

# O comércio de águas subterrâneas no semiárido brasileiro: estudo de caso em Nova Floresta, Estado da Paraíba

Groundwater trade in Brazilian semi-arid: a case study in Nova Floresta, Paraíba State

Pablo Rafael Ferreira Ramos<sup>1</sup> , Filipe Ezequiel da Silva<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Federal da Paraíba - Picuí, Nova Floresta, PB, Brasil. E-mail: pablroramos@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Federal da Paraíba - Picuí, Natal, RN, Brasil. E-mail: ezequielevaldo@gmail.com

**Como citar:** Ramos, P. R. F., & Silva, F. E. (2022). O comércio de águas subterrâneas no semiárido brasileiro: estudo de caso em Nova Floresta, Estado da Paraíba. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 19, e21. <https://doi.org/10.21168/rega.v19e21>

**RESUMO:** No ano de 2014, diante de uma seca severa, o município paraibano de Nova Floresta viu seu sistema de abastecimento hídrico colapsar, deixando os munícipes praticamente abandonados à própria sorte. Na busca pela superação desse problema de abastecimento, a população passou a recorrer das suas até então esquecidas águas subterrâneas, perfurando diversos poços ao longo da zona urbana. Nesse cenário, donos de poços passaram a fornecer água a seus vizinhos de bairro, numa prática que logo seria amplamente adotada por toda a cidade, instituindo um novo sistema de abastecimento e uma nova atividade comercial no município. No entanto, a adoção desse novo sistema trouxe muitas dúvidas e preocupações relativas à sua sustentabilidade, assim como os possíveis riscos à saúde relacionados ao consumo dessas águas. Assim, esta pesquisa teve por objetivo caracterizar o comércio das águas subterrâneas de Nova Floresta através dos aspectos relativos ao produto e sua fonte, os fornecedores e consumidores. O conjunto de dados das fontes d'água utilizados nesta pesquisa foi obtido através de consulta aos órgãos públicos gestão e fiscalização. Esses dados foram tratados através de estatística descritiva e avaliados conforme um índice de qualidade de água. Já a identificação e caracterização dos fornecedores e consumidores deu-se por meio de entrevistas e formulários. Os resultados apontaram que as águas subterrâneas do município são predominantemente inadequadas à dessedentação humana, apresentando altos níveis de salinidade, acidez e dureza, bem como altos teores de cloretos e nitrato. Foram identificados 23 fornecedores que, embora não possuíssem quaisquer licenças para comercializar ou distribuir essas águas, abastecem aproximadamente 1.080 famílias, cobrando delas uma taxa mensal que varia de R\$ 30,00 a R\$ 50,00. Isso acarreta uma movimentação financeira no município de aproximadamente R\$ 48.000,00 mensais e R\$ 576.000,00 anuais. Os consumidores entrevistados utilizam as águas subterrâneas fornecidas quase que exclusivamente para fins de higiene pessoal e domiciliar. Isto faz com que eles precisem recorrer a outras fontes d'água para suprir suas demandas hídricas. Contudo, observou-se que há casos em que consumidores utilizam as águas fornecidas para cozinhar, o que pode representar um risco grave à saúde. Apesar disso, os consumidores apontam preferência ao sistema abastecimento atual em comparação ao sistema antigo, o que é motivada especialmente pela regularidade no abastecimento e tarifa fixa cobrada. Portanto, é notório que o comércio de águas subterrâneas de Nova Floresta representa uma atividade econômica de grande relevância para o município e uma fonte de abastecimento regular para a população. Recomenda-se que o poder público atue na regulamentação dessa atividade e na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, fomentando ações de monitoramento da qualidade e dos níveis de água do seu aquífero. Além disso, a população deve estar consciente da qualidade das águas que estão sujeitas a consumir, e novas alternativas devem ser adotadas pela gestão pública para que a população tenha acesso pleno a água de boa qualidade.

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos; Seca; Aquífero Serra do Martins; Abastecimento Público.

**ABSTRACT:** In 2014, during a severe drought, the water supply system of Nova Floresta collapsed. This made the population of that small municipality in Brazilian Semi-arid destitute. In the quest to overcome this supply problem, the population turned their eyes to their so far forgotten groundwater, and started drilling several new wells throughout the urban area. As any individual could not afford the cost of a well opening. As most individuals could not afford the costs of a well opening and production, others more fortunate began supplying water to their neighbors, and soon this practice became widely adopted across the city. That have instituted a new supply system and a new trade activity in the municipality. However, the adoption of this new system brought many doubts and concerns regarding its sustainability, even as the possible health risks due these waters consumption. Thus, this research aimed to characterize groundwater trade in Nova Floresta through aspects related to the product and its source, suppliers

Recebido: Abril 01, 2022. Revisado: Outubro 14, 2022. Aceito: Novembro 01, 2022.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

and consumers. Water physicochemical data were obtained from public management and inspection agencies. These data supported statistical analyses and a water quality index, while wells profiles provided aquifer parameters. The identification and characterization of suppliers and consumers took place through interviews and forms. The results showed those groundwaters as predominantly unsuitable for drinking due high levels of salinity, acidity, hardness, as well as high levels of chloride and nitrate. There were 23 water suppliers, none of them did not have licenses to market or distribute water. Although, they supply approximately 1,080 houses, with monthly fee ranging from 30 to 50 BRL. This entails a financial trade in the municipality of approximately 48,000 BRL monthly and 576,000 BRL annually. Consumers stated using those groundwaters exclusively for personal and home hygiene, that forces them resorting to other sources to complete their water demands. However, some consumers said using those waters for cooking, which can represent a serious health risk. Despite this, the consumers showed preference to the current supply system instead of the old one, which is especially motivated by the regularity of supply and the fixed fee charged. Therefore, groundwater trade in Nova Floresta represents an economic activity of great relevance for the municipality, while it is a source of regular water supply for the population. It is important that the government act in the regulation of this activity and in the management of groundwater resources, ought to monitor the quality and levels of those groundwater. In addition, the consumers must be aware of the water quality they are subject to ingest, and new alternatives must be adopted by the government so the population can have access to good quality water.

**Keywords:** Water Resources; Drought; Serra do Martins Aquifer; Public Water Supply.

## INTRODUÇÃO

A seca prolongada que atingiu o Nordeste Brasileiro (especialmente o Semiárido) no período de 2012 a 2017 fez com que praticamente 90% dos municípios do Estado da Paraíba decretassem situação de emergência hídrica (Santana & Santos, 2020), entre eles o de Nova Floresta (NF), cuja população soma cerca de 10.000 habitantes. No final de 2013, o principal reservatório que abastecia o município, o açude Boqueirão do Cais localizado no município de Cuité-PB, apresentava volume de água de apenas 9,6% ( $\approx 1,16 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) de sua capacidade máxima (Paraíba, 2021). Diante de tal situação, o abastecimento de água, então operado pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, tornou-se inconstante e restrito, condição típica de um cenário de seca hidrológica (sentido de Fernandes et al., 2009), isto é, quando escassez hídrica afeta o abastecimento da população. Pouco tempo depois, no início de 2014, o sistema de abastecimento colapsou e a população, que reclamava das falhas frequentes na regularidade do abastecimento e da má qualidade da água, passou a lidar com o desabastecimento completo.

A busca por se adaptar em meio à crise hídrica provocou o aumento de perfurações de poços particulares por toda a cidade de NF. Aqueles que não podiam arcar com os custos da abertura de poços passaram a depender do fornecimento de água por parte dos seus vizinhos mais afortunados, pagando a esses uma taxa referente ao serviço de abastecimento. Com o agravamento da crise, cada vez mais municípios aderiram a essa prática, mais poços particulares foram abertos, e a cidade passou a contar com um sistema de abastecimento alternativo. Esse sistema, constituído por diversos fornecedores, passou a compor uma nova atividade comercial no município. Cabe destacar que, até o período de desenvolvimento deste trabalho, o município de NF não teve seu antigo sistema de abastecimento reestabelecido.

Sobre a perfuração de poços particulares em núcleos urbanos para atenuar a falta de água das concessionárias, Hirata et al. (2019) descrevem como um movimento que tem se intensificado desde a última década. E essa situação é ainda mais crítica quando observada em regiões onde a água superficial disponível é escassa ou inexistente (Dantas et al., 2015; Dias, 2017). A exemplo disso, no Estado do Ceará a demanda por águas subterrâneas cresceu vertiginosamente na última grande seca, fazendo com que as taxas de abertura de poços passassem de 200 poços por ano entre 1987 e 2012, para 2000 poços por ano de 2012 a 2018 (Nunes & Medeiros, 2020). Contudo, esse movimento de abertura de poços costuma se desenvolver na ilegalidade, faltando ao poder público tanto o papel de fiscalizador quanto de aliado desses novos usuários que tentam lidar com a crise hídrica (Hirata et al., 2016).

Nesse cenário, a ausência do poder público ou a má gestão dos recursos hídricos subterrâneos pode favorecer a exploração insustentável das águas, contaminação de aquíferos, conflitos entre usuários e aumento dos custos de exploração (Pires et al., 2015; Baú, 2016; Conicelli & Hirata, 2016; Borges, 2017). Ademais, a abertura indiscriminada de poços, especialmente ao longo da zona urbana, pode acarretar na captação de água já contaminada e, na falta de um controle qualitativo, favorecer o consumo água de má qualidade (Rêgo et al., 2018; Silva et al., 2018). Em relação ao aspecto contaminação, de modo generalizado no Brasil, sistemas rudimentares de saneamento *in situ* (e.g. fossas sépticas) representam as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas, sendo o nitrogênio na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o contaminante mais comum, atingindo o lençol freático através

da percolação do esgoto (Nolan et al., 1998; Melo et al., 2012; Hajjar, 2016; Bezerra et al., 2017). Sendo potencialmente danoso à saúde humana (Organização Mundial da Saúde, 2011; Essien et al., 2020), o nitrato, cada vez mais frequente nas águas subterrâneas, representa um problema grave aos gestores de recursos hídricos, seja pela restrição de uso que impõe as fontes d'água ou pela dificuldade na descontaminação (Varnier et al., 2021).

Todas essas preocupações recaem sobre o novo sistema de abastecimento de NF, que não foi idealizado para solucionar um problema hídrico do Semiárido, como nos sistemas alternativos apontados por Santos et al. (2021). Mas ao que tudo indica, o comércio de águas subterrâneas de NF ganhou forma porque o poder público não conseguiu agir de maneira eficaz no momento de agravamento da crise hídrica enfrentada pelo município.

