

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO

UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

FRANCIELIO DA PAIXÃO FREITAS

ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: SUBSÍDIOS À GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE BOM SUCESSO-PB

SUMÉ - PB

2025

FRANCIELIO DA PAIXÃO FREITAS

ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: SUBSÍDIOS À GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE BOM SUCESSO-PB

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Orientador: Professor Dr. Richarde Marques da Silva.

SUMÉ - PB

2025



F866a Freitas, Francielio da Paixão.
Análise descritiva da variabilidade da precipitação e qualidade das águas subterrâneas: subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos do município de Bom Sucesso-PB. / Francielio da Paixão Freitas. - 2025.

66f.

Orientador: Professor Dr. Richarde Marques da Silva.
Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Águas subterrâneas. 2. Precipitação - variabilidade. 3. Gestão de recursos hídricos. 4. Bom Sucesso-PB – recursos hídricos. 5. Sustentabilidade hídrica. 6. Software QGIS. 7. Software Surfer. 8. Mapeamentod e fontes de água. 9. Semiárido – recursos hídricos. 10. Plano de gestão integrada de recursos hídricos – semiárido. I. Silva, Richarde Marques da. II. Título.

CDU: 628.1(043.2)

FRANCIELIO DA PAIXÃO FREITAS

ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: SUBSÍDIOS À GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE BOM SUCESSO-PB

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Richarde Marques da Silva

Orientador – UFPB

_____

Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos

Examinador interno – UFPB

_____

Prof. Dr. Jorge Flávio Casé Braga da Costa Silva

Examinador externo – UEPB

Trabalho aprovado em: 22 de outubro de 2025.

SUMÉ - PB

AGRADECIMENTOS

Ao apoio para realização deste trabalho por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Profágua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

RESUMO

A gestão da água no semiárido exige estratégias sustentáveis diante da escassez hídrica, envolvendo diversos meios para o uso racional dos recursos hídricos e para a gestão da água em regiões semiáridas. O objetivo geral desse estudo é elaborar um diagnóstico detalhado da oferta hídrica do município de Bom Sucesso-PB, fornecendo subsídios para a elaboração de um plano de gestão sustentável dos recursos hídricos locais. Na área de estudo, o açude do Carneiro e os poços Amazonas representam fontes estratégicas e vulneráveis de abastecimento para consumo humano e uso produtivo. Essas fontes enfrentam desafios significativos decorrentes da variabilidade climática e da exploração intensiva, evidenciando a necessidade de estratégias sustentáveis de gestão. Para isso, foram utilizados dados secundários obtidos em bases governamentais e acadêmicas, complementados por dados primários coletados em campo e por análises físico-químicas realizadas em laboratório. A metodologia inclui análise espacial com os softwares QGIS e Surfer, além de tratamento estatístico com o R Studio. Essas ferramentas permitiram o mapeamento das fontes hídricas, a modelagem dos parâmetros da água subterrânea e a avaliação da sazonalidade da disponibilidade hídrica. Os resultados apontam para a urgência de políticas públicas que protejam áreas de recarga, incentivem o uso racional da água e promovam ações participativas na gestão dos recursos. A pesquisa destacou a importância da integração entre tecnologias, participação comunitária e políticas públicas como pilares para garantir a sustentabilidade hídrica no território. Conclui-se com recomendações de estratégias sustentáveis que podem ser replicadas em outras regiões com características similares, fortalecendo a resiliência hídrica e o desenvolvimento local.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos; Sustentabilidade hídrica; Semiárido; Planejamento integrado; Bom Sucesso-PB.

Descriptive analysis of rainfall variability and groundwater quality: contributions to the sustainable management of water resources in the municipality of Bom Sucesso-PB

ABSTRACT

Water management in semi-arid regions requires sustainable strategies to address water scarcity, involving various approaches for the rational use of water resources. This study aims to develop a detailed diagnosis of water availability in the municipality of Bom Sucesso-PB, providing a foundation for a sustainable water resource management plan. In the study area, the Carneiro reservoir and the Amazonas wells serve as strategic yet vulnerable sources for human consumption and productive use. These sources face significant challenges due to climatic variability and intensive exploitation, highlighting the need for sustainable management strategies. The research utilized secondary data from governmental and academic sources, complemented by primary data collected in the field and physicochemical analyses conducted in the laboratory. The methodology included spatial analysis using QGIS and Surfer software, along with statistical processing in R Studio. These tools enabled the mapping of water sources, modeling of groundwater parameters, and assessment of seasonal water availability. The results underscore the urgency of public policies that protect recharge areas, encourage rational water use, and promote participatory resource management. The study emphasizes the importance of integrating technology, community involvement, and public policy as pillars for ensuring water sustainability in the region. It concludes with recommendations for sustainable strategies that can be replicated in other areas with similar characteristics, strengthening water resilience and local development.

Keywords: Water resource management; Water sustainability; Semi-arid region; Integrated planning; Bom Sucesso-PB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização geográfica do município de Bom Sucesso-PB. 31

Figura 2. Área de estudo e pontos amostrais e as unidades lito estratigráficas do município de Bom Sucesso. 37

Figura 3. Bacia hidrográfica do Açude do Carneiro, destacando os limites municipais 38

Figura 4. Áreas de Preservação Permanente (APPs) de nascentes da bacia hidrográfica do Açude do Carneiro 39

Figura 5. Mapa de estimativa de vazão para perfuração de poços no município de Bom Sucesso. 45

Figura 6. Mapa de elevação do município de Bom Sucesso. 46

Figura 7. Mapa de estimativa do pH da água subterrânea do município de Bom Sucesso. 47

Figura 8. Mapa de estimativa da alcalinidade da água subterrânea do município de Bom Sucesso. 49

Figura 9. Mapa de estimativa da dureza total da água subterrânea do município de Bom Sucesso. 50

Figura 10. Mapa de estimativa sódio estequiométrico da água subterrânea do município de Bom Sucesso. 51

Figura 11. Mapa de estimativa sólidos totais dissolvidos da água subterrânea do município de Bom Sucesso. 53

Figura 12. Gráfico da precipitação média mensal no período analisado para Bom Sucesso 55

Figura 13. Gráfico da precipitação média anual no período analisado para Bom Sucesso 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites recomendados para parâmetros físico-químicos da água subterrânea segundo a legislação vigente. 40

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos da água subterrânea do município de Bom Sucesso. 41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

