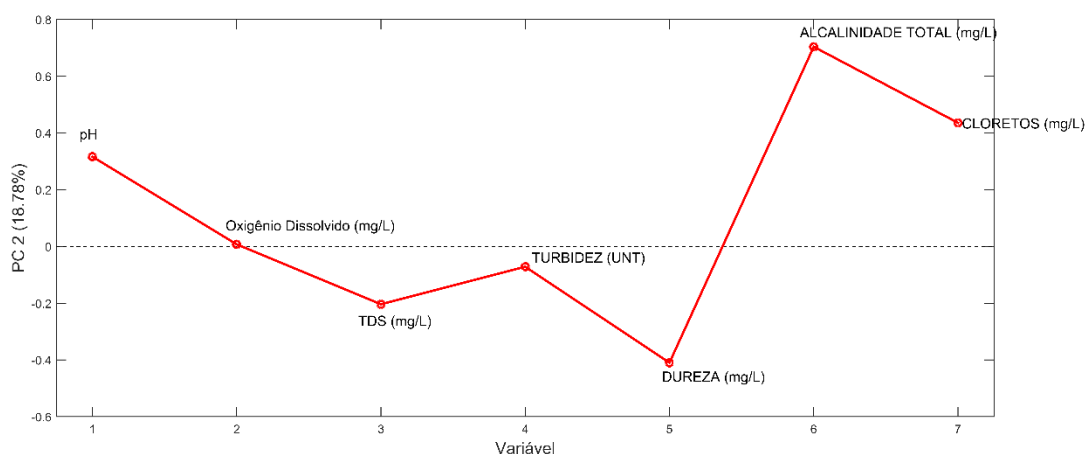
O gráfico de pesos (*loadings*) da PCA (Figura 3) indica a contribuição de cada parâmetro físico-químico para o agrupamento dos dados. Observa-se que variáveis associadas à mineralização da água, como sólidos dissolvidos totais, dureza, alcalinidade e cloretos, apresentam maior influência nos primeiros componentes principais, indicando que esses parâmetros são determinantes para a diferenciação das amostras analisadas. Analisando a Figura 3, os parâmetros alcalinidade total e cloretos são os principais responsáveis por designar as amostras entre as classes de bairros. Nesse caso, o bairro Centro tendo os maiores índices dessas propriedades (scores positivos de PC2) e o bairro Areia Branca com os menores valores dessas propriedades físico-químicas e valores maiores de dureza (VON SPERLING, 2014; FERREIRA et al., 2015).

Na porção inferior do gráfico de *scores*, (Figura 2) observa-se um comportamento distinto das amostras 50, 45 e 52, que se posicionam afastadas do agrupamento principal. A análise das informações complementares obtidas por meio do questionário aplicado aos moradores indica que essas amostras correspondem a residências com tempo de utilização das tubulações entre 6 e 10 anos (amostras 50 e 45) e aproximadamente 10 anos (amostra 52). Esse fator pode estar associado a variações físico-químicas pontuais da água distribuída, uma vez que o tempo de uso das tubulações pode influenciar parâmetros relacionados à mineralização da água, conforme discutido na literatura ambiental (VON SPERLING, 2014).

Também na porção inferior desse gráfico, a amostra 3 apresentou comportamento diferenciado em relação ao conjunto principal. Nesse caso, além de corresponder a uma residência com mais de 10 anos de construção, foi observado que a água utilizada para

consumo era armazenada em baldes, prática que pode favorecer alterações nas características físico-químicas da água em função do tempo de armazenamento e das condições do recipiente. Esse tipo de condição doméstica pode contribuir para variações locais na qualidade da água, refletindo-se na posição diferenciada da amostra no gráfico de scores, conforme discutido por Von Sperling (2014).

Figura 3 – Pesos (*loadings*) da PCA dos parâmetros físico-químicos da água na zona urbana de Patos do Piauí



Fonte: Autores (2026).