No que tange à proteção das águas subterrâneas, a Lei Federal nº 9.433/97 (Brasil, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece a implantação da outorga do direito de uso de recursos hídricos (art. 11 ao 18), objetivando “[...] assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água [...]” (Caubet, 2009, p. 4). “A outorga não implica na alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito do seu uso” (Lei Estadual 6.308/96 alterada pela lei 8.446/07 - Capítulo V, Parágrafo Único) (Paraíba, 1996, 2007). Deste modo, configura infração às normas de utilização dos recursos hídricos quaisquer desvios de finalidade que não seja as previstas na outorga dada pelo Órgão Gestor. Isto leva a crer que a atividade comercial desenvolvida no município de NF dê-se de modo irregular. De fato, o Estado da PB designa a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA como a responsável pelos serviços de abastecimento e esgotamento sanitário (Lei Estadual nº 9.260 de 25/11/2010 Lei Capítulo V, Seção III, Artigo 10) (Paraíba, 2010), mas não impede que os municípios venham a instituir seus próprios sistemas de abastecimento. Ademais, embora o Novo Marco Legal do Saneamento (Lei 14.026/2020 – Brasil, 2020) preveja o aumento da iniciativa privada no setor de abastecimento, esse não parecer ser o caso de NF, onde a atividade é feita de modo informal pelos próprios municípios.

Portanto, dado o desconhecimento das potencialidades, limitações e peculiaridades dessa atividade, este trabalho tem como objetivo diagnosticar o comércio das águas subterrâneas no município de NF para melhor compreender as características das águas exploradas e dos reservatórios, o perfil dos comerciantes e consumidores, e suas percepções acerca dessa nova atividade. Espera-se que os achados dessa pesquisa possam servir de subsídio para as tomadas de decisões dos gestores públicos quanto à sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, bem como da nova atividade comercial ali instalada.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa aqui apresentada desenvolveu-se entre os anos de 2020 e 2021, período pandêmico da COVID-19 (*corona virus disease* – doença do coronavírus), causada pelo surgimento do vírus SARS-CoV-2. Diante das dificuldades impostas pela pandemia, e a fim de diminuir os riscos de contaminação, decidiu-se pela busca de informações em órgãos públicos através de seus canais virtuais. Entrevistas foram realizadas sempre que possível de forma remota, enquanto nas presenciais buscou-se seguir todas as recomendações dos órgãos de saúde.

Para a construção de um diagnóstico sobre o comércio de água subterrânea em NF, este trabalho atuou na caracterização em três frentes: o bem comercializado (e sua fonte), os comerciantes e os consumidores. Na identificação das características do bem comercializado promoveu-se pesquisa bibliográfica em artigos, periódicos e repositórios, bem como consulta aos bancos de dados de órgãos públicos. Nesse sentido, dados de outorgas de poços da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB) e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) forneceram informações quanto as características litológicas da unidade aquífera, bem como profundidade dos poços, vazão e demais condições de bombeamento. Já a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) proveu 30 análises físico-químicas de águas de poços situados na zona urbana de NF e suas adjacências. Todas as amostras analisadas foram coletadas no mês de fevereiro de 2016, esse o quinto dos setes anos da seca mais severa registrada na região. Os parâmetros considerados nessas análises foram pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, dureza em cálcio, dureza em magnésio, dureza total, cloretos e nitrato. Esse trabalho considerou ainda poços não outorgados cujas características intrínsecas foram informadas pelos seus proprietários. Assim, um total de 44 poços foram considerados nesse trabalho.

Em busca de facilitar a análise conjunta dos diferentes parâmetros acima descritos e se ter uma resposta mais direcionada a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, utilizou-se um índice de

qualidade de água (IQA) para classificar as águas subterrâneas de NF. IQA é um instrumento usado para transformar grandes números de dados de qualidade de água em um único valor que seja representante do nível de qualidade da água de um determinado local em um dado tempo (Saeedi et al., 2009). Matematicamente corresponde a uma média ponderada de parâmetros presentes nas águas, onde o peso de cada parâmetro é definido pelo uso dado aquela água. Assim, neste trabalho foi utilizado o IQA proposto por Hamlat & Guidoum (2018), uma vez que foi empregado para avaliar a qualidade das águas subterrâneas em uma região semiárida (noroeste da Argélia) com ênfase na identificação de fontes mais propícias a dessedentação humana.

O cálculo do IQA pode ser dividido em cinco etapas. Na primeira delas foi atribuído o peso de cada parâmetro ( $w_i$ ) com valores inteiros variando de 1 a 5, de modo que quanto maior for o peso maior a importância do parâmetro para água (Tabela 1):

**Tabela 1** - Atribuição dos pesos para cada parâmetro utilizado no IQA e seus respectivos pesos relativos

Parâmetro	Peso	Padrão	Peso relativo
pH	4	6,0 – 9,5	0,167
Sólidos totais dissolvidos	5	1000 mg.L <sup>-1</sup>	0,208
Condutividade elétrica	4	1500 µS	0,167
Cálcio	2	75 mg.L <sup>-1</sup>	0,083
Magnésio	1	50 mg.L <sup>-1</sup>	0,041
Cloretos	3	250 mg.L <sup>-1</sup>	0,125
Nitrato	5	10 mg.L <sup>-1</sup>	0,208
Total	24	-	1,000

Na segunda etapa, o peso relativo ( $W_i$ ) é calculado usando um método de índice aritmético ponderado (Equação 1).

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

Onde  $W_i$  é o peso relativo,  $w_i$  é o peso de cada parâmetro e  $n$  é o número de parâmetros.

Na terceira etapa, um coeficiente de qualidade ( $q_i$ ), Equação 2, foi calculado para cada parâmetro em cada amostra ao se dividir a concentração de cada parâmetro químico em cada amostra ( $C_i$ ) pelo padrão de potabilidade ( $S_i$ ). As concentrações limites dos padrões de potabilidade seguiram as diretrizes da OMS (Organização Mundial da Saúde, 2011) e portarias do Ministério da Saúde nº2914/2011 (Brasil, 2011) e nº 888/2021 (Brasil, 2021).

$$q_i = \left( \frac{C_i}{S_i} \right) * 100 \quad (2)$$

No caso do parâmetro pH, cujo padrão de potabilidade corresponde a um intervalo (variando de 6 a 9,5) e o zero da escala corresponde ao valor 7, adaptou-se as equações convencionais do coeficiente de qualidade do pH (Prasad et al., 2019) para que nos valores limites do padrão o coeficiente fosse igual a 1 e de modo a não serem possíveis valores negativos (Equações 3 e 4).

$$qpH = \left( \frac{C_{pH}-7}{Ls-7} \right) * 100 \quad (3)$$

$$qpH' = \left( \frac{7-C_{pH}}{7-Li} \right) * 100 \quad (4)$$

Onde  $qpH$  e  $qpH'$  são os coeficientes de qualidade do pH quando  $\geq 7$  e  $< 7$ , respectivamente.  $C_{pH}$  é a concentração do pH na amostra.  $Ls$  é o limite superior do padrão de potabilidade do pH, isto é 9,5.  $Li$  é o limite inferior do padrão de potabilidade do pH, isto é 6.

Na quarta etapa, o subíndice de qualidade ( $SI_i$ ), Equação 5, é determinado para cada parâmetro ao multiplicar-se o peso relativo ( $W_i$ ) pelo coeficiente de qualidade ( $q_i$ ).

$$SI_i = W_i * q_i \quad (5)$$

Por fim, o índice de qualidade da água (IQA) foi calculado somando os valores de cada subíndice conforme a Equação 6.

$$IQA = \sum Sli \quad (6)$$

No qual o  $Sli$  é o subíndice do  $i$ -ésimo parâmetro.

Os valores de IQA calculados são classificados em cinco classes principais: água excelente, boa, pobre, muito pobre e inadequada, com base no valor absoluto do índice determinado a partir dos cálculos. A qualidade da água é classificada conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Classificação da qualidade da água com base dos valores IQA (Sahu & Sikdar, 2008)

IQA	Tipo de água
< 50	Excelente
50 - 100	Boa
100 - 200	Pobre
200 - 300	Muito pobre
> 300	Inadequada

Na caracterização dos fornecedores, utilizou-se de um formulário elaborado para questionar o ano de perfuração e a vazão dos poços, a outorga de direito do uso da água, a realização de análises da qualidade dessas águas e a recepção da visita de algum órgão fiscalizador (AESAs, Prefeitura, CREA e etc.). Quanto a parte econômica e administrativa desse comércio procuramos saber qual valor cobrado pelo serviço, a quantidade de clientes e a quantidade de funcionários.

Para os consumidores, o formulário visou identificar características socioeconômicas, tais como a renda mensal da família e o número de pessoas residentes em cada lar entrevistado. Buscou-se verificar também qual o uso dado as águas do atual sistema de abastecimento, além de identificar outros tipos de águas consumidas, seus respectivos usos e custos. Por fim, para conhecer a percepção dos consumidores sobre os serviços de abastecimento dos quais foram/são clientes, solicitou-se que comparassem os sistemas de abastecimento (antigo e atual), elegendo aquele de sua preferência e apontando as motivações para a escolha. Além disso, questionou-se sobre sua confiança a respeito da qualidade das águas dos poços de NF.

Nesse trabalho todas as menções aos entrevistados são feitas de modo coletivo a fim de garantir a integridade desses colaboradores. Os consumidores entrevistados foram agrupados conforme seu perfil socioeconômico. Para isso calculou-se a renda mensal por residente (RMR) ao dividir a renda total da residência pelo número de residentes dela. Assim, foram analisadas 3 classes de consumidores: Classe 1 – consumidores com RMR de até 1 salário mínimo; Classe 2 – apresentam RMR de até 2 salários mínimos; Classe 3 – apresentam RMR superior a 2 salários mínimos.

Durante a pesquisa verificou-se a utilização de 5 (cinco) tipos diferentes de águas consumidas pela população local. Por isso, para oportunizar um claro entendimento a respeito de tantas possibilidades, resolvemos categorizar os tipos de águas consumidas em:

- Poço - as águas subterrâneas exploradas dos poços em NF;
- Pipa - as águas doces importadas de outras cidades e fornecidas pelos pipeiros;
- Mineral - as águas engarrafadas, popularmente conhecidas como água mineral;
- Chuva - as águas provenientes das chuvas e armazenadas diretamente pelos consumidores;
- Dessalinizador - as águas adquiridas através dos poços com dessalinizadores instalados pelo poder público.