3. REFERENCIAL TEÓRICO 15

3.1. Panorama geral acerca da importância da água como recurso vital para a vida e atividades humanas 15

3.2. A distribuição desigual dos recursos hídricos no Brasil: enfoque nas regiões semiáridas 17

3.3. Gestão sustentável dos recursos hídricos: desafios críticos em áreas vulneráveis à escassez 20

3.4. A importância da água subterrânea como uma alternativa estratégica em períodos de escassez 24

3.5. Plano de gestão integrada de recursos hídricos para regiões semiáridas 26

3.6. Recursos hídricos e desafios no município de Bom Sucesso 29

4. MATERIAIS E MÉTODOS 31

4.1. A Área de Estudo 31

4.2. Mapeamento das fontes de água superficiais e subterrâneas 32

4.3. Análise de vazão e qualidade das águas subterrâneas 34

4.4. Variabilidade anual e sazonal da precipitação 34

4.5. Análise da participação comunitária na gestão dos recursos hídricos 35

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 37

5.1. Análise integrada das fontes hídricas 37

5.2. Variabilidade Anual e Sazonal da Precipitação 54

5.3. A importância da participação comunitária na gestão dos recursos hídricos 58

REFERÊNCIAS 62

1 INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos em regiões, como o semiárido nordestino, enfrenta desafios como a escassez hídrica, chuvas irregulares e elevada evaporação (Lima et al., 2021). A gestão da água no semiárido exige estratégias sustentáveis diante da escassez hídrica. Para uma gestão eficaz dos recursos hídricos são requeridas estratégias que integrem diferentes fontes de água (superficiais e subterrâneas), uso de tecnologias apropriadas, participação comunitária e articulação entre políticas públicas, compondo uma abordagem integrada e sustentável (Viana et al., 2021). Envolve captação e armazenamento em cisternas, barragens subterrâneas e uso racional dos recursos (Tôrres et al., 2025). Políticas públicas, tecnologias sociais e educação ambiental são fundamentais para garantir segurança hídrica, promover desenvolvimento local e fortalecer a convivência com o semiárido (Dantas et al., 2020).

Este estudo justifica-se pela necessidade de compreender a variabilidade da precipitação e da qualidade das águas subterrâneas em uma região inserida no semiárido paraibano, caracterizada pela escassez hídrica de águas superficiais e subterrâneas. Sabe-se que a variabilidade das chuvas influencia diretamente a recarga dos lençóis freáticos e a qualidade das águas subterrâneas, que são a principal fonte de abastecimento para o consumo humano e atividades agrícolas (Oliveira et al., 2023). Dessa forma, a análise integrada desses fatores permite identificar padrões espaciais e temporais de disponibilidade e potabilidade da água, contribuindo para a elaboração de estratégias de manejo mais eficientes. Além disso, os resultados podem subsidiar políticas públicas de gestão sustentável, orientando ações de conservação, monitoramento e uso racional dos recursos hídricos, essenciais à adaptação das comunidades locais às mudanças climáticas e à redução da vulnerabilidade ambiental (Silva et al., 2018b).

Este trabalho busca enfrentar esse desafio ao fornecer um diagnóstico detalhado das fontes hídricas do município de Bom Sucesso, no estado da Paraíba. A justificativa para este trabalho está na relevância social e acadêmica da gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, áreas que enfrentam

desafios significativos devido à variabilidade climática e à vulnerabilidade das fontes hídricas. Como apontam Lima et al. (2025), a gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas exige estratégias que combinem conhecimento técnico, tecnologias apropriadas e envolvimento comunitário, promovendo resiliência hídrica frente aos desafios climáticos e sociais.

No caso de Bom Sucesso-PB, o açude do Carneiro e os poços do tipo Amazonas desempenham um papel fundamental no abastecimento de água para consumo humano, agrícola e industrial. Esses recursos, no entanto, enfrentam pressões como a exploração intensiva e os impactos de práticas agrícolas, que podem comprometer sua qualidade e quantidade. Lucena (2021) enfatiza que a implementação de planos de gestão hídrica com abordagem participativa é essencial para mitigar os impactos socioambientais e promover o uso sustentável dos recursos em contextos vulneráveis.

Em regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, a água subsuperficial desempenha um papel crucial no abastecimento hídrico, especialmente em áreas com baixa precipitação. A exploração de poços tubulares profundos e de poços Amazonas visa acessar águas subterrâneas de aquíferos subsuperficiais para atender às demandas de consumo humano, agrícola e industrial. No entanto, a exploração intensiva desses recursos pode resultar em problemas como a salinização e o rebaixamento do nível freático, exigindo práticas de gestão sustentável para garantir a disponibilidade hídrica a longo prazo. Segundo Lucena (2021), práticas agrícolas intensivas e a ausência de controle sobre o uso da água subterrânea podem comprometer sua qualidade e quantidade. Guria et al. (2025) destacam que a irregularidade das chuvas e a elevada taxa de evaporação intensificam os problemas de escassez hídrica, tornando essencial o monitoramento dos aquíferos. Lima et al. (2025) reforçam que a gestão participativa e o uso de tecnologias apropriadas são fundamentais para mitigar os impactos da superexploração e promover a resiliência hídrica em regiões vulneráveis.

O problema da pesquisa que orienta este estudo é: quais são os desafios e oportunidades para a implementação de um plano de gestão integrada de recursos hídricos em regiões semiáridas, especificamente em Bom Sucesso? A

questão central desse estudo é que a adoção de um plano de gestão integrada, fundamentado em diagnósticos detalhados ajudam no gerenciamento dos recursos hídricos. Essa abordagem é amplamente respaldada pela literatura, que ressalta o papel das políticas públicas no fortalecimento da gestão hídrica e na mitigação dos impactos das atividades humanas sobre os recursos hídricos. Carvalho e Andrade (2020) destacam que a adoção de planos de gestão integrada é essencial para enfrentar os desafios da escassez hídrica em regiões vulneráveis. Lima et al. (2025) reforçam que estratégias sustentáveis devem combinar conhecimento técnico, tecnologias apropriadas e envolvimento comunitário. Lucena (2021) aponta que a implementação de políticas públicas participativas é decisiva para mitigar os impactos socioambientais. Além disso, Guria et al. (2025) evidenciam que a variabilidade climática e a exploração intensiva exigem ações coordenadas entre sociedade civil e poder público para garantir a resiliência hídrica.