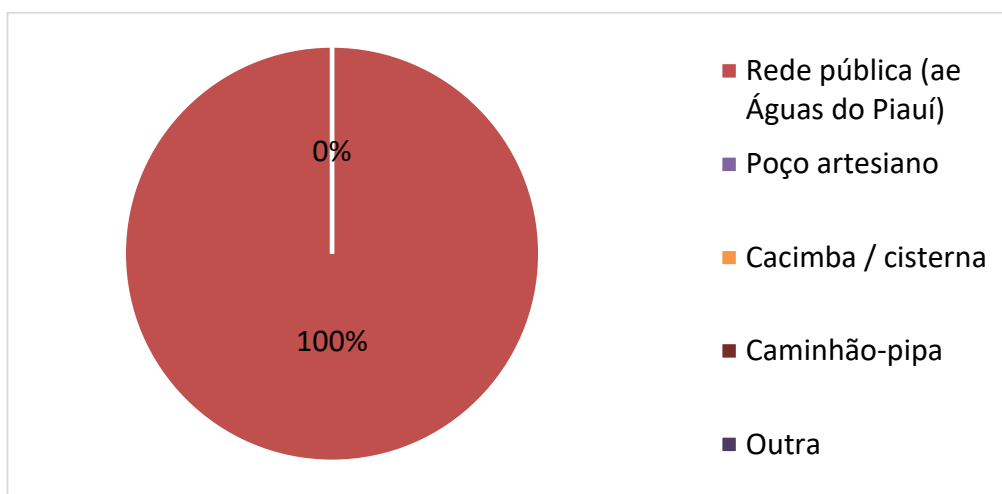
De modo geral, os resultados da PCA evidenciam que a qualidade da água distribuída não depende exclusivamente das condições do manancial, mas também é influenciada por fatores associados ao sistema de distribuição e às práticas domiciliares. Esses achados reforçam a importância da utilização de ferramentas quimiométricas como suporte à interpretação de dados ambientais complexos, permitindo uma análise mais robusta e integrada da qualidade da água (FERREIRA et al., 2015; BRERETON, 2007).

Correlação entre a qualidade da água e perfis de saúde dos moradores de Patos-Pi

A análise dos questionários aplicados aos moradores da zona urbana de Patos do Piauí permitiu complementar os resultados físico-químicos e quimiométricos apresentados anteriormente, incorporando informações relacionadas ao uso da água, à percepção de sua qualidade e à ocorrência de problemas de saúde autorreferidos. Foram analisados 62 questionários válidos, correspondentes aos pontos de coleta de água, abrangendo os bairros Centro (43 residências) e Areia Branca (19 residências), o que possibilitou uma abordagem integrada entre dados ambientais, sociais e de saúde.

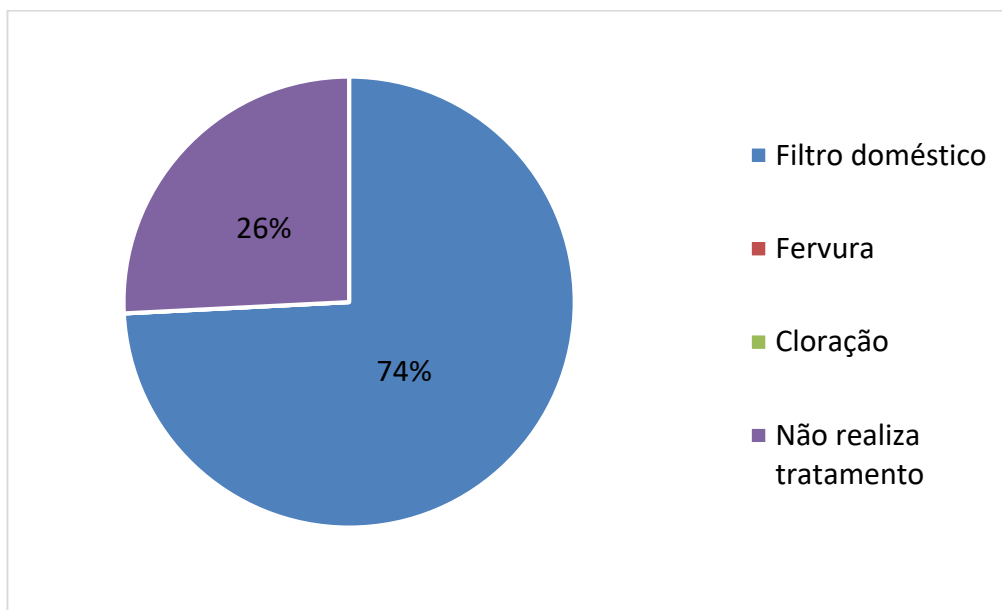
Os resultados descritivos indicaram elevada dependência da população em relação à rede pública de abastecimento, uma vez que 100% dos entrevistados relataram utilizar água proveniente desse sistema (Figura 4). Em relação às práticas de consumo, observou-se que a maioria dos moradores (74%) utiliza filtro doméstico, enquanto 26% informaram não realizar tratamento adicional da água (Figura 5). Segundo os relatos obtidos, essa ausência de tratamento esteve associada principalmente ao consumo de água mineral adquirida comercialmente, prática recorrente em municípios do semiárido como alternativa à água distribuída pela rede pública (LIBÂNIO, 2010; FUNASA, 2018).