Nesta pesquisa, a utilização de água para lavar louça, lavar roupa, tomar banho, higiene pessoal e limpeza em geral estão enquadrados dentro da categoria “Demais Usos”.

### Área de estudo

Nova Floresta (NF) é um município situado na região central-norte do Estado da Paraíba (Figura 1), na Mesorregião Agreste Paraibano e, mais precisamente, na Microrregião Curimataú Ocidental (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021). De modo mais amplo, o município está inserido no contexto socioeconômico e climático que definem o Semiárido Brasileiro (SUDENE, 2017). Do ponto de vista hidrográfico, o município se insere nos domínios das bacias do Rio Jacu, Trairi e sub-bacia do Seridó Ocidental (Paraíba, 2019), as quais fazem parte da Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental (Marcuzzo, 2017).

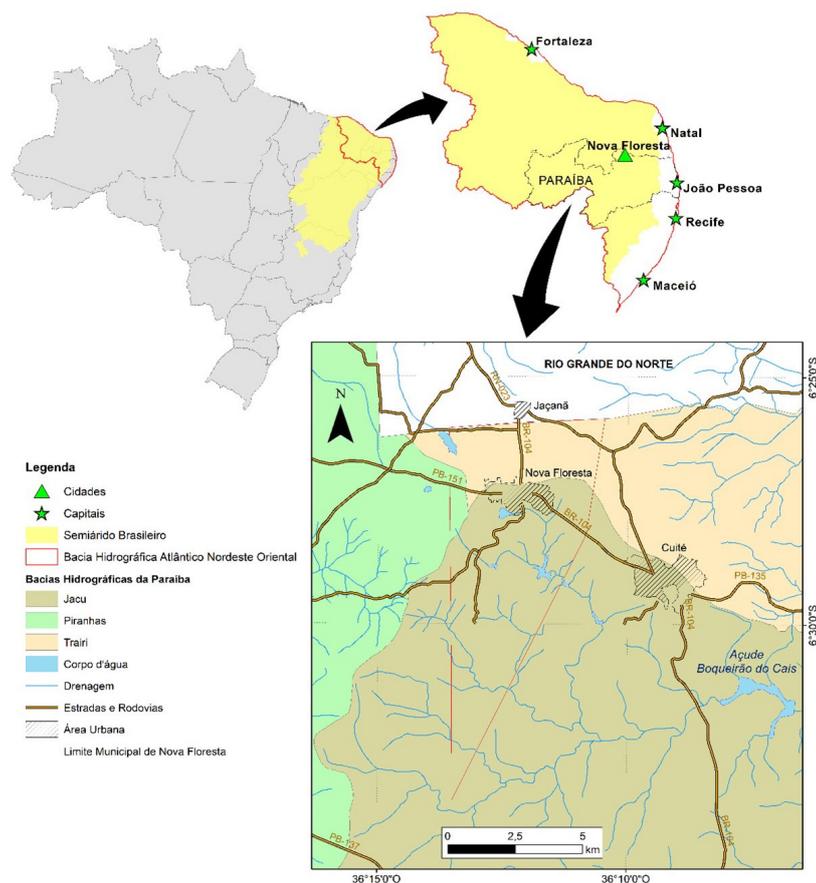


Figura 1 - Mapa de localização do Município de Nova Floresta. Datum: SIRGAS 2000.

Conforme Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (Paraíba, 2019), o domínio territorial de NF está localizado predominantemente sob o sistema aquífero Serra dos Martins (Figura 2A), contido na formação lito-estratigráfica que lhe empresta o nome, sendo constituído de arenitos finos, médios e grossos, pela ordem de predominância, com intercalações de argilitos em camadas de espessuras e profundidades de ocorrência variáveis. Porém, dois outros sistemas aquíferos de menor potencial hídrico ocorrem nos limites do município. Ambos os sistemas são constituídos por rochas cristalinas (Sistema Cristalino), mas apresentam associações litoestratigráficas distintas: um corresponde a ortognaisses migmatizados e granitóides do Complexo Serrinha-Pedro Velho de idade paleoproterozóica; enquanto o outra é formado por granitos neoproterozóicos da Suíte Intrusiva Dona Inês (Oliveira & Cunha, 2018).

Em relação ao relevo, o município está localizado no topo de serras planálticas, onde a rede de drenagem não está evidente. O solo é muito fino, predominante de argilas e siltes, com concreções ferruginosas. Enquanto a vegetação é tipicamente formada por caatinga arbustiva, com estratos arborizados cobrindo as encostas e os topos aplainados (Rosa, 2011).

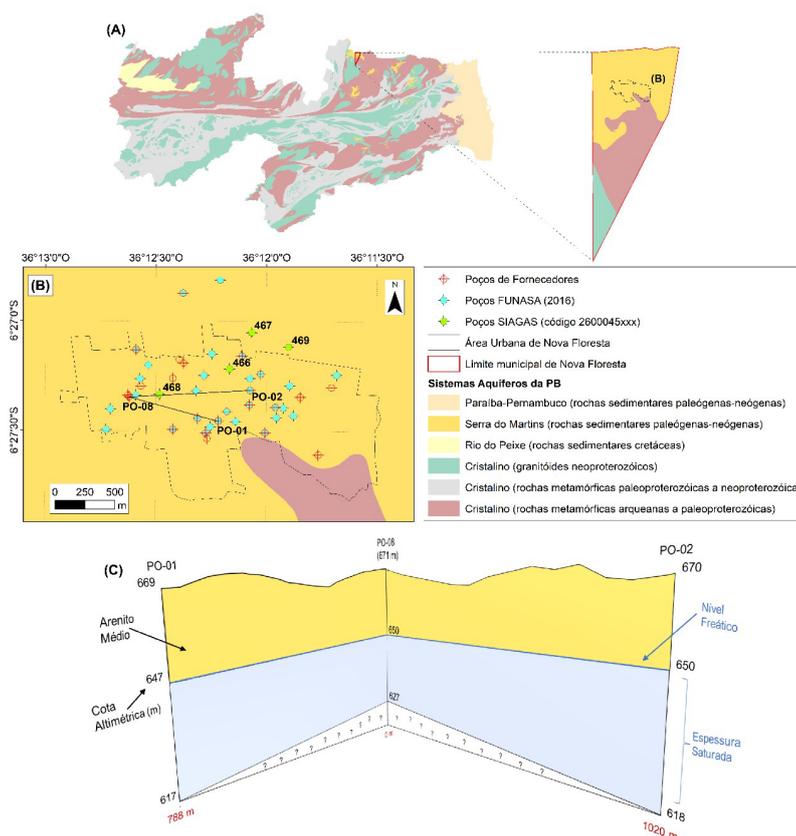
NF possui uma área territorial de 47,5 km<sup>2</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022), com aproximadamente 10.533 habitantes e densidade demográfica de 222,31 hab./km<sup>2</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010), com estimativa de 74,93% da população na zona urbana e 25,07% na zona rural (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019). De acordo com o Cadastro Central de Empresas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019), o salário médio mensal era de 1.7 salários mínimos, e a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 6.9%. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM é de 0,601, considerado como de nível médio (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### O produto - As águas subterrâneas do aquífero Serra do Martins em Nova Floresta-PB

A análise da distribuição espacial dos poços sobre as áreas mapeadas do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (Paraíba, 2022) e da Folha Santa Cruz SB.24-Z-B (Oliveira &

Cunha, 2018), considerando ainda dados litoestratigráficos contidos em perfis construtivos de poços tubulares, mostraram que a unidade aquífera explorada corresponde majoritariamente a arenitos médios da Formação Serra do Martins (Figura 2B). Além disso, considerando o relevo pouco acidentado do município, estimou-se que em fevereiro de 2016 o nível freático desse aquífero estivesse a cerca de 20 metros da superfície (Figura 2C). Naquela ocasião a espessura saturada da camada aquífera variava de 20 a 30 metros. Dados de 14 outorgas da AESA (Paraíba, 2020) mostraram que a vazão desses poços varia de 0,9 a 6,0 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> com média 3,5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Outros 9 poços não outorgados, também considerados nesse estudo, revelaram valores semelhantes com vazões variando de 0,7 a 6,5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e média de 3,0 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. O rebaixamento observado com o bombeamento mostra uma queda de 10 a 15 metros (nível dinâmico), com recuperação do nível estático (em equilíbrio com o aquífero) num período de 3 h. A ausência de dados históricos dos poços estudados impossibilita maiores discussões sobre o cenário observado, contudo, informações de 4 poços presentes no SIAGAS dos anos 1965, 1981, 1982 e 1983 (todos do mês de janeiro) revelaram um nível freático bem acima do observado em 2016, variando de 5 a 10 metros abaixo da superfície. Já os parâmetros hidráulicos de vazão e rebaixamento mantiveram-se dentro dos intervalos observados em 2016. Para um aquífero pequeno, um rebaixamento da ordem de 10 m acumulado num período longo pode ser um indício de superexploração, resultado da forte pressão antrópica sobre o manancial. Isso não necessariamente significaria que a quantidade de água subtraída do aquífero teria sido maior que a sua capacidade de recarga, mas ao que Custódio (2002) alega poder também ocorrer em virtude de alterações transitórias de longo prazo nas condições do balanço hídrico da área de recarga.



**Figura 2** - Hidrogeologia para o município de Nova Floresta. A: Contexto hidrogeológico conforme os Sistemas Aquíferos do Estado da Paraíba; B: Distribuição dos poços estudados sobre os sistemas aquíferos encontrados do município de Nova Floresta; C: Seções hidrogeológicas transversais (perfis) conforme alinhamentos dos PO-01, PO-02 e PO-05, ilustrando a posição do nível freático e da espessura saturada do aquífero em fevereiro de 2016. Datum: SIRGAS 2000.

Os resultados das análises químicas e físico-químicas das águas desse aquífero realizadas pela FUNASA em fevereiro de 2016 estão sumarizados por meio de quartis na Tabela 3.

**Tabela 3** - Distribuição estatística das concentrações dos parâmetros físico-químicos das águas do aquífero Serra do Martins, no município de Nova Floresta em fevereiro de 2016, e sua comparação com os padrões estabelecidos pelos órgãos sanitários.