Entretanto, para uma boa gestão das água, faz-se necessário mapear e conhecer todas as características da água-solo-atmosfera de uma região, bem como identificar fatores causadores da degradação ambiental, que influenciam na escassez dos recursos hídricos. De acordo com Guria et al. (2025), esses são problemas globais, intensificados em regiões semiáridas pela irregularidade das chuvas e pela elevada taxa de evaporação. Estudos como os de Lima et al. (2025) e Lucena (2021) reforçam a importância de uma gestão participativa, evidenciando que o envolvimento da comunidade local é decisivo para o êxito de iniciativas voltadas à conservação e ao uso eficiente da água. No município de Bom Sucesso, a dependência de fontes como o Açude do Carneiro e os poços Amazonas, associada à variabilidade climática, torna ainda mais urgente a formulação de estratégias eficazes de gestão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse estudo é elaborar um diagnóstico detalhado da oferta hídrica do município de Bom Sucesso-PB, fornecendo subsídios para a elaboração de um plano de gestão sustentável dos recursos hídricos locais.

2.2 Objetivos específicos

Para atingir este objetivo, são delineados os seguintes objetivos específicos:

1. Mapear os parâmetros físico-químicos da água subterrânea do município de Bom Sucesso;

2. Analisar a estimativa de vazão para perfuração de poços no município de Bom Sucesso;

3. Analisar a variabilidade anual e sazonal da precipitação;

4. Discutir a importância da participação comunitária na gestão dos recursos hídricos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Panorama geral acerca da importância da água como recurso vital para a vida e atividades humanas

A água é um recurso vital para a vida em nosso planeta. Sua importância é incontestável, pois sustenta todas as formas de vida conhecidas. Desde os seres microscópicos até os seres humanos, todos dependem da água para sobreviver (Santos, 2021).

Primeiramente, a água é essencial para a manutenção da saúde humana. Ela compõe a maior parte do corpo humano e é fundamental para funções biológicas como a digestão, a circulação sanguínea e a regulação da temperatura corporal. Sem água, a existência humana seria impossível (Smith, 2015).

Além disso, a água desempenha um papel crucial nos ecossistemas terrestres e aquáticos. É o habitat de muitas espécies animais e vegetais, sendo essencial para a manutenção da biodiversidade. A água também é fundamental para a agricultura, pois é utilizada na irrigação de culturas e na criação de animais, garantindo a segurança alimentar global (Smith, 2015).

Apesar de sua aparente abundância, a água potável é um recurso finito e cada vez mais escasso. O uso irresponsável e o desperdício têm agravado essa escassez em diversas regiões do mundo. No contexto do semiárido nordestino, como destaca Rebouças (2025), “o que mais falta [...] não é água, mas determinado padrão cultural que agregue confiança e melhore a eficiência das organizações públicas e privadas envolvidas no negócio da água”, evidenciando que a conservação e o uso sustentável são também desafios sociais e institucionais.

A água não é apenas essencial para a sobrevivência humana, mas também para a preservação dos ecossistemas e para o desenvolvimento sustentável. Deve-se valorizar e proteger esse recurso precioso, adotando práticas responsáveis de consumo e conservação. A água cobre

aproximadamente 70% da superfície do planeta e influencia todos os aspectos da vida humana, desde seu uso em indústrias e práticas agrícolas até seus significados culturais e religiosos (World Health Organization, 2019). Portanto, a água é um recurso natural indispensável, tanto como componente bioquímico de organismos vivos, habitat de diversas espécies vegetais e animais, símbolo de valores sociais e culturais, e como fator essencial na produção de bens de consumo.

A ingestão de água tratada é crucial para a manutenção da saúde humana, sendo considerada o solvente universal. Ela auxilia na prevenção de diversas doenças, como cálculos renais e infecções urinárias, além de proteger o organismo contra o envelhecimento precoce (National Institute of Health, 2017).

A água tem várias funções no corpo humano, incluindo:

- Dissolver componentes solúveis que entram ou permanecem no organismo.

- Servir como veículo para a eliminação dos elementos e compostos que o corpo precisa expelir.

- Regular a temperatura corporal através do processo de transpiração.

Essas funções demonstram a importância vital da água não apenas para a saúde humana, mas também para a sustentação dos ecossistemas e para o bem-estar global. Como destaca SBAN (2010), “a água participa da absorção e transporte de nutrientes, regula a temperatura corporal e atua na eliminação de toxinas”. Brown (2016) complementa que a conservação e o uso responsável da água são imperativos para garantir sua disponibilidade para as gerações futuras. A Constituição Federal de 1988, no seu artigo 225, estabelece que todos têm direito a um meio ambiente equilibrado, essencial para uma qualidade de vida saudável. Isso destaca a água como bem de uso comum do povo, conforme o Código Civil (Lei n. 10.406/2002, artigo 99), que também define como bens públicos os recursos hídricos, como rios, mares e águas subterrâneas.

A água, por ser considerada um bem de uso comum do povo, deve ser protegida e utilizada de forma responsável, conforme preconiza a Lei n.

9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Esta lei estabelece que a água é um bem de domínio público, abrangendo todos os tipos de água, seja de superfície, subterrânea, fluente ou emergente (Brasil, 1997).

É importante destacar que o uso da água não pode ser monopolizado por indivíduos ou entidades, nem deve resultar em poluição ou esgotamento do recurso. Qualquer concessão ou autorização para uso da água deve ser fundamentada e gerida pelo poder público. Além das normas nacionais, existem normas internacionais, como a Declaração Universal dos Direitos da Água, que estabelece que sua utilização deve respeitar a lei e que sua proteção é uma obrigação jurídica para todos os que a utilizam (United Nations, 1992).

Portanto, a legislação brasileira e internacional assegura a proteção da água como um bem público essencial, cujo uso deve ser regulado para garantir sua sustentabilidade e disponibilidade para as presentes e futuras gerações.

No âmbito estadual, a Paraíba também possui dispositivos legais específicos voltados para a gestão dos recursos hídricos. A Lei Estadual nº 6.308/1996 institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, reforçando princípios como a gestão descentralizada, a preservação dos mananciais e o uso prioritário para abastecimento humano. O planejamento hídrico no estado é orientado pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PERH-PB), coordenado pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA), responsável pela outorga, fiscalização e monitoramento dos usos da água. Essa estrutura normativa e institucional fortalece as ações locais de conservação e promove uma abordagem integrada e participativa, especialmente nas regiões semiáridas, como Bom Sucesso, onde os desafios de disponibilidade hídrica são mais evidentes (PARAÍBA, 1996; AESA, 2011).