Figura 4 - Fonte principal de abastecimento



Fonte: Autores (2026).

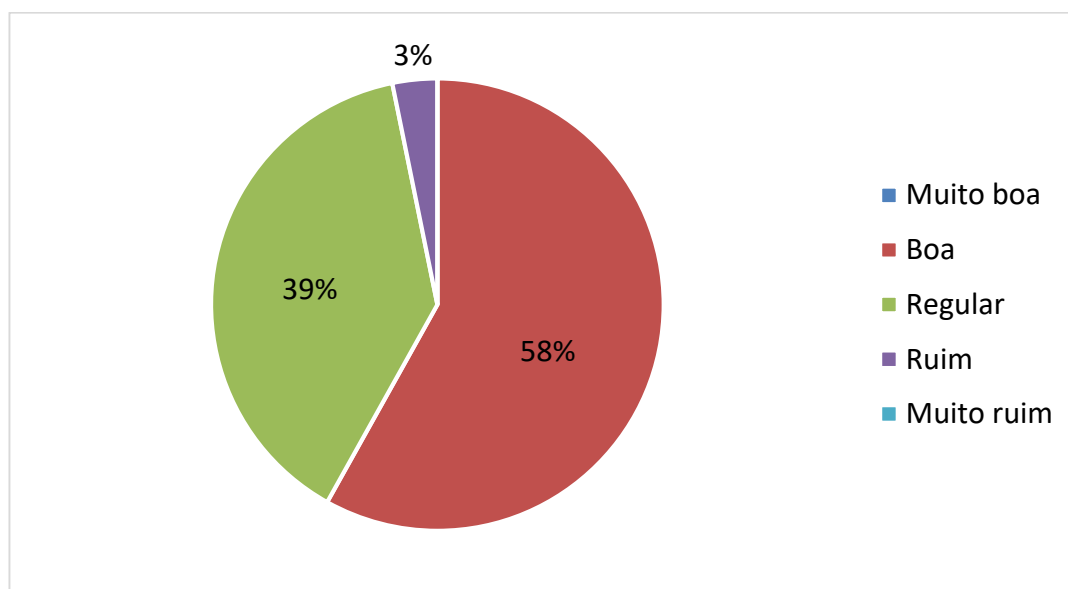
Figura 5 - Tratamento da água para consumo



Fonte: Autores (2026).

Quanto à avaliação da qualidade da água (Figura 6) predominou a classificação “boa” (58%) e “regular” (39%), enquanto apenas 3% dos entrevistados consideraram a água ruim. Essa percepção intermediária mostra-se compatível com os resultados físico-químicos obtidos, que indicaram, de modo geral, conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação vigente. A literatura aponta que a percepção sensorial da população está frequentemente associada a alterações visuais e organolépticas da água, ainda que nem sempre represente risco sanitário imediato (VON SPERLING, 2014; CHAPMAN, 1996).

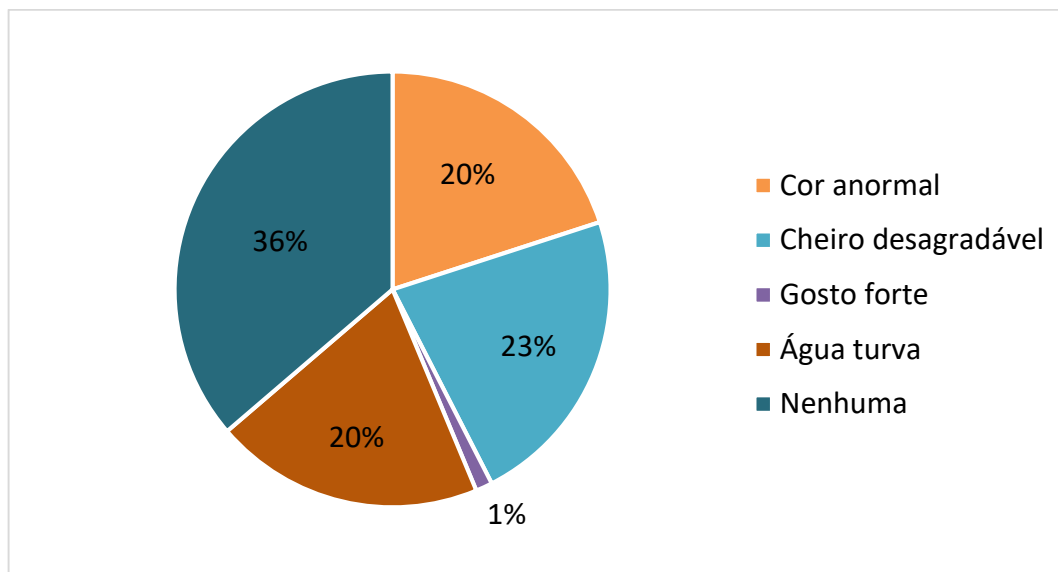
Figura 6 - Avaliação da qualidade da água