Parâmetro	Unidade	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Padrão	Referência
Condutividade elétrica	$\mu\text{S.cm}^{-2}$	570,0	1924,0	2980,0	3062,4	3782,5	6280,0	$\leq 1500$	Organização Mundial da Saúde (2011)
Sólidos totais dissolvidos	$\text{mg.L}^{-1}$	400,0	1270,3	1975,0	2044,3	2522,5	4200,0	$\leq 1000$	Portaria do MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011)
pH	-	3,7	4,0	4,4	4,5	4,7	6,9*	6,0 a 9,5	Portaria do MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011)
Nitrato	$\text{mg.L}^{-1}$	0,0	15,3	58,8	54,2	79,8	132,0	$\leq 10$	Portaria do MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011)
Cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ )	$\text{mg.L}^{-1}$	8,0	19,7	33,7	37,0	48,2	112,4	75	Organização Mundial da Saúde (2011)
Magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ )	$\text{mg.L}^{-1}$	1,2	10,9	19,5	23,1	31,6	74,4	50	Organização Mundial da Saúde (2011)
Dureza total (em $\text{CaCO}_3$ )	$\text{mg.L}^{-1}$	100,0	417,5	550,0	624,3	835,0	1460,0	$\leq 500$	Portaria do MS nº 888/2021 (Brasil, 2021)
Cloretos	$\text{mg.L}^{-1}$	46,1	712,8	1008,0	991,6	1216,8	2304,0*	$\leq 250$	Portaria do MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011)

\* *outlier* ou valor atípico para o conjunto de dados.

Os parâmetros condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) são parâmetros diretamente relacionados, com STD equivalente a 66% da CE ( $\text{STD} = \text{CE} \cdot 0,66$ ), e, portanto, toda a discussão atribuída ao STD também pode ser assumida para a CE. As concentrações de STD verificadas revelam que as águas subterrâneas do município são majoritariamente salobras, isto é, apresentam concentrações no intervalo  $1.000 < \text{STD} \leq 10.000 \text{ mg.L}^{-1}$  (Freeze & Cherry, 1979). Apenas 10% dos poços analisados apresentam águas doces ( $\text{STD} \leq 1.000 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Embora não haja uma diretriz para níveis seguros de STD em águas potáveis, sabe-se que águas com concentrações superiores a 600 começam a apresentar sabor desagradável, e acima de  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$  costumam ser intragáveis (Organização Mundial da Saúde, 2011).

Em relação ao parâmetro pH, as águas subterrâneas de NF são ácidas, com concentrações inferiores ao grau 6. Apenas uma amostra apresenta pH próximo ao neutro (6,9), a qual representa um *outlier* (valor atípico) para o conjunto das amostras. Além disso, 75% das amostras apresentam pH entre 3,7 e 4,7. Embora tamanha a acidez, não é possível alegar que sua ingestão represente um risco direto a saúde humana. Conforme a OMS (Organização Mundial da Saúde, 2007), é praticamente impossível determinar uma relação direta entre a saúde humana e o pH da água potável, uma vez que este parâmetro está intimamente associado a outros aspectos da qualidade da água. Por outro lado, águas ácidas, como as verificadas em NF, tenderão a ser naturalmente rejeitadas pelos consumidores, haja vista o sabor desagradável (azedo ou até metálico) que comumente apresentam. Cabe ainda destacar que águas ácidas podem corroer estruturas metálicas do sistema de abastecimento (e.g. tubos, conexões) e lixiviar metais pesados ali presentes, causando sua contaminação (Organização Mundial da Saúde, 2011). Nesse sentido, o Ministério da Saúde (MS), através da Portaria nº2914 de 2011 (Brasil, 2011) recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,5.

Contrasta com o pH ácido dessas águas sua elevada dureza, onde 87% das amostras apresentam dureza total acima de  $300 \text{ mg.L}^{-1}$ , concentração máxima recomendada ao consumo humano pela Portaria do MS nº 888/2021 (Brasil, 2021). Aplicando a classificação de Gray (1994), os mesmos 87% das amostras de água são classificadas como águas muito duras, enquanto 10% se enquadram como águas duras, e apenas 3% apresentam dureza moderada (Tabela 4). Nenhuma amostra pode ser classificada como água mole.

A elevada dureza das águas subterrâneas de NF causa estranheza, uma vez que não se observa no contexto hidrogeológico fontes de carbonatos que pudessem enriquecê-las (Oliveira & Cunha, 2018). Ao analisar as concentrações dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , percebeu-se que esses íons não eram os principais componentes da dureza total, haja vista que o somatório das concentrações desses elementos corresponde em média a 31% da dureza total das águas, podendo variar de 24 a 39%. Assim, o mais provável é que os teores elevados se deem em virtude da dureza de não-carbonatos (dureza permanente), cujos principais constituintes são sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio (Brasil, 2014; AQION, 2020). Esse tipo de dureza também é resistente aos sabões, contudo, não produz incrustações nas instalações hidráulicas haja vista sua alta solubilidade em água (Abdalla et al., 2010). Esse aspecto ajuda a explicar por que em NF as águas têm dureza muito elevada, mas o sistema de

abastecimento não sofre com incrustações. Maior presença de dureza de não-carbonatos também é condizente com a acidez das águas.

**Tabela 4** - Grau de dureza das águas subterrâneas de Nova Floresta, em fevereiro de 2016 segundo a classificação de Gray (1994)

Dureza Total (mg.L <sup>-1</sup> )	Grau de dureza	Nº de amostras	Frequência (%)
0 - 75	Mole	0	0
75 - 150	Moderada	1	3
150 - 300	Dura	3	10
≥ 300	Muito dura	26	87

Em relação aos cloretos apenas 1 amostra estava dentro dos padrões de potabilidade, isto é, menos de 250 mg.L<sup>-1</sup>. Acima desses níveis dão a água gosto salgado, o que as torna menos toleráveis ao paladar (Organização Mundial da Saúde, 2011). Para as águas subterrâneas de NF a concentração média de cloretos foi de 991 mg.L<sup>-1</sup> com máximo de 2304. Feitosa et al. (2008) indicam que as concentrações de cloretos em águas subterrâneas costumam ser inferiores a 100 mg.L<sup>-1</sup>, logo, teores elevados podem estar associados a contaminação por efluentes domésticos, lixões e aterros. Outro potencial contribuidor a contaminação de aquíferos por cloretos é atividade agrícola, a esse respeito, Fernandes et al. (2005) mostram relação entre o uso intensivo de fertilizante de cloreto de potássio (KCl) e o aumento nos níveis de cloretos e condutividade elétrica na Chapada do Apodi, semiárido dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Para NF, todas essas fontes de contaminação são possíveis, uma vez que o aquífero é livre, apresentando área de recarga coincidente com a zona urbana (desprovida de rede de esgoto), lixões, e áreas cultivadas. É válido destacar que as concentrações de cloretos exibem correlação estatística moderada ( $\rho = 0,55$  e  $R^2 = 0,30$ ) com as concentrações dureza total, o que pode ser uma evidência da presença de cloretos na dureza permanente nessas águas.

O nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foi o único dos parâmetros analisados que representa fator de risco a saúde, e sobre isso, observou-se que apenas 20% das amostras estudadas apresentaram concentrações dentro do aceitável pela Portaria do MS nº2914/2011 (Brasil, 2011) (Figura 3A), isto é, 10 mg.L<sup>-1</sup> de nitrato como nitrogênio. Em 27% das amostras, as concentrações de nitrato excederam em até 5 vezes o limite recomendado (10,1 a 50,0 mg.L<sup>-1</sup>). Concentrações 5 a 10 vezes acima do limite (50,1 a 100,0 mg.L<sup>-1</sup>) foram observadas em 40% das amostras, enquanto os 13% restantes apresentaram concentrações superiores a 10 vezes o limite estabelecido (> 100,0 mg.L<sup>-1</sup>).

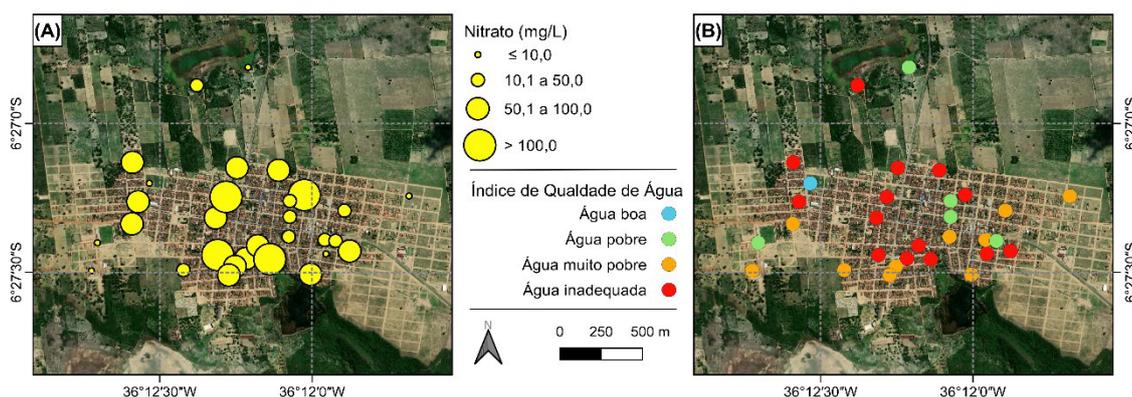
Concentrações de nitrato acima de 10 mg.L<sup>-1</sup> são especialmente perigosas para recém nascidos, haja vista o risco de desenvolverem a síndrome do bebê azul: formação de metemoglobina que dificulta a oxigenação do sangue, muitas vezes fatal para crianças com idades inferiores a seis meses (Fernícola & Azevedo, 1981). Além disso, a ingestão de água rica em nitrato associa-se ao desenvolvimento de câncer, especialmente de estômago (Essien et al., 2020). É válido destacar que 4 das 6 amostras com concentração de nitrato dentro do limite seguro a ingestão, estão localizadas em áreas menos urbanizadas (Figura 3A). Esses resultados são condizentes aos encontrados por Hajjar (2016) que considera a densidade habitacional e o tempo de ocupação como fatores diretamente associados aos elevados níveis de nitrato observados na cidade de Carlos Barbosa, Estado do Rio Grande do Sul. Outra situação análoga ao observado em NF, embora guardada as proporções, ocorre em Natal (capital do Rio Grande do Norte), onde a contaminação do aquífero por efluentes domésticos tem afetado significativamente o abastecimento público, forçando cada vez mais abertura de novos poços em regiões menos vulneráveis à contaminação, as quais que vem diminuindo significativamente nas últimas décadas (Vasconcelos et al., 2018). E se por um lado, a descarga de esgotos traz contaminação ao manancial, por outro tende a elevar o nível das águas subterrâneas, minimizando os efeitos da impermeabilização advinda com o processo de urbanização, bem como da exploração das águas subterrâneas para fins de suprimento (Melo et al., 2012, 2014). Felizmente para a região metropolitana do Natal, as condições pluviométricas (normalmente acima de 1600 mm/ano) conduz muitas vezes a redução sazonal dos níveis de nitrato algumas localidades, viabilizando o uso de seus poços (Martins & Castro, 2014). Situação que deve ocorrer de modo mais raro em NF, haja vista a condição de aridez na qual se insere seu aquífero. Deste modo, também é possível supor que os efluentes domésticos de NF representem uma parcela significativa do volume da recarga anual do aquífero.