3.2 A distribuição desigual dos recursos hídricos no Brasil: enfoque nas regiões semiáridas

O Brasil possui uma grande riqueza em recursos hídricos, detendo aproximadamente 12% da água doce superficial do mundo. No entanto, essa abundância não está distribuída de forma equitativa: 70% estão concentrados na

Amazônia, que abriga menos de 7% da população nacional, enquanto apenas 3% estão no Nordeste, onde vivem cerca de 20% dos brasileiros. Essa disparidade é agravada pelo desperdício significativo de água na região nordeste, com 46% perdidos devido a vazamentos nas redes de distribuição, quantidade suficiente para abastecer vários países europeus (Santos, 2021).

A distribuição desigual dos recursos hídricos no Brasil é um dos principais desafios enfrentados pelo país. As regiões semiáridas, em particular, sofrem com a escassez de água, resultante tanto da geografia quanto da má gestão dos recursos disponíveis. No Nordeste, por exemplo, a pouca disponibilidade de água se deve à baixa precipitação e à evaporação elevada, além da falta de infraestrutura adequada para a captação e armazenamento da água da chuva (Silva, 2020).

Apesar da escassez relativa, os rios do Nordeste contribuem significativamente para a recarga dos aquíferos, com potencial para suprir toda a população da região e irrigar vastas áreas agrícolas, se explorados de forma sustentável (Oliveira, 2019). A disponibilidade per capita de água varia amplamente no Brasil, com algumas regiões do Norte tendo volumes excepcionais e o Semiárido enfrentando sérios desafios devido à geologia e à falta de infraestrutura para captar e armazenar água.

Fatores como aumento da temperatura global, desmatamento das nascentes, poluição, urbanização acelerada e má gestão dos recursos hídricos exacerbam a escassez de água no país. Muitos brasileiros ainda carecem de acesso à água tratada e saneamento básico adequado, o que compromete a saúde e a qualidade de vida (Mendes, 2018).

Em face desses desafios, é urgente adotar um novo padrão cultural para o uso sustentável dos recursos hídricos. A gestão responsável da água é essencial para garantir seu uso equitativo e preservar sua disponibilidade para as gerações futuras (Carvalho, 2021).

A situação nas regiões semiáridas do Brasil é agravada pela expectativa de impactos crescentes das mudanças climáticas, que afetam tanto a disponibilidade quantitativa quanto qualitativa de água superficial e subterrânea. No Nordeste brasileiro, especialmente na Bahia, esforços significativos têm sido

feitos para aprimorar políticas de gerenciamento de recursos hídricos, com um foco especial nas áreas semiáridas que ocupam a maior parte do território do estado (Gomes, 2017).

A Bahia se destaca com uma política pioneira voltada para o semiárido, beneficiada pela contribuição fundamental da Bacia do Rio São Francisco, conhecido como o Rio de Integração Nacional. A agricultura irrigada tem desempenhado um papel crucial na melhoria da rentabilidade das culturas, contribuindo significativamente para o aumento da balança comercial não apenas da Bahia, mas de toda a Região Nordeste (Pereira, 2019).

No entanto, persistem desafios significativos, como práticas inadequadas na aplicação de água e uso prejudicial de produtos químicos, resultando em riscos de contaminação de efluentes e lençóis freáticos. A degradação das águas devido ao uso indiscriminado pela indústria e à falta de tratamento adequado dos efluentes urbanos também impacta negativamente a qualidade dos recursos hídricos na região (Fernandes, 2020).

Diante desses desafios, é essencial que políticos, acadêmicos e cidadãos se unam na busca por alternativas que garantam um futuro seguro, com melhor qualidade de vida, saúde e alimentação saudável para as populações locais. A cooperação entre diferentes setores, incluindo pesquisadores da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e do Instituto Nacional do Semiárido, é crucial para avançar no conhecimento e na implementação de políticas eficazes de gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro (Rodrigues, 2021).

Entre as políticas públicas voltadas para mitigar os efeitos da escassez hídrica no semiárido brasileiro, destaca-se o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), desenvolvido pela Articulação Semiárido Brasileiro (ASA) em parceria com o Governo Federal. Essa iniciativa promove a construção de cisternas de placas com capacidade de 16 mil litros, voltadas à captação e armazenamento da água da chuva para consumo humano. Além de representar uma tecnologia social de baixo custo e fácil replicação, o P1MC tem contribuído significativamente para a democratização do acesso à água e o fortalecimento da autonomia das comunidades rurais (ASA, 2020).

No contexto da Paraíba, a atuação do Instituto Nacional do Semiárido (INSA) tem se destacado pela implementação de soluções adaptadas às especificidades regionais. Sediado em Campina Grande, o INSA desenvolve projetos como a construção de barragens subterrâneas, que favorecem o armazenamento de água no subsolo e reduzem perdas por evaporação; a aplicação da tecnologia Saneamento Ambiental e Reuso de Água (SARA) voltada ao reuso de efluentes tratados na irrigação de cultivos agroecológicos; e o desenvolvimento de sistemas de irrigação eficientes, como o uso da palma forrageira consorciada com espécies nativas. Essas ações evidenciam o papel do instituto na geração de conhecimento e na promoção da segurança hídrica sustentável para comunidades do semiárido paraibano (INSA, 2022).

3.3 Gestão sustentável dos recursos hídricos: desafios críticos em áreas vulneráveis à escassez

O desenvolvimento de um ambiente sustentável e adequado depende de uma série de elementos interligados, entre os quais a gestão integrada dos recursos hídricos e a eficácia da legislação ambiental são fundamentais (Silva et al., 2018). Além disso, a participação ativa e organizada da sociedade desempenha um papel crucial para garantir que esses recursos sejam utilizados de maneira equitativa e sustentável (Carvalho, 2021).

Nesta dissertação, propõe-se uma análise crítica da gestão dos recursos hídricos, com foco específico nos usos da água na agricultura irrigada, à luz dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 6, que trata da Água Potável e Saneamento. Para embasar essa análise, foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente, com consulta a bases científicas e documentos oficiais relevantes sobre o tema.

A literatura consultada aponta avanços significativos na gestão dos recursos hídricos no Brasil, especialmente no que se refere aos instrumentos legais disponíveis (Fernandes, 2020). No entanto, também são identificadas lacunas importantes, como a baixa integração entre os planos diretores municipais e as políticas públicas voltadas ao setor hídrico (Mendes, 2018). Além

disso, estudos como o de Almeida (2022) evidenciam desigualdades regionais marcantes no acesso aos serviços de água e saneamento.