Fonte: Autores (2026).

No que se refere às alterações observadas na água, Figura 7, 64% dos moradores relatou turbidez, cor anormal e cheiro desagradável, enquanto 36% informaram não perceber mudanças. De acordo com os relatos, a turbidez é mais perceptível durante períodos chuvosos, possivelmente em função da ressuspensão de sedimentos no manancial. O cheiro desagradável foi predominantemente associado ao cloro, indicando a influência dos processos de desinfecção adotados no sistema de tratamento e distribuição da água. Esses aspectos reforçam a importância da percepção da população como complemento às análises laboratoriais (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2014; WHO, 2017).

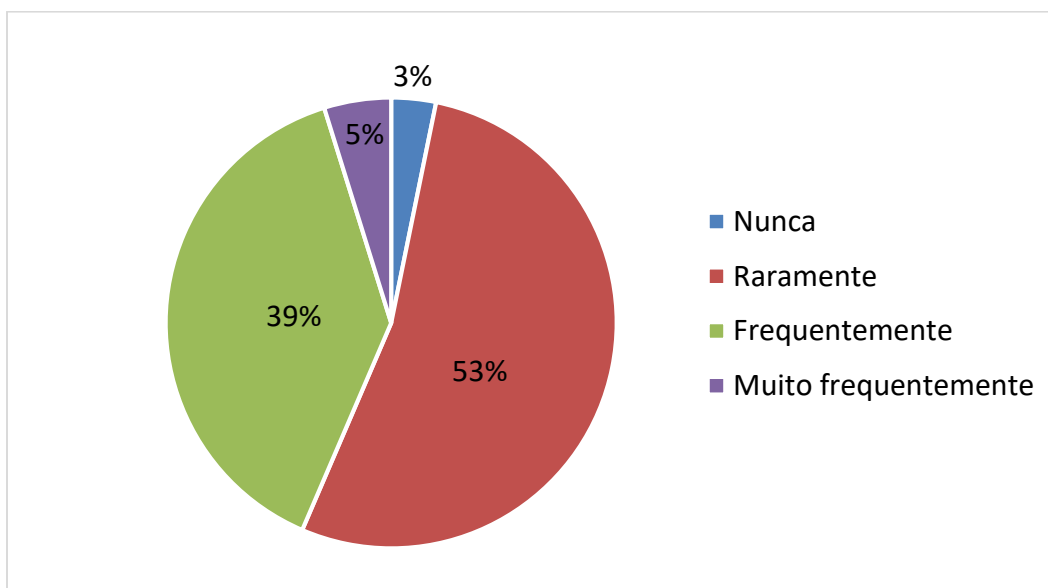
Figura 7 - Alterações observadas na água



Fonte: Autores (2026).

Em relação à regularidade do abastecimento, Figura 8, a maioria dos entrevistados informou que a falta de água ocorre raramente ou nunca, embora parte da população tenha relatado episódios de intermitência. A interrupção no fornecimento pode favorecer o armazenamento domiciliar da água, prática que, quando realizada por longos períodos ou em recipientes inadequados, pode contribuir para alterações na qualidade da água no ponto de consumo (FUNASA, 2018; WHO, 2017).