O enfrentamento do problema do nitrato requer ações preventivas e corretivas, mas é necessário o reconhecimento por parte dos gestores, que a contaminação por nitrato existe e causa problemas à saúde, à disponibilidade de água, além de ocasionar impacto econômico (Varnier et al., 2021). Portanto,

alerta-se para a urgência no reconhecimento das fontes de contaminação (Silva et al., 2019) e áreas de vulnerabilidade (Vasconcelos et al., 2018), bem como para a adoção de políticas públicas que promovam a universalização dos sistemas de esgotamento sanitário e abastecimento de água, pois somente com essas medidas pode-se garantir a qualidade da água e a saúde da população (Bezerra et al., 2017).

A análise conjunta dos parâmetros através do índice de qualidade de água (IQA) utilizado por Hamlat & Guidoum (2018) para áreas semiáridas, mostrou que em fevereiro de 2016 apenas um poço (3%) amostrado apresentava água classificada como boa, isto é,  $50 \leq IQA < 100$ . Águas pobres ( $100 \leq IQA < 200$ ) perfaziam 17% dos poços amostrados, enquanto águas muito pobres ( $200 \leq IQA < 300$ ) eram observadas em 33% dos pontos amostrados. Outros 47% dos poços amostrados apresentaram águas classificadas como inadequadas para o consumo ( $IQA \geq 300$ ). Portanto, conforme o IQA proposto apenas um ponto de água poderia ser utilizado para fins primários (dessedentação e preparo de alimentos), os demais pontos só poderiam atender a essa finalidade após tratamento (e.g. dessalinização). É válido destacar que mesmo o poço classificado como “água boa” apresenta parâmetros fora dos padrões estabelecidos, assim, o que o mantém naquela classe é o peso assumido pelo parâmetro fora do limite, bem como o quão afastado se está desse limite. Isso reforça a importância da avaliação conjunta e ponderada trazida pelos índices de qualidade de água.

Na Figura 3B é possível visualizar a distribuição espacial dos poços conforme o IQA no município de NF. É possível notar uma concentração de pontos de “água inadequada” nas regiões urbanizadas, conduzindo a interpretação que a poluição advinda da urbanização contribui decisivamente no agravamento da qualidade das águas. Importante ainda observar que mesmos os pontos com pouca urbanização apresentam águas ruins, o que pode representar (dentre outras coisas) a qualidade natural das águas desse aquífero e/ou os efeitos da seca prolongada sobre o manancial subterrâneo.



**Figura 3** - Distribuição espacial dos níveis de nitrato (A) e índice de qualidade de água (B) em fevereiro de 2016 conforme os poços analisados. Datum: SIRGAS 2000.

### Fornecedores

Foram identificados 25 comerciantes de água subterrânea em NF que extraem água do manancial local. Desse total, 23 (vinte e três) aceitaram participar dessa pesquisa. Em relação ao direito do uso da água, apenas 61% fornecedores apresentam autorização de uso da água pelo órgão estadual. É importante destacar que a autorização se refere ao uso pessoal da água, devendo essa ser destinada a fins secundários (e.g. limpeza, jardinagem) devido a suas características físico-químicas. Enquanto o abastecimento dos ambientes que terão consumo humano fica a cargo da concessionária responsável.

Porém, em virtude da grave situação hídrica e com o intuito de retirar os fornecedores do novo sistema da clandestinidade, os gestores locais promulgaram a Lei municipal nº 882/2016 (Nova Floresta, 2016) que dispõe sobre o estabelecimento de colaboração federativa na organização, regulação, fiscalização e prestação dos serviços públicos de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos sanitários, que, em seu Art. 7º faculta ao usuário escolher entre o serviço de abastecimento da CAGEPA ou outro serviço de abastecimento de água por particular.

A maior parte desses poços (83%) entraram em atividade entre os anos de 2015 a 2017, o que coincide com o agravamento da escassez hídrica e a interrupção do abastecimento de água por parte da CAGEPA no ano 2014. Em relação ao monitoramento da qualidade dessas águas, observou-se que 78% dos poços utilizados pelos fornecedores possuem pelo menos uma análise da qualidade da água, enquanto os demais poços (22%) sequer tiveram suas águas analisadas.

Quanto aos valores tarifados pelo fornecimento dessas águas subterrâneas, identificou-se que 22% fornecedores cobram a importância de R\$ 30,00 (trinta reais), enquanto para outros 26% o valor é de R\$ 40,00 (quarenta reais) pelo abastecimento. Os demais fornecedores (52%) cobram R\$ 50,00 (cinquenta reais) pelo serviço. Destaca-se que os custos de estruturação desse sistema (encanação) são de responsabilidade dos fornecedores. É relevante destacar que não há nenhum tipo de controle em relação a quantidade de água distribuída por parte dos fornecedores, divergindo do pensamento de Fracalanza et al. (2013) que considera a cobrança como instrumento econômico de gestão, valorização e racionalização do uso da água, possuindo a capacidade de modificar o comportamento dos usuários, disciplinando o uso do recurso através da diminuição do consumo e do desperdício.

Em relação ao número de clientes/domicílios por fornecedor, a variedade de casos é grande, havendo fornecedores com apenas 5 clientes enquanto outros atendem até 160 domicílios. Por isso, aplicou-se uma estatística de distribuição de classes com intervalos iguais de número de clientes, e obtendo-se quatro classes de fornecedores (Figura 4). A Classe F1 contempla 43% dos fornecedores, os quais atendem de 5 a 43 clientes. Coincidentemente, a Classe F2, cujo número de clientes vai de 44 a 82 clientes, também corresponde a 43% dos fornecedores. A Classe F3 possui de 83 e 120 clientes, e perfazem 9% do total de fornecedores. Por fim, a Classe F4 é representada por um único fornecedor que atende 160 clientes.

Através dos dados de números de clientes (domicílios) e a tarifa adotada por fornecedor foi possível verificar a distribuição do faturamento estimado de cada fornecedor, na qual constatou-se que 30% deles faturam entre R\$ 250 e R\$ 1.275, outros 30% faturam entre R\$ 1.275 e R\$ 2.300, enquanto 13% arrecadam entre R\$ 2.300 e R\$ 3.325, mais 13% apuram mais que R\$ 3.325 e menos que R\$ 4.350, enquanto apenas 9% recebem entre R\$ 4.350 e R\$ 5.375 e meros 4% faturam mais que R\$ 5.375. Conjuntamente, a comercialização da água movimentava aproximadamente R\$ 48.000 (quarenta e oito mil reais) mensais e R\$ 576.000 (quinhentos e setenta e seis mil reais) anuais. Diferente da situação anterior de abastecimento, o dinheiro atualmente movimentado pelo consumo de água permanece no município, o que ajuda a aquecer a economia local.



Figura 4 - Comparação do número de clientes por classe de fornecedores vs. receita bruta.

Apenas um dos fornecedores entrevistados possui funcionário com vínculo empregatício formal. O mais comum entre os fornecedores é a contratação de diaristas quando necessitam de auxílio para manutenção dos seus negócios. A grande maioria dos fornecedores (87%) consideram o comércio de águas subterrâneas como fonte de renda secundária, utilizando-a como complemento das suas respectivas rendas principais. Apenas 13% dos fornecedores dependem exclusivamente do comércio de águas subterrâneas como única fonte de renda.

### Consumidores

Em relação ao perfil socioeconômico dos 30 consumidores entrevistados nessa pesquisa, observou-se que 43% deles se enquadram na Classe 1, isto é, apresentaram renda mensal por

residente (RMR) inferior familiar a 1 salário mínimo. 37% dos consumidores se enquadraram na Classe 2 ( $1 < \text{RMR} \leq 2$  salários mínimos) e 20% na Classe 3 ( $\text{RMR} > 2$  salários mínimos).

Observou-se que o uso das águas subterrâneas de NF, bem como demais tipos de água, tem finalidade diversa de acordo com a classe de consumidores (Figura 5). As águas subterrâneas de NF são preferencialmente destinadas ao uso secundário, como higiene pessoal e das residências. Entretanto, foi observado que 3 consumidores (um da Classe 1 e dois da Classe 2) também usam essas águas para o preparo de alimento (cozinhar), situação que não foi observada nos consumidores da Classe 3. Assim, considerando que a qualidade das águas subterrâneas de NF seja similar ao observado em fevereiro de 2016, é provável que uma parcela da população local esteja ingerindo águas potencialmente danosas a sua saúde, uma vez que nem o processo de fervura, nem o tratamento por cloração (comumente aplicado) são capazes de torná-la potável. Além disso, se a amostra dos consumidores estudada neste trabalho for um retrato fiel da população de consumidores, ter-se-ia ao menos 113 famílias potencialmente propensas a ingerir águas contaminadas

Águas da categoria Pipa são destinadas principalmente a dessedentação e para o preparo de alimentos. O uso para dessedentação aparece em 77% da Classe 1, 27% da Classe 2 e 50% da Classe 3. Enquanto uso para o preparo de alimentos é observado em 92% da Classe 1, 100% da Classe 2 e 66% da Classe 3. Observou-se ainda na Classe 1 o uso exclusivo a dessedentação, enquanto na Classe 3 tais águas podiam ser destinadas a fins secundários ou sequer serem utilizadas. Essa discrepância no uso aponta para a diferença de poder aquisitivo, bem como alguma espécie de desconfiança relacionada as águas da categoria Pipa. Assim, é provável que consumidores de melhores condições financeiras não se abduquem o direito de gastar mais dinheiro para ingerir águas que confiem ou que sejam mais palatáveis.