Essas disparidades reforçam a urgência de alinhar as políticas públicas às metas estabelecidas pelo ODS 6, visando garantir que todas as comunidades tenham acesso equitativo a recursos hídricos seguros e a sistemas eficazes de saneamento (Santos, 2021).

Portanto, para alcançar um desenvolvimento sustentável e promover a justiça social, é imperativo que as autoridades públicas fortaleçam a implementação das políticas existentes, preencham as lacunas identificadas na legislação e promovam uma participação mais ampla e inclusiva da sociedade civil na gestão dos recursos hídricos (Oliveira, 2019). Somente assim será possível garantir um futuro em que todos possam desfrutar de um ambiente saudável e resiliente (Silva, 2020).

A gestão sustentável dos recursos hídricos é um conceito fundamental para assegurar o uso equitativo e eficiente da água, garantindo sua disponibilidade para as gerações presentes e futuras, sem comprometer o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (Mendes, 2018). Esse tipo de gestão envolve uma abordagem integrada que considera não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também os ambientais, sociais e culturais (Carvalho, 2021). Com base na literatura consultada e nos princípios da gestão sustentável, identificam-se os seguintes eixos estratégicos que devem orientar as políticas públicas e ações locais voltadas à segurança hídrica:

- **Eficiência no Uso da Água**: Promover práticas e tecnologias que maximizem a eficiência no uso da água na agricultura, indústria e uso doméstico é essencial. Isso inclui o uso de métodos de irrigação mais eficientes, reutilização de água tratada e adoção de tecnologias de baixo consumo hídrico (Silva, 2020).

- **Proteção dos Ecossistemas Aquáticos**: Manter a saúde dos ecossistemas aquáticos é crucial para a sustentabilidade dos recursos hídricos. Isso envolve a conservação de rios, lagos, aquíferos e zonas

úmidas, além de medidas para proteger a biodiversidade aquática e mitigar a poluição (Mendes, 2018).

- **Governança e Participação Social**: Uma gestão eficaz requer políticas públicas bem elaboradas, legislação adequada e instituições competentes para monitorar e regular o uso da água. Além disso, é fundamental promover a participação ativa da sociedade civil, comunidades locais e povos indígenas na tomada de decisões sobre recursos hídricos (Carvalho, 2021).

- **Adaptação às Mudanças Climáticas**: As mudanças climáticas estão alterando os padrões de disponibilidade de água em todo o mundo. A gestão sustentável dos recursos hídricos deve incluir estratégias de adaptação para lidar com eventos climáticos extremos, como secas e inundações (Gomes, 2017).

- **Educação e Conscientização**: Promover a educação ambiental e conscientização pública sobre a importância da água e os desafios enfrentados na sua gestão é fundamental. Isso ajuda a fomentar práticas sustentáveis e a valorização dos recursos hídricos (Rodrigues, 2021).

- **Cooperação Internacional**: Muitos rios e aquíferos são compartilhados por diferentes países, exigindo cooperação internacional para uma gestão eficaz e justa. Acordos e tratados internacionais são essenciais para resolver disputas e promover o uso sustentável dos recursos hídricos transfronteiriços (Fernandes, 2020).

Em áreas vulneráveis à escassez de água, a gestão sustentável dos recursos hídricos enfrenta uma série de desafios críticos que precisam ser abordados com urgência para garantir a segurança hídrica e o desenvolvimento sustentável (Almeida, 2022):

- **Poluição e Qualidade da Água**: A poluição dos corpos d'água por atividades industriais, agrícolas e urbanas compromete a qualidade da

água, tornando-a inadequada para consumo humano e prejudicando os ecossistemas aquáticos. A gestão inadequada dos resíduos e a falta de tratamento de esgotos contribuem significativamente para este problema (Almeida, 2022).

- **Escassez e Disponibilidade de Água**: A escassez física de água é um desafio primordial. Muitas regiões já enfrentam uma demanda por água que excede a disponibilidade sustentável, devido ao crescimento populacional, à urbanização rápida e às mudanças climáticas. Isso leva à competição por recursos hídricos entre diversos setores, como agricultura, indústria e consumo doméstico (Santos, 2021).

- **Falta de Infraestrutura e Acesso**: Em muitas áreas, especialmente em comunidades rurais e periurbanas, a infraestrutura de fornecimento de água e saneamento é inadequada ou inexistente. Isso limita o acesso seguro e confiável à água potável e aos serviços de saneamento, aumentando os riscos à saúde e agravando a pobreza (Oliveira, 2019).

- **Mudanças Climáticas e Variabilidade Hidrológica**: As mudanças climáticas estão alterando os padrões de precipitação e aumentando a frequência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações. Isso coloca pressão adicional sobre os recursos hídricos, exacerbando a escassez em áreas já vulneráveis (Silva, 2020).

- **Gestão Institucional e Governança Deficiente**: A falta de coordenação entre diferentes níveis de governo e entre setores econômicos pode prejudicar a eficácia das políticas de gestão hídrica. Além disso, a corrupção e a falta de capacidade institucional podem comprometer a implementação de regulamentações e a alocação justa e eficiente de recursos hídricos (Mendes, 2018).

- **Conflitos e Desigualdades Sociais**: Em muitas regiões, a escassez de água pode gerar conflitos sociais e políticos, especialmente em áreas

onde há competição intensa por recursos limitados. Além disso, grupos marginalizados, como povos indígenas e comunidades rurais pobres, frequentemente enfrentam desigualdades no acesso à água e são mais impactados pelos efeitos da má gestão hídrica (Carvalho, 2021).

Para enfrentar esses desafios, é crucial adotar uma abordagem integrada e sustentável que promova a eficiência no uso da água, a conservação dos ecossistemas aquáticos, a adaptação às mudanças climáticas, a melhoria da governança e a promoção da equidade social (Rodrigues, 2021). Isso requer investimentos significativos em infraestrutura hídrica, capacitação institucional, participação pública e cooperação internacional, visando garantir o uso sustentável dos recursos hídricos para as gerações presentes e futuras (Fernandes, 2020).

3.4. A importância da água subterrânea como uma alternativa estratégica em períodos de escassez

As águas subterrâneas são encontradas abaixo da superfície da terra, dentro de um volume poroso do material geológico. Podem ocorrer em diversos tipos de materiais, como camadas saturadas de areias, cascalhos, certos tipos de argilas e em fraturas de rochas cristalinas (Almeida, 2022). O abastecimento dessas águas se dá pelo escoamento superficial, pela infiltração através de leitos ou margens de rios, lagos, lagoas, entre outros (Carvalho, 2021). Além disso, também podem ser alimentadas pela água do mar por meio de intrusão salina nos aquíferos (Fernandes, 2020).