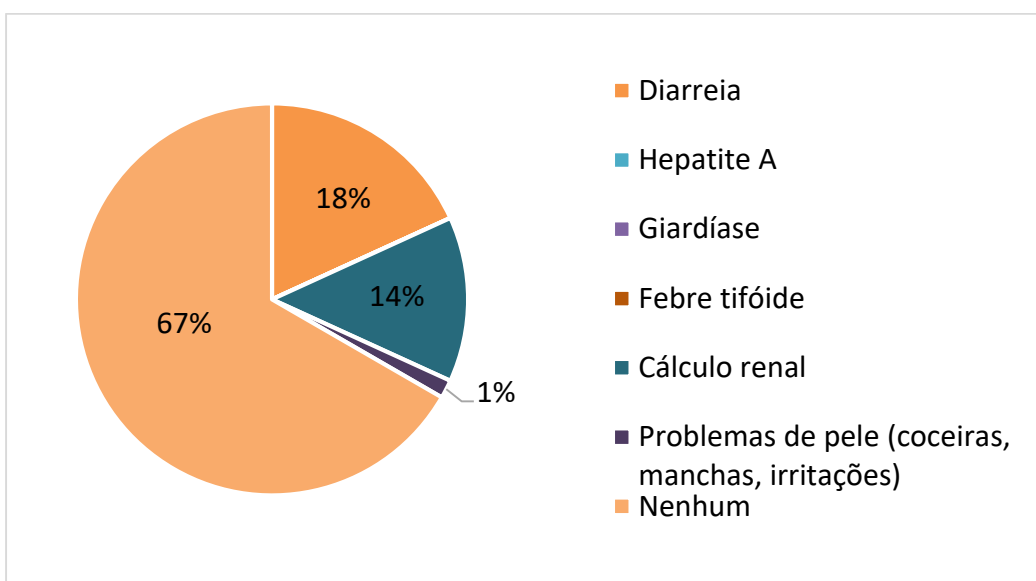
Figura 8 - Frequência de falta de água



Fonte: Autores (2026).

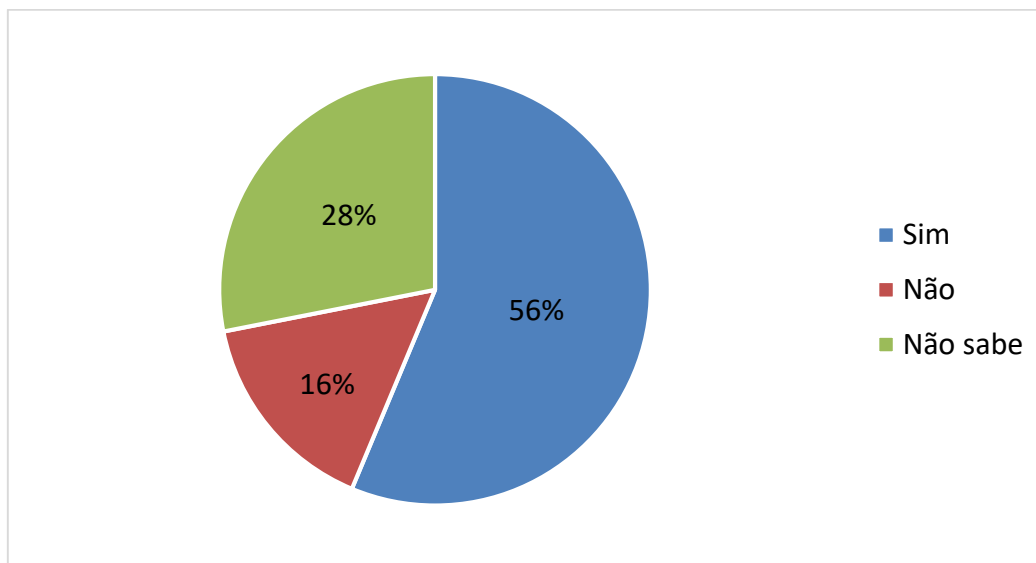
No tocante aos aspectos de saúde, observando o gráfico da Figura 9, 33% dos entrevistados relataram a ocorrência de algum problema de saúde nos últimos 12 meses. Entre os agravos autorreferidos, destacaram-se episódios de diarreia (18%) e cálculo renal (14%), enquanto não foram registrados casos de hepatite A, giardíase ou febre tifóide. Ressalta-se que esses dados são autorreferidos e não permitem estabelecer relação causal direta com a qualidade da água. No entanto, mais da metade dos moradores que relataram problemas de saúde acredita que esses episódios possam estar relacionados à água consumida (Figura 10), evidenciando a percepção da população sobre uma possível associação entre qualidade da água e saúde (NASCIMENTO; MAIA; ARAÚJO, 2016; OLIVEIRA; SILVA FILHO; SILVA, 2017).

Figura 9 - Problemas de saúde nos últimos 12 meses



Fonte: Autores (2026).