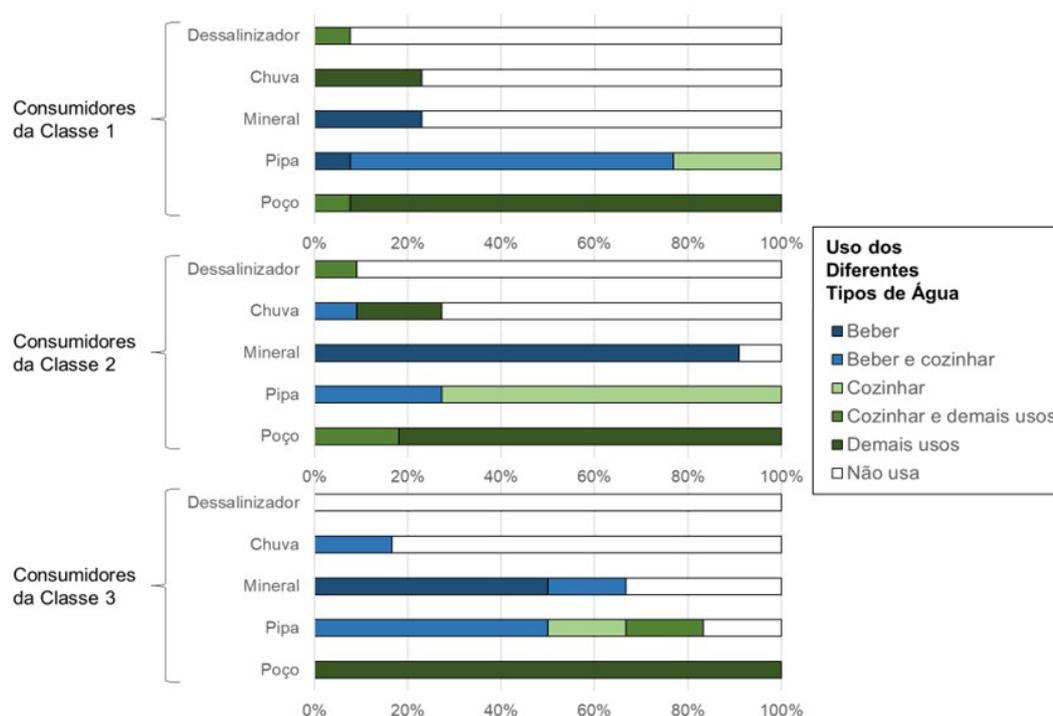


Figura 5 - Usos dos diferentes tipos de água por classe de consumidores.

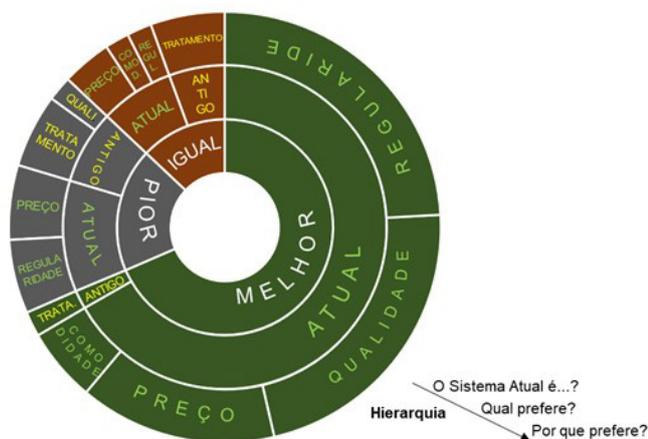
Nesse sentido, águas da categoria Mineral são utilizadas apenas por 23% da Classe 1, 90% da Classe 2 e 66% da Classe 3. O uso dessas águas se dá quase que exclusivamente para a dessedentação, aparecendo na Classe 3 também o uso para o preparo de alimentos. O maior consumo desse tipo de água pela Classe 2 em relação a Classe 3 pode denotar que o critério de separação por renda utilizado não as conseguiu diferenciar, ou ainda que a amostragem não foi bem-sucedida.

Águas da categoria Chuva são utilizadas por: 23% da Classe 1 para fins secundários no uso secundário; 18% da Classe 2 para os mais diversos fins; 9% da Classe 3 para fins de dessedentação e preparo de alimentos. O uso das águas da categoria Dessalinizador é observado apenas nas classes 1 (8%) e 2 (9%), sendo essas empregadas no preparo de alimentos e para fins secundários.

A despesa mensal dos consumidores com água do novo sistema de abastecimento pode ser de 30, 40 ou 50 reais. Para comparar com as despesas com água do sistema de abastecimento antigo (CAGEPA), considerou-se o consumo per capita de água de 87,5 L/dia dos paraibanos (Painel Saneamento Brasil, 2019) e a média de 3 pessoas por domicílio em NF, o que resultou no valor médio de 0,262 m<sup>3</sup>/dia/domicílio. Ao fim do mês (30 dias) esse consumo seria de 7,87 m<sup>3</sup>/domicílio/mês, estando dentro da tarifa mínima (consumo de até 10 m<sup>3</sup>) de R\$ 40,64 (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, 2020). Assim, em termos de despesas por consumidores, ambos sistemas têm valores próximos.

Ao observar a despesa mensal com águas da categoria Pipa e Mineral por classe de consumidores, ficou evidente que quanto maior o poder aquisitivo maior o gasto orçamentário com água. Os consumidores da Classe 1 apresentam despesa de R\$ 5,00 a 22,67 por residente, sendo a média R\$ 9,45. A Classe 2 tem despesa mensal por residente variando de R\$ 7,50 a 44,00 com média de R\$ 16,61. A Classe 3, por sua vez, apresenta as maiores despesas com essas águas: R\$ 12,33 a 48,00 com média de R\$ 20,32.

As despesas da população com vários tipos de águas é um reflexo da baixa disponibilidade hídrica, assim como atestam Leite et al. (2008), sendo ainda condicionada pela renda e pelos padrões de uso. Deste modo, o aspecto econômico das águas é refletido na percepção dos consumidores em relação aos dois sistemas de abastecimento de água que usufruíram. Para sintetizar e melhor representar a opinião dos consumidores em relação esses sistemas de abastecimento, foi construído um gráfico hierárquico do tipo explosão solar (Figura 6). Esse gráfico é constituído por anéis concêntricos, onde os anéis mais internos têm relação hierárquica superior aos anéis externos. No caso apresentado, o primeiro anel (mais interno) exibe a percepção dos consumidores em relação a qualidade do atual sistema em relação ao anterior, onde foram admitidas três respostas: “melhor”, “igual” ou “pior”. Partindo da escolha anterior, o segundo anel ilustra a preferência dos consumidores entre o sistema “atual” e o “antigo”. Por fim, o terceiro anel exibe a justificativa para cada preferência. Apesar das respostas serem livres foi possível sintetizá-las com os termos: comodidade, preço, qualidade, regularidade e tratamento.



**Figura 6** - Percepção dos consumidores em comparação aos sistemas de abastecimento de água antigo e atual.

Dos consumidores que julgaram o sistema atual como melhor (60% do total), 94% o preferem, justificando sua escolha devido da qualidade da água fornecida (13 menções ou 13 me.), regularidade no abastecimento (12 me.), preço (8 me.) e comodidade do serviço (3 me.). Apenas 1 consumidor que julga o sistema atual melhor tem preferência pelo antigo, justificando sua escolha em virtude do tratamento químico que era recebido pelas águas antes de sua distribuição.

Consumidores que consideraram como “igual” a qualidade entre ambos sistemas de abastecimento (17% do total de consumidores), compõem-se de 40% que preferem o sistema atual por questões de preço (2 me.), comodidade e regularidade (ambos 1 me.). Os 60% restante preferem o sistema antigo por questões relativas ao tratamento das águas (3 me.). Em relação aos consumidores que julgaram o sistema atual como pior (23% do total), apenas 43% preferem o sistema antigo, mencionando qualidade e tratamento (2 me. cada) como motivo da escolha. Os demais (57%) preferem o sistema atual, justificando sua escolha em virtude do preço e da regularidade do abastecimento (3 me. cada).

É válido ressaltar que 77% de todos os consumidores não confiam no sistema de abastecimento novo. Assim, a quantidade de menções positivas em relação a qualidade da água e regularidade do

abastecimento do sistema novo revelam, na verdade, a condição precária do antigo sistema nos dias que antecederam o seu colapso, onde as águas eram escassas e de péssima qualidade. A desconfiança é tamanha que, unanimemente, os consumidores que preferem o sistema antigo, o escolhem por saber que suas águas recebiam algum tratamento químico para sua sanidade.

O fator preço, muito mencionado por aqueles que preferem o sistema atual, pode se relacionar a constância da tarifa (independente do consumo), o que evita surpresas orçamentárias, embora também seja um meio favorável ao descontrole no uso da água, prejudicando a gestão do recurso (Fracalanza et al., 2013).

## **CONCLUSÃO**

Este trabalho, que se propôs a investigar os aspectos pertinentes ao comércio de águas subterrâneas do município de NF, identificou que ao menos 25 empreendedores exploram e fornecem águas do subsolo da cidade (zona urbana e imediações) para ao menos 1080 domicílios.

A avaliação sobre a fonte d'água revelou um aquífero com potencial hidrológico significativamente limitado para o abastecimento humano, onde as vazões dos poços são inferiores a  $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . As águas são predominantemente salobras, consideravelmente ácidas e estranhamente duras. Somam-se a isso os elevados terrores de cloreto e nitrato, o que deve suscitar maior cuidado aos consumidores. Concordantemente, a análise conjunta dos diversos parâmetros das águas pelo IQA mostrou que apenas uma fonte de água é adequada à dessedentação humana, enquanto as demais necessitariam passar por pelo menos algum tratamento físico-químico para se tornarem mais adequadas ao consumo. É válido ressaltar que as análises de água consideradas nesse trabalho representavam o cenário hidroquímico do aquífero em fevereiro de 2016, quinto ano da seca que perdurou de 2012 a 2018. Análises hidroquímicas desses mesmos poços para outros períodos (com diferentes condições pluviométricas) foram inacessíveis ou inexistentes. Assim, não é sabido o histórico da qualidade das águas subterrâneas, tampouco saber se atualmente estão em condições melhores ou piores que naquela época. Ao que concerne a quantidade de água manancial subterrâneo, sabe-se apenas que no ano de 2016 a espessura saturada da camada aquífera nas proximidades da zona urbana de NF variava entre 20 a 30 m. O que mostra uma redução de cerca de 10 m menor desde o início da década de 80, acendendo um alerta para a possibilidade de superexploração. Assim, aponta-se que sejam feitos com urgência estudos hidrogeológicos aprofundados do aquífero que o caracterize em toda a sua extensão (não se restringindo apenas a NF), bem como um programa de monitoramento contínuo para acompanhamento dos níveis do manancial e qualidade de suas águas. É necessário que o poder público tome ciência das características do manancial subterrâneo para assim aplicar políticas adequadas à sua gestão. Caso contrário, estar-se-á comprometendo ainda mais a segurança hídrica daquela população, assumindo vilipendiar um recurso que, embora precário, torna-se cada vez mais precioso no atual cenário de mudanças climáticas.