Diversos fatores externos contribuem para a infiltração das águas superficiais abaixo da superfície, como o vento, as águas pluviais, o gelo e as forças tectônicas (Gomes, 2017). Esse processo permite que a água precipitada nos continentes, ou resultante do degelo da neve, seja transferida para camadas mais profundas (Mendes, 2018). A água armazenada no solo não permanece estagnada; ela circula lentamente até atingir as áreas de descarga, como rios, lagos, nascentes, áreas encharcadas (pântanos) e oceanos (Oliveira, 2019).

Ao infiltrar no solo, a água da chuva penetra na zona não saturada (ZNS), onde os poros são parcialmente preenchidos por água e ar. Parte dessa água

reinicia o ciclo hidrológico quando é absorvida pelas raízes das plantas ou por outros seres vivos, ou evapora e retorna para a atmosfera (RODRIGUES, 2021). O restante, por ação da gravidade, continua ascendendo até atingir a zona saturada (ZS). Entre essas duas zonas existe uma terceira, chamada de franja capilar, onde todos os poros são preenchidos por água, aderida aos grãos da rocha pelo efeito da capilaridade (Santos, 2021). O limite entre as zonas é conhecido como lençol freático.

A descarga das águas subterrâneas nos corpos d'água superficiais é responsável por manter o nível da água em rios e lagos durante períodos sem chuva (Silva, 2020). A permeabilidade, que indica a facilidade com que a água flui através das rochas, é um dos parâmetros fundamentais que influencia o fluxo das águas subterrâneas. Este fenômeno está intimamente relacionado com o tamanho e volume dos poros interconectados, a forma, a distribuição e a variação dos tamanhos dos grãos no material geológico (Almeida, 2022).

As águas subterrâneas desempenham um papel crucial na sustentação de diversos ecossistemas aquáticos, como rios, lagos, manguezais e pântanos (Carvalho, 2021). Elas são essenciais para a manutenção das florestas em regiões de clima tropical ou seco (Fernandes, 2020). De acordo com Gomes (2017), a reserva natural e o armazenamento de água subterrânea permitem uma distribuição gradual da água, garantindo estabilidade e disponibilidade.

Ademais, a qualidade da água subterrânea tende a ser superior à das fontes superficiais devido ao processo de filtração natural pelo solo (Mendes, 2018). Na agricultura, o uso de água subterrânea é essencial para garantir a segurança alimentar em regiões de clima árido (Oliveira, 2019).

Em resumo, a água subterrânea não é apenas uma fonte de água vital durante períodos de escassez, mas também desempenha um papel fundamental na segurança hídrica e na sustentabilidade ambiental a longo prazo. Investir em sua gestão sustentável e uso eficiente é essencial para garantir que essa importante fonte de água esteja disponível para as gerações futuras.

No contexto do semiárido brasileiro, a água subterrânea representa uma alternativa estratégica diante da irregularidade pluviométrica e da elevada taxa de evaporação que comprometem os reservatórios superficiais. Por estar

armazenada em aquíferos protegidos da ação direta do clima, essa água tende a apresentar maior estabilidade de volume e qualidade ao longo do ano, sendo essencial para o abastecimento humano, a produção agrícola e a manutenção dos ecossistemas locais. Em municípios como Bom Sucesso, onde a dependência de fontes como o Açude do Carneiro e os poços Amazonas é elevada, o uso sustentável da água subterrânea torna-se um pilar da segurança hídrica. Além disso, sua exploração planejada permite enfrentar períodos de estiagem prolongada com menor vulnerabilidade social, reforçando a importância de políticas públicas voltadas à proteção das áreas de recarga e ao monitoramento da qualidade desses recursos.

3.5 Plano de gestão integrada de recursos hídricos para regiões semiáridas

Os Planos de Recursos Hídricos (PRHs) desempenham um papel crucial na gestão dos recursos hídricos de uma região, seguindo as diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n° 9.433/1997), conhecida como Lei das Águas (BRASIL, 1997). Eles não apenas estabelecem a agenda para o uso sustentável da água, mas também guiam a implementação de outros instrumentos da política (Tucci, 2008).

Esses planos são desenvolvidos em três níveis - nacional, estadual e de bacia hidrográfica - promovendo uma visão integrada dos diferentes usos da água (Cirilo, 2010). O processo envolve órgãos governamentais, sociedade civil, usuários e diversas instituições relacionadas à gestão hídrica. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) desempenha um papel fundamental, apoiando ou coordenando a elaboração dos planos em bacias hidrográficas de rios de domínio da União e oferecendo suporte técnico em outras esferas (ANA, 2020).

O objetivo principal desses planos é encontrar soluções consensuais para minimizar conflitos pelo uso da água na bacia, considerando os diversos interesses dos usuários, poder público e sociedade civil organizada. As metas definidas nos PRHs visam melhorar tanto a qualidade quanto a quantidade de água disponível, garantindo usos múltiplos e segurança hídrica na região (Machado, 2015).

A Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, na qual o município de Bom Sucesso está inserido, tem grande relevância para a região semiárida paraibana. Caracteriza-se pela irregularidade nas chuvas, com períodos prolongados de seca que agravam a escassez hídrica, especialmente nas áreas rurais. A integração das fontes hídricas superficiais e subterrâneas da bacia, combinada com estratégias de conservação e uso racional da água, é essencial para garantir a segurança hídrica e o abastecimento adequado das comunidades locais. A exploração sustentável dos recursos hídricos da bacia também se mostra crucial para o desenvolvimento econômico e social do município.

O processo de elaboração dos PRHs começa com um diagnóstico detalhado da situação dos recursos hídricos e sua gestão, incluindo balanços quantitativos e qualitativos dos corpos d'água, além do registro de conflitos entre usuários. Projeções dos usos futuros de recursos hídricos são feitas considerando diferentes cenários socioeconômicos, climáticos, demográficos e de oferta hídrica (Rebouças, 2006). Na etapa de planejamento de ações, são definidos componentes, programas, projetos e ações de curto, médio e longo prazos para resolver os desafios identificados anteriormente, com a identificação de investimentos prioritários (Braga et al., 2010).

As diretrizes para a elaboração dos PRHs estão estabelecidas na Resolução CNRH nº 145/2012, que define o conteúdo mínimo de cada etapa do planejamento, assegurando a consistência e qualidade dos planos elaborados em todo o país (CNRH, 2012).