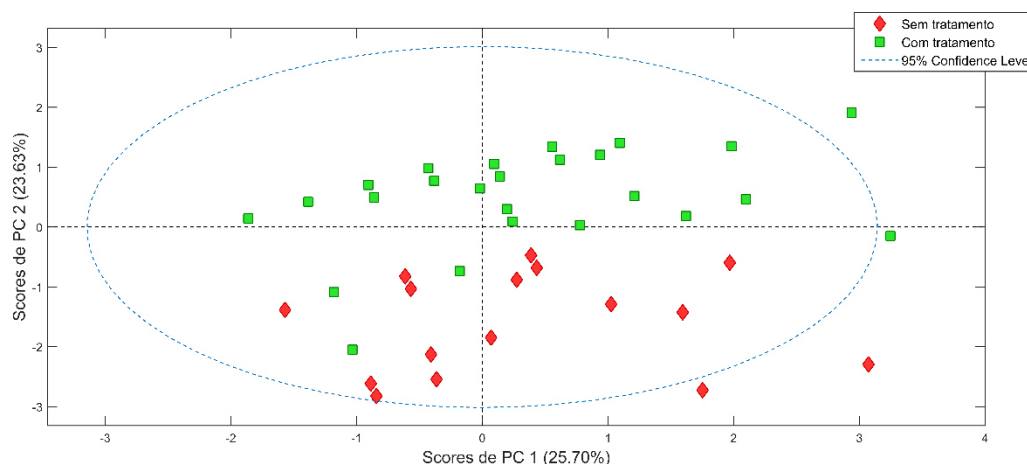
Figura 10 - Acredita que o problema está relacionado à água?



Fonte: Autores (2026).

Considerando a multiplicidade de variáveis envolvidas, os dados do questionário foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA), com o objetivo de integrar as informações e identificar padrões de associação entre as variáveis analisadas, conforme recomendado em estudos quimiométricos aplicados a dados ambientais e de saúde (BRERETON, 2007; FERREIRA et al., 2015). A interpretação inicial do gráfico de *scores*, Figura 11, permitiu avaliar a distribuição das amostras em função das duas primeiras componentes principais, observando-se a formação de agrupamentos parciais, sem separação totalmente definida. Esse comportamento indica que os dados apresentam natureza multifatorial, na qual variáveis relacionadas às condições domiciliares, à percepção da qualidade da água e à ocorrência de problemas de saúde atuam de forma conjunta (BRERETON, 2007; FERREIRA et al., 2015).

Figura 11: Distribuição das amostras no espaço definido pelas duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2) da PCA aplicada aos dados do questionário

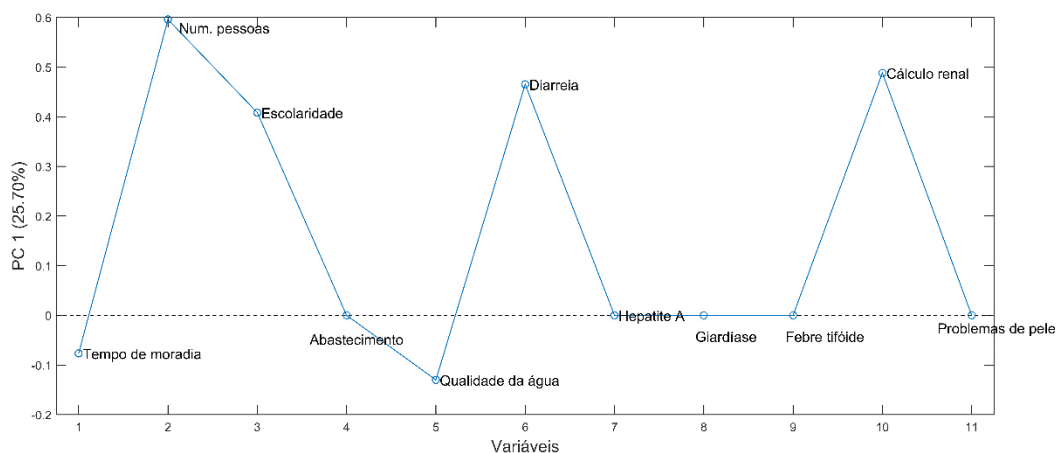


Fonte: Autores (2026).

No gráfico de *scores* (Figura 11), algumas amostras apresentaram comportamento distinto em relação ao conjunto principal. Esse afastamento pode estar associado a características específicas das residências, como maior tempo de moradia, ausência de tratamento adicional da água ou práticas diferenciadas de armazenamento domiciliar. Esses fatores tendem a influenciar simultaneamente a percepção da qualidade da água e as condições de uso no ponto de consumo, refletindo-se na posição dessas amostras no espaço multivariado (VON SPERLING, 2014; WHO, 2017).