Investigar as causas para a baixa qualidade das águas não foi objeto dessa pesquisa, contudo, haja vista o condicionamento hidrogeológico do aquífero e a infraestrutura urbana, é creditável à contaminação por efluentes domésticos os altos níveis de nitrato. Todavia, apenas estudos mais aprofundados poderão apontar de modo mais acurado as causas para as diversas anormalidades encontradas nos parâmetros físico-químicos dessas águas subterrâneas.

Em relação aos fornecedores evidenciou-se que o comércio das águas subterrâneas de NF se transformou em uma importante fonte de renda a partir de meados do ano 2016, ano com maior número de perfuração de poços. Apesar de ser uma fonte de renda complementar para a maioria dos fornecedores, esse recurso financeiro advindo das águas já está consolidado como uma fatia importante no orçamento dessas famílias que recolhem valores entre R\$ 30,00 e R\$ 50,00 por residência. Esses valores representam um faturamento mensal entre R\$ 250,00 a R\$ 6.400,00 por fornecedor, que somados movimentam ao menos R\$ 576.360,00 por ano no comércio local.

Quanto aos consumidores, identificou-se que 43,3% deles possuem renda familiar média mensal menor que 1 salário mínimo (Classe 1), também foi possível notar que 10% dos consumidores (pertencentes as Classes 1 e 2) utilizam essas águas subterrâneas para cozinhar. O que gera um alerta preocupante, pois sabe-se que em 80% dos poços estudados os níveis de nitrato apresentaram-se acima do permitido. Assim, se a amostra dos consumidores investigados nesse trabalho for um retrato fiel de todos os consumidores do atual sistema, teríamos ao menos 108 residência potencialmente propensas a ingerir águas contaminadas. Todavia, importante ressaltar que não se conhece a quais consumidores são fornecidas as melhores ou piores águas. Assim, um estudo que cruze essas

informações é necessário. Mais necessário ainda é que se adote uma política de vigilância da qualidade das águas ofertadas com alertas e sensibilização da população quanto aos riscos de consumo.

Notou-se que quanto menor o poder econômico dos consumidores, maior a diversidade de tipo de água consumida, mostrando que as Classes 1 e 2 usam diversas fontes de águas, como a do dessalinizador.

De modo semelhante, averiguou-se que mesmo com a desconfiança de grande parte dos consumidores em relação a qualidade das águas subterrâneas, eles preferem o sistema atual em comparação ao antigo, motivados principalmente pela regularidade do serviço que dificilmente falha, brevidade na resolução de problemas, comodidade de tratar os problemas e percalços com pessoas conhecidas, e pelo preço fixo que os permite ter uma previsão orçamentária independentemente da quantidade de água consumida. Vale ressaltar que preço e tratamento costumam caminhar na mesma direção, assim, quanto mais tratamentos a água receba, maior será o custo associado, e, portanto, a tarifa para a população.

Isto posto, é recomendável que haja uma maior participação do poder público (especialmente na ordem municipal e estadual) na regulamentação dessa atividade comercial, bem como na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Para tanto será necessário ações constantes e efetivas de monitoramento em busca de dados que possam subsidiar uma melhor tomada de decisão e criação de políticas públicas por partes dos gestores, a fim de proporcionar uma gestão compartilhada, participativa e eficiente, além de um trabalho contínuo de sensibilização dos usuários, sejam eles consumidores, fornecedores ou gestores, acerca da relevância deste recurso tanto para o meio ambiente como para saúde e qualidade de vida da população nova florestense.

## REFERÊNCIAS

- Abdalla, K. V. P., Cavalcante, P. R. S., Costa Neto, J. P., de Barbieri, R., & Mesquita Neto, M. C. (2010). Avaliação da Dureza e das Concentrações de Cálcio e Magnésio em Águas Subterrâneas da Zona Urbana e Rural do Município de Rosário-MA. In *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços* (pp. 1-11). São Paulo: ABAS. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915>
- AQION. (2020). *Water hardness. Hydrochemistry & Water Analysis*. Recuperado em 5 de outubro de 2022, de <https://www.aqion.de/site/water-hardness>
- Baú, D. (2016). *Áreas potenciais à captação de água subterrânea no sistema aquífero Serra Geral, estado do Paraná*, Brasil (Trabalho de Conclusão de Curso). Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Recuperado em 5 de outubro de 2022, de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/151137/001009615.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bezerra, A. D. A., da Rocha, J. C., Nogueira, E. R., Araújo, F. G. D. M., Farias, M. K., Brandão, M. G. A., & Pantoja, L. D. M. (2017). Teor de nitrato em águas subterrâneas da região metropolitana de Fortaleza, Ceará: um Alerta. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, 38(2), 129-136. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0367.2017v38n2p129>.
- Borges, V. M. (2017). *Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral, estado do Paraná* (Dissertação de mestrado). Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental., Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Recuperado em 5 de outubro de 2022, de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/173049/001060484.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Brasil. (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 12 de outubro de 2022, de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.html)
- Brasil. (2011). Portaria GM/MS Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 12 de outubro de 2022, de [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)
- Brasil. (2014). *Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS*. Brasília: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - FUNASA.
- Brasil. (2020). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

- competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 12 de outubro de 2022, de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm)
- Brasil. (2021). Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 12 de outubro de 2022, de <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>
- Caubet, C. G. (2009). Os contextos normativos brasileiros em matéria de águas subterrâneas. In W. C. Ribeiro. *Governança da água no Brasil. Uma visão interdisciplinar* (pp. 213-237). São Paulo: Annablume.
- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA. (2020). *Resolução de diretoria da ARPB Nº009/2020-DP – Estrutura Tarifária*. Recuperado em 5 de junho de 2021, de <http://www.cagepa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/estrutura-tarifaria-1.pdf>
- Conicelli, B. P., & Hirata, R. (2016). Novos paradigmas na gestão das águas subterrâneas. In *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. XX Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*. São Paulo: ABAS. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28712>
- Custódio, E. (2002). Aquifer overexploitation: what does it mean?. *Hydrogeology Journal*, 10(2), 254-277. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-002-0188-6>.
- Dantas, D. L., Silva, A. P. F., Santos, J. C. O., & Araújo, D. S. (2015). Análise social dos fatores que ocasionaram a crise hídrica no curimataú paraibano. In *Anais II WIASB..* Campina Grande: Realize Editora. Recuperado em 20 de novembro de 2022, de <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/17198>
- Dias, A. C. H. (2017). *Perfuração indiscriminada de poços em Iracema/CE: um estudo sobre o paradoxo da atual crise hídrica* (Trabalho de Conclusão de Curso). Curso de Engenharia Civil, Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, Universidade Federal Rural do Semiárido, Pau dos Ferros. Recuperado em 20 de novembro de 2022, de <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6172>
- Essien, E. E., Said Abasse, K., Côté, A., Mohamed, K. S., Baig, M. M. F. A., Habib, M., Naveed, M., Yu, X., Xie, W., Jinfang, S., & Abbas, M. (2020). Drinking-water nitrate and cancer risk: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 77(1), 51-67.
- Feitosa, F. A. C., Manoel Filho, J., Feitosa, E. C., & Demetrio, J. G. A. (2008). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações* (3. ed., 812 p.). Rio de Janeiro: CPRM.
- Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., & da Paz, R. L., Amorim, A. O., & Cardoso, A. S. (2009). Índices para a quantificação da seca (Vol. 244, Documentos). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2010/29786/1/doc-244.pdf>
- Fernandes, M. A. B., Santiago, M. M. F., Gomes, D. F., Mendes Filho, J., Frischkorn, H., & Gadelha De Lima, J. O. (2005). A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do apodi, Ceará. *Águas Subterrâneas*, 19(1), 25-34. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v19i1.1349>.
- Fernícola, N. G. G., & Azevedo, F. A. (1981). Metemoglobinemia e nitrato nas águas. *Revista de Saúde Pública*, 15, 242-248. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://www.scielo.br/j/rsp/a/QGnQ7KvtB4KhtwSPZJMwPNh/?lang=pt#:~:text=Provavelmente%20ocorr%20a%20passagem%20do,an%20oxia%20podem%20ser%20observados%206>
- Fracalanza, A. P., Jacob, A. M., & Eça, R. F. (2013). Justiça ambiental e práticas de governança da água: (re) introduzindo questões de igualdade na agenda. *Ambiente & Sociedade*, 16(1), 19-38. <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2013000100003>.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). Groundwater. New Jersey: Prentice-Hall geochemical parameter distribution in a ground water system contaminated with petroleum hydrocarbons. *Journal of Environmental Quality*, 30, 1548-1563.