As regiões semiáridas, como a área da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, são particularmente vulneráveis à escassez de água, devido à irregularidade das chuvas e à elevada evaporação, o que resulta em períodos de estiagem intensa e eventos de enchentes (Gondim, 2019), nessas regiões, ocorre também uma alta taxa de evapotranspiração, exacerbando os déficits hídricos durante os períodos secos. Isso gera incertezas significativas sobre a disponibilidade de água para diversos usos, dificultando o planejamento racional dos recursos hídricos, especialmente devido às variações no escoamento superficial e armazenamento em pequenos reservatórios (Lopes et al., 2015).

Ao longo dos últimos dois séculos, têm sido implementadas diversas políticas públicas voltadas para os recursos hídricos do semiárido brasileiro, incluindo medidas institucionais, estruturais e não estruturais (Cirilo, 2010). No entanto, muitas dessas iniciativas mostraram-se eficazes apenas de maneira limitada. Os fracassos decorrentes de decisões equivocadas aumentam o desafio de conviver com o semiárido, resultando em impactos socioeconômicos e ambientais adversos, muitas vezes irreversíveis, como desertificação e migração da população rural para áreas urbanas (Machado et al., 2021).

Estudos científicos indicam um aquecimento contínuo das zonas semiáridas ao longo deste século, o que pode intensificar eventos extremos de seca e enchente (Marengo et al., 2016). Isso requer políticas públicas e diretrizes que promovam um planejamento abrangente e fortaleçam ações participativas para o controle, monitoramento e alerta (Gondim et al., 2020).

É consensual que a gestão dos recursos hídricos é crucial para todos os setores da sociedade, devendo estar integrada às políticas de educação, meio ambiente, indústria e agricultura (Tucci, 2008). Os princípios da gestão de recursos hídricos, que consideram a água como um bem público de valor econômico e uso múltiplo, frequentemente geram conflitos entre os usuários (Braga et al., 2010).

O setor agrícola, que demanda grandes volumes de água, enfrenta pressões adicionais devido ao aumento da demanda por alimentos provocado pelo crescimento populacional. No semiárido, a irrigação é essencial, embora iniciativas como a captação de água da chuva para cultivos tenham se expandido, como exemplificado pelo Programa P1+2 do Governo Federal brasileiro (ANA, 2020), que viabiliza o uso da chamada “segunda água” para produção agrícola por meio de tecnologias como cisternas calçadão e barragens subterrâneas. A expansão das áreas produtivas no semiárido aumenta a pressão sobre as fronteiras agrícolas e, consequentemente, sobre os recursos hídricos, com a criação de perímetros irrigados voltados até mesmo para a exportação de produtos agrícolas (Rebouças, 2006).

Para aumentar a disponibilidade de água, destacam-se os incentivos públicos ao uso racional dos recursos hídricos, à conservação de água e solo, e

à adoção de técnicas de reuso de águas de qualidade inferior na agricultura (Cirilo, 2010). Instituições de pesquisa, universidades e cientistas têm se dedicado ao desenvolvimento de tecnologias apropriadas, enquanto o setor público elabora mecanismos para promover o desenvolvimento, aplicação e aceitação dessas tecnologias pelas comunidades, sem impactos ambientais adversos, mas que agreguem valor aos recursos hídricos disponíveis (Machado, 2015).

Cada região semiárida possui desafios únicos, portanto, é crucial adaptar esses princípios gerais às condições locais específicas para garantir a eficácia do plano de gestão integrada de recursos hídricos (Gondim, 2019).

3.6 Recursos hídricos e desafios no município de Bom Sucesso

O município de Bom Sucesso, localizado no semiárido paraibano, enfrenta problemas recorrentes relacionados à disponibilidade e à qualidade dos recursos hídricos, conforme apontado por Beltrão et al. (2005), refletindo os desafios enfrentados em muitas regiões semiáridas brasileiras. Segundo o IBGE (2021), Bom Sucesso possui uma população estimada em cerca de 5.200 habitantes, que depende majoritariamente de fontes como o Açude do Carneiro e de poços Amazonas para suprir suas demandas domésticas, agrícolas e industriais. No entanto, a gestão dessas fontes é dificultada pela irregularidade pluviométrica, característica da região, cuja precipitação média anual é de apenas 700 mm, concentrada em curtos períodos do ano.

A alta vulnerabilidade hídrica da região é agravada pela exploração desordenada dos recursos e pela ausência de políticas de preservação das áreas de recarga, como apontam Brito e Rufino (2023). Além disso, a degradação ambiental e a falta de infraestrutura adequada para captação e armazenamento de água intensificam os impactos das secas prolongadas. Estudos como os de Lucena (2021) reforçam que a gestão hídrica em regiões semiáridas deve ser integrada, incluindo tecnologias para otimizar o uso da água, conservação ambiental e o engajamento das comunidades locais.

Dados do Atlas de Abastecimento Urbano de Água da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020) revelam que, em Bom Sucesso, cerca de 60% da água consumida provém de poços subterrâneos, muitos deles do tipo poço Amazonas, enquanto os 40% restantes são oriundos principalmente do Açude do Carneiro, com eventual contribuição de pequenos barreiros e riachos intermitentes. Contudo, análises físico-químicas indicam que a qualidade da água dos poços frequentemente ultrapassa os limites de salinidade estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dificultando seu uso para irrigação e consumo humano.

Além disso, as mudanças climáticas representam uma ameaça crescente. Relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2017) preveem uma redução de até 30% na disponibilidade hídrica do semiárido até 2050, intensificando os conflitos pelo uso da água. Nesse contexto, Carvalho e Andrade (2020) destacam a necessidade de se priorizar políticas públicas que incentivem o reuso da água e a proteção das bacias hidrográficas.

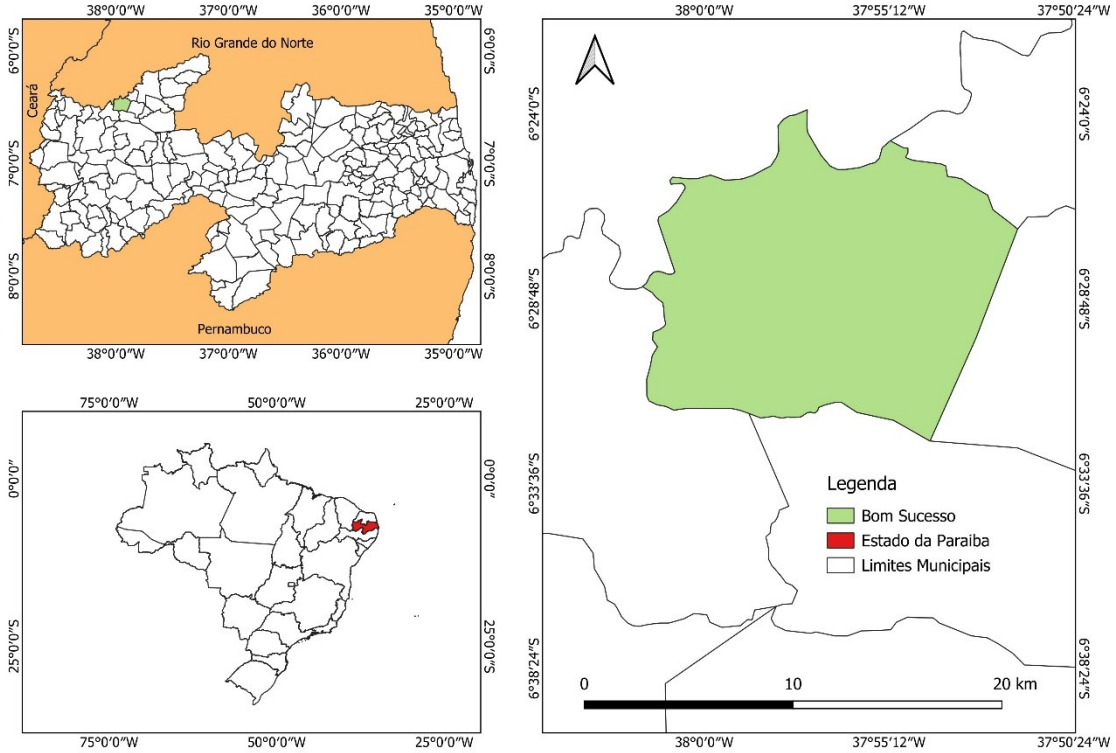
Em Bom Sucesso, a implementação de um plano de gestão hídrica deve incluir ações como o reflorestamento de áreas de recarga, o uso de tecnologias como dessalinização para tratamento de águas subterrâneas e a criação de sistemas de coleta de água da chuva. De acordo com Souza et al. (2019), estratégias participativas, que envolvem a população local na tomada de decisões, são essenciais em contextos semelhantes ao de Bom Sucesso, para promover a resiliência hídrica e a justiça social. Assim, a gestão hídrica em Bom Sucesso requer soluções integradas que considerem tanto os desafios ambientais quanto as dinâmicas sociais, garantindo a segurança hídrica e o desenvolvimento sustentável para as futuras gerações.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 A Área de Estudo

O município de Bom Sucesso está localizado no estado da Paraíba, na mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Catolé do Rocha, entre as coordenadas geográficas 6° 23′ 30″ S e 6° 26′ 40″ S (latitudes), e 37° 55′ 35″ W e 37° 57′ 50″ W (longitudes). Possui área aproximada de 185 km² e população estimada em torno de 5 mil habitantes, sendo aproximadamente 72% residentes em áreas rurais, com economia baseada na agricultura de subsistência e na pecuária (Xavier et al., 2024; IBGE, 2022). A Figura 1 apresenta o mapa de localização geográfica do município.

Figura 1 - Mapa de localização geográfica do município de Bom Sucesso-PB.



O município apresenta características climáticas típicas do semiárido nordestino, com clima quente e seco, chuvas irregulares e concentradas entre

os meses de fevereiro e maio, e precipitação anual média inferior a 800 mm (Brito et al., 2021). O relevo é formado por colinas suaves e depressões interplanálticas, inserido no Domínio do Polígono das Secas. A vegetação predominante é a Caatinga hiperxerófila, adaptada à escassez hídrica, e os solos apresentam fragilidade frente a processos de degradação, exigindo práticas de manejo sustentável.

Os principais recursos hídricos do município são o Açude do Carneiro e os poços tubulares do tipo Amazonas, que desempenham papel estratégico no abastecimento para consumo humano, irrigação e outras atividades produtivas. No entanto, esses recursos enfrentam pressões crescentes devido ao uso excessivo, à degradação das áreas de recarga, ao desmatamento das matas ciliares e à poluição das fontes de água (Ferreira et al., 2007; Beltrão et al., 2005).

A escolha de Bom Sucesso como área de estudo se justifica pela necessidade de compreender a variabilidade da precipitação e a qualidade das águas subterrâneas em um contexto de escassez hídrica. A análise será complementada com mapas hidrológicos, gráficos de precipitação e imagens de satélite, visando identificar áreas de vulnerabilidade e propor estratégias eficazes para a conservação dos recursos hídricos locais.

4.2 Mapeamento das fontes de água superficiais e subterrâneas

A metodologia para o diagnóstico da oferta hídrica no município de Bom Sucesso seguiu uma abordagem sistemática e interdisciplinar, fundamentada em estudos anteriores sobre gestão hídrica no semiárido, como os de Lucena (2021), Lima et al. (2025) e Guria et al. (2025), adaptados às especificidades locais. Essa abordagem combinou o levantamento de dados físico-químicos e espaciais, o processamento e análise geoestatística, a avaliação da qualidade da água subterrânea, e a proposição de estratégias para um plano de gestão integrada dos recursos hídricos.

O mapeamento das fontes de água superficiais e subterrâneas foi realizado por meio de visitas técnicas ao município de Bom Sucesso, entre janeiro de 2023 e dezembro de 2024. Essas visitas incluíram coleta de amostras

de água em poços, medições in loco, georreferenciamento das fontes hídricas e inspeções das obras de infraestrutura hídrica. Parte significativa das informações foi disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Bom Sucesso e pela empresa Tratáguas Consultoria S/S LTDA, no contexto de um convênio com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) para perfuração de poços no município.

O autor desta dissertação atuou como engenheiro da Prefeitura de Bom Sucesso por oito anos, período em que acompanhou diretamente as obras de perfuração de poços e infraestrutura hídrica, o que permitiu acesso qualificado aos dados físico-químicos e às condições operacionais das fontes de abastecimento. Essa vivência profissional contribuiu para uma compreensão aprofundada da realidade hídrica local e para a elaboração de estratégias contextualizadas de gestão.

Os dados levantados incluíram vazão nominal, potencial hidrogeniônico (pH), alcalinidade total, cloretos, dureza total, sódio estequiométrico e sólidos totais dissolvidos (STD). Esses parâmetros foram analisados com o apoio do *software* Surfer 13, que permitiu a modelagem da variabilidade espacial por meio de semivariogramas