A análise do gráfico de *loadings* da primeira componente principal (PC1), Figura 12, (que explica 25,70% da variabilidade das amostras) indica que essa componente está fortemente associada às variáveis relacionadas à ocorrência de problemas de saúde autorreferidos, com destaque para diarreia e cálculo renal, além do número de moradores por residência. Essas variáveis apresentaram cargas positivas mais elevadas, indicando maior contribuição para a variabilidade dos dados. Em sentido oposto, variáveis como a percepção positiva da qualidade da água e o tempo de moradia apresentaram cargas negativas, sugerindo comportamento inverso. Esse resultado indica que os agravos autorreferidos estão associados a um conjunto de fatores domiciliares e demográficos, e não a um único fator isolado (FERREIRA et al., 2015; VON SPERLING, 2014; FUNASA, 2018).

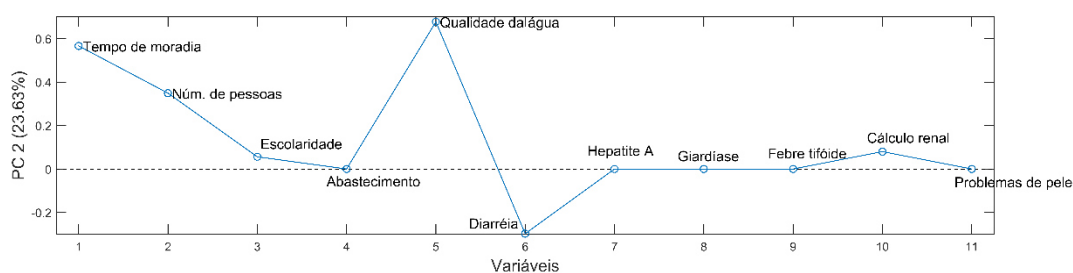
Figura 12: Contribuição das variáveis do questionário para as componentes principais PC1 e PC2 obtidas por meio da PCA



Fonte: Autores (2026).

Em relação ao gráfico de *loadings* da segunda componente principal (PC2), Figura 13, explicados por 23,63% da variabilidade dos dados, observa-se maior influência de variáveis relacionadas às práticas de consumo e manejo da água, como a realização ou não de tratamento domiciliar, além da percepção de alterações sensoriais, como turbidez e odor. A contribuição dessas variáveis para a PC2 sugere que diferenças nas práticas de uso e armazenamento da água no domicílio exercem papel relevante na diferenciação das amostras, reforçando a importância do ponto de consumo como elemento de variação na qualidade percebida da água (VON SPERLING, 2014; LIBÂNIO, 2010; WHO, 2017).

Figura 13: Contribuição das variáveis do questionário para as componentes principais PC1 e PC2 obtidas por meio da PCA



Fonte: Autores (2026).

Um fato interessante a ser observado é que amostras de ambos os bairros (bairro Centro e bairro Areia Branca) apresentam a variável cálculo renal como uma responsável por classificar essas amostras com e sem tratamento, o que corrobora com os valores de alta dureza encontrados nas análises físico-químicas e apontadas como umas das principais variáveis na PCA feita para os padrões físico-químicos e bairros (Figura 2), (BRERETON, 2007; FERREIRA et al., 2015).

A análise comparativa entre os bairros Centro e Areia Branca também se refletiu nos resultados quimiométricos. As amostras provenientes do bairro Areia Branca, caracterizado por solo predominantemente arenoso, apresentaram maior dispersão no gráfico de scores, possivelmente associada à maior mobilidade de substâncias dissolvidas nesse tipo de solo. Em contrapartida, as amostras do bairro Centro, com solos mais compactos, tenderam a apresentar comportamento mais agrupado. Esse padrão pode estar relacionado às diferenças na dinâmica da água no solo, uma vez que a textura influencia processos como infiltração, retenção e transporte de solutos, podendo refletir na qualidade da água distribuída e nas condições de exposição da população (FREEZE; CHERRY, 1979; HEATH, 1983; WHO, 2017).

De forma geral, a integração entre os resultados descritivos dos questionários, as análises físico-químicas e a PCA permitiram uma compreensão mais abrangente da qualidade da água e de seus possíveis reflexos na saúde da população urbana de Patos do Piauí. Os resultados indicam que a ocorrência de problemas de saúde autorreferidos está associada a um conjunto de fatores ambientais, operacionais e domiciliares, reforçando a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água, da adoção de práticas adequadas de tratamento e armazenamento domiciliar e do desenvolvimento de ações de educação sanitária no município, conforme amplamente discutido na literatura sobre saneamento e saúde pública (VON SPERLING, 2014; FUNASA, 2018; NASCIMENTO; MAIA; ARAÚJO, 2016).