- Gray, N. F. (1994). Drinking water quality problems and solutions. (2nd ed.). UK: Cambridge University Press.
- Hajjar, K. L. (2016). *Estudo sobre a ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, área urbana do município de Carlos Barbosa – RS* (Trabalho de Conclusão de Curso). Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Recuperado em 6 de outubro de 2022, de <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/150876>
- Hamlat, A., & Guidoum, A. (2018). Assessment of groundwater quality in a semiarid region of Northwestern Algeria using water quality index (WQI). *Applied Water Science*, 8, 220. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-018-0863-y#citeas>
- Hirata, R., Fernandes, A. J., & Bertolo, R. (2016). As águas subterrâneas: longe dos olhos, longe do coração e das ações para sua proteção. *Acta Paulista de Enfermagem*, 29(6), 3-4. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0194201600084>.
- Hirata, R., Suhogusoff, A., Marcellini, S. S., Villar, P. C., & Marcellini, L. (2019). *A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento* São Paulo: Instituto Trata Brasil. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://repositorio.usp.br/directbitstream/e7d9e125-7b22-4706-915b-a397f8a91784/2928658.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2010). *Panorama 2010*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 15 de março de 2020, de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2019). *Cadastro Central de Empresas, 2019*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 15 de março de 2020, de <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/cempre/referencias/paraiba/2019>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2021). *Microrregião: IBGE, Divisão Territorial Brasileira - DTB*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/nova-floresta/panorama>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2022). *Área da unidade territorial: área territorial brasileira 2021*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/nova-floresta/panorama>
- Leite, G. B., Maciel, M. F., & Santos, M. L. (2008). Elasticidade-renda das despesas com água e esgoto no meio urbano e no meio rural das regiões brasileiras. In *Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Rio Branco, Acre. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.108072>.
- Marcuzzo, F. F. N. (2017). Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Florianópolis. Recuperado em 6 de outubro de 2022, de [https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/18492/1/2017\\_sbrh\\_bacias\\_hidrograficas\\_brasil\\_artigo.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/18492/1/2017_sbrh_bacias_hidrograficas_brasil_artigo.pdf)
- Martins, G., & Castro, V. (2014). Evolução da concentração de nitrato nas águas subterrâneas da região norte de Natal, Nordeste do Brasil. *Geotecnica*, 131, 57-67. <http://dx.doi.org/10.24849/j.geot.2014.131.04>.
- Melo, J. G., Vasconcelos, M. B., De Moraes, S. D., & Alves, R. S. (2012). Avaliação hidrogeológica da Zona Norte da cidade de Natal, RN, e os problemas associados ao desenvolvimento urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17, 123-134.
- Melo, J. G., Alves, R. S., & Da Silva, J. G. (2014). Estimativa da Recarga das Águas Subterâneas do Sistema Aquífero Barreiras na Bacia do Rio Pirangi, RN. *Águas Subterrâneas*, 28(2), 68-81. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v28i2.27428>.
- Nolan, B. T., Ruddy, B. C., Hitt, K. J., & Helsel, D. R. (1998). A national look at nitrate contamination of ground water. *Water Conditioning and Purification Magazine*, 39(12), 76-79. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de [https://water.usgs.gov/nawqa/nutrients/pubs/wcp\\_v39\\_no12/](https://water.usgs.gov/nawqa/nutrients/pubs/wcp_v39_no12/)
- Nova Floresta. (2016). Lei municipal 882 de 20 de junho de 2016. Autoriza o poder executivo municipal a celebrar convênio de cooperação com o Estado da Paraíba, para o fim de estabelecer uma colaboração federativa na organização, regulação, fiscalização e prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no seu espaço territorial, além de outras providências.
- Nunes, L. F. C. V., & Medeiros, P. H. A. (2020). Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17, e18. <https://doi.org/10.21168/rega.v17e18>.
- Oliveira, S. F., & Cunha, A. L. C. (2018). Geologia e recursos minerais da folha Santa Cruz SB.24-Z-B-III: estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Recife: CPRM. *Programa Geologia do Brasil*. Recuperado em 8 de setembro de 2021, de <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/20239?show=full>

- Organização Mundial da Saúde – OMS. (2007). *pH in Drinking-water: Revised background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/ph.pdf?sfvrsn=16b10656\\_4#:~:text=The%20pH%20of%20most%20drinking,higher%20pH%20in%20limestone%20areas.&text=The%20pH%20of%20an%20aqueous,electrometrically%20with%20a%20glass%20electrode](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/ph.pdf?sfvrsn=16b10656_4#:~:text=The%20pH%20of%20most%20drinking,higher%20pH%20in%20limestone%20areas.&text=The%20pH%20of%20an%20aqueous,electrometrically%20with%20a%20glass%20electrode)
- Organização Mundial da Saúde – OMS. (2011). *Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum* (631 p.). Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241549950>
- Painel Saneamento Brasil. (2019). *Indicadores por localidade - Paraíba (UF)*. Recuperado em 20 de setembro de 2021, de <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5B%5D=25>
- Paraíba. (1996). Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, João Pessoa. Recuperado em 12 de outubro de 2022, de <https://transparencia.pb.gov.br/conselhos-estaduais/conselho-estadual-de-recursos-hidricos/legislacao/lei-no-6-308-96-politica-estadual-atualizada.pdf/view>
- Paraíba. (2007). Lei nº 8.446, de 28 de dezembro de 2007. Dá nova redação e acrescenta dispositivos à Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, e determina outras providências. *Diário Oficial do Estado*, João Pessoa. Recuperado em 12 de outubro de 2022, de <https://transparencia.pb.gov.br/conselhos-estaduais/conselho-estadual-de-recursos-hidricos/legislacao/lei-estadual-no-8-446-07-nova-redacao-a-lei-6-308-96-1.pdf/view>
- Paraíba. (2010). Lei nº 9.260, de 25 de novembro de 2010. Institui princípios e estabelece diretrizes da política estadual de saneamento básico, autoriza e disciplina a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico, estabelece os direitos e deveres dos usuários dos serviços de saneamento básico e dos seus prestadores, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, João Pessoa. Recuperado em 12 de outubro de 2022, de <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=146146>
- Paraíba. (2019). *PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Atualização. Relatório Parcial 02 – A. Etapa 2: Diagnósticos Meio Físico, Recursos Naturais e Meio Socioeconômico*. João Pessoa: Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente - SECTMA; Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de [http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2021/09/RP02-A\\_Vol\\_1\\_revisado\\_em\\_23-11-2021.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2021/09/RP02-A_Vol_1_revisado_em_23-11-2021.pdf)
- Paraíba. (2020, 18 de maio). *Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. Outorgas de poços do município de Nova Floresta-PB. Sistema de Gestão Processual - Serviço de Informação ao Cidadão. Processo 00099.000869/2020-7*.
- Paraíba. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. (2021). *Volumes dos Açudes: Açude Boqueirão do Cais*. Recuperado em 12 de janeiro de 2022, de [http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id\\_acude=2997](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=2997)
- Paraíba. (2022). *PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Atualização. Relatório Parcial 02 – A. Etapa 1: Diagnósticos. Vol. 1*. João Pessoa: Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente - SECTMA; Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2022/10/RF-02-A-DIAGNÓSTICOS-vol-1.pdf>
- Pires, A. D. A., Lima, H. R. G., & Oliveira, V. P. V. (2015). Em cima seca, embaixo a bonança: água subterrânea como alternativa de abastecimento para comunidades no semiárido. In *Anais do II WIASB*. Campina Grande: Realize Editora. Recuperado em 22 de julho de 2021, de <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/17284>
- Prasad, M., Sunitha, V., Reddy, S. Y., Survana, B., Reddy, M. B., & Reddy, R. M. (2019). Data on Water quality index development for groundwater quality assessment from Obulavaripalli Mandal, YSR district, A.P India. *Data in brief*, 24, 103846. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de [https://www.researchgate.net/publication/332005277\\_Data\\_on\\_Water\\_quality\\_index\\_development\\_for\\_groundwater\\_quality\\_assessment\\_from\\_Obulavaripalli\\_Mandal\\_YSR\\_district\\_AP\\_India](https://www.researchgate.net/publication/332005277_Data_on_Water_quality_index_development_for_groundwater_quality_assessment_from_Obulavaripalli_Mandal_YSR_district_AP_India)
- Rêgo, R. L. C. M., Catão, W. V., Martins, K. Y. N., Meira, A. C. B. S., & Feitosa, P. H. C. (2018). Avaliação das concentrações de nitrato em águas subterrâneas na cidade de campina de grande-pb. In *Anais do CONADIS*. Campina Grande: Realize Editora. Recuperado em 22 de setembro de 2021, de <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50564>
- Rosa, P. (2011). Nova Floresta na Paraíba: estratégias econômicas. *Jornal Geografia Aplicada*, 5(3), Recuperado em 16 de março de 2020, de [http://www.geociencias.ufpb.br/~paulorosa/boletim/Vol.\(5\)\\_N.3.pdf](http://www.geociencias.ufpb.br/~paulorosa/boletim/Vol.(5)_N.3.pdf)

- Saeedi, M., Abessi, O., Sharifi, F., & Meraji, S. H. (2009). Development of groundwater quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 163, 327-335. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0837-5>.
- Sahu, P., & Sikdar, P. K. (2008). Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. *Environmental Geology*, 55, 823-835. Recuperado em 8 de outubro de 2022, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-007-1034-x>
- Santana, A. S., & Santos, G. R. (2020). *Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas* (No. 22, Boletim Regional, Urbano e Ambiental). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. <http://dx.doi.org/10.38116/brua22art9>.
- Santos, W. B., Bernadino, F. G., Silva, L. L. S., & Ferreira, W. B. (2021). Sistemas alternativos coletivos de abastecimento de água no Brasil. In *Anais do V CONAPESC - Ciência se faz com pesquisa!* (pp. 1047-1061). Campina Grande: Realize Editora. Recuperado em 12 de janeiro de 2022, de <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/74035>
- Silva, D. C., Claudino, C. M. A., Souza, J. G., & Sena, T. S. (2018). A qualidade da água de abastecimento público na microrregião do Curimataú Oriental. In *Anais CONADIS*. Campina Grande: Realize Editora. Recuperado em 22 de setembro de 2021, de <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50486>
- Silva, R. A., Santos, R. C., & Ferreira, L. O. (2019). Avaliação da concentração de nitrato em águas subterrâneas de poços das regiões de Assis e Marília, São Paulo. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência e Tecnologia*, 7(2), 102-106. <http://dx.doi.org/10.22239/2317-269x.01290>.
- SUDENE. (2017). *Delimitação do Semiárido*. Recuperado em 2 de abril de 2020, de <http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>
- Varnier, C., Hirata, R., Albuquerque Filho, J. L., Campos, J. E., Delatim Simonato, M., Rocha, G., & Ferreira, L. (2021). Nitrato nas águas subterrâneas no estado de São Paulo: como desarmar essa bomba relógio? *Águas Subterrâneas*. Recuperado em 6 de outubro de 2022, de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29426>
- Vasconcelos, M. B., Melo, J. G., Demétrio, J. G. A., & Alves, R. S. (2018). Avaliação do Potencial Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas na Zona Norte de Natal, RN. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 15(1), e13. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v15e13>.

**Contribuições dos autores:**

**Pablo Rafael Ferreira Ramos:** coleta e análise dos dados; elaboração e revisão textual

**Filipe Ezequiel da Silva:** análise estatística dos dados; elaboração e revisão textual