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitiram uma avaliação integrada da qualidade da água no município de Patos do Piauí, considerando tanto o manancial de abastecimento quanto a água distribuída à população, por meio da análise de parâmetros físico-químicos e da aplicação de ferramentas quimiométricas.

A água da Barragem Poço do Marruá apresentou, de modo geral, conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente para águas doces de Classe 2, indicando condições adequadas do ponto de vista físico-químico. Por outro lado, a água distribuída à população atendeu, em sua maioria, às diretrizes de potabilidade recomendadas pela Organização Mundial da Saúde, embora tenham sido observadas

variações pontuais, especialmente relacionadas à turbidez, que podem influenciar aspectos estéticos e operacionais do sistema de abastecimento.

A aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) mostrou-se eficiente na identificação dos principais fatores responsáveis pela variabilidade dos dados, evidenciando que parâmetros associados à mineralização da água desempenham papel central na diferenciação das amostras. Além disso, a análise indicou que características relacionadas ao sistema de distribuição e às condições domiciliares, como o tempo de uso das tubulações e as práticas de armazenamento, influenciam a qualidade da água no ponto de consumo.

Os dados obtidos por meio dos questionários evidenciaram elevada dependência da população em relação à rede pública de abastecimento, bem como uma percepção predominantemente positiva ou intermediária da qualidade da água. No entanto, foram registrados relatos de sintomas compatíveis com doenças de origem hídrica, os quais, embora não permitam estabelecer relação causal direta, indicam a existência de possíveis associações entre a qualidade da água e a saúde da população.

De forma geral, os resultados destacam que a qualidade da água consumida não depende exclusivamente das condições do manancial, mas resulta da interação entre fatores ambientais, operacionais e domiciliares. Nesse sentido, o estudo reforça a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água ao longo de todo o sistema de abastecimento, bem como da adoção de práticas adequadas de armazenamento e consumo, contribuindo para a redução de riscos à saúde e para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas.

5 REFERÊNCIAS

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/resolucoes/CONAMA/2005/res35705.pdf. Acesso em: 02 abr. 2026.

BRO, R.; SMILDE, A. K. Principal component analysis. ***Analytical Methods***, v. 6, n. 9, p. 2812–2831, 2014. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/ay/c3ay41907j>. Acesso em: 02 abr. 2026.

BRERETON, R. G. **Chemometrics for pattern recognition**. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

CHAPMAN, D. **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

FERREIRA, M. M. C. et al. **Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial**. Campinas: Unicamp, 2015.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979. Disponível em: <https://gw-project.org/books/groundwater/>. Acesso em: 02 abr. 2026.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: FUNASA, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/funasa/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/manual-controle-qualidade-agua.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2026.

HEATH, R. C. **Basic groundwater hydrology**. Reston: U.S. Geological Survey, 1983. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/wsp/2220/report.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022: resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/patos-do-piaui/panorama>. Acesso em: 02 abr. 2026.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

NASCIMENTO, R. S.; MAIA, A. G.; ARAÚJO, L. F. Qualidade da água em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 1–10, 2016.

OLIVEIRA, R. C.; SILVA FILHO, J. A.; SILVA, M. G. Qualidade da água e saúde pública. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 5, p. 1–12, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/>. Acesso em: 02 abr. 2026.

PIAUÍ. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH). **Monitoramento da qualidade da água no estado do Piauí**. Teresina: SEMARH, 2024. Disponível em: <https://www.semar.pi.gov.br/qualidade-agua>. Acesso em: 02 abr. 2026.

RAOSOFT INC. **Sample Size Calculator**. 2024. Disponível em: <http://www.raosoft.com/samplesize.html>. Acesso em: 02 abr. 2026.

SIDDIQUI, I.; PANDEY, J. **Water quality and human health risk assessment**. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, p. 1–12, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5304-0>. Acesso em: 02 abr. 2026.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.



**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E QUIMIOMÉTRICA DA QUALIDADE DA ÁGUA E SUA
CORRELAÇÃO COM DOENÇAS HÍDRICAS NA ZONA URBANA DE PATOS-PI**

Gomes et al.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). ***Guidelines for drinking-water quality***. 4. ed.
Geneva: WHO, 2017. Disponível em:
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 02 abr. 2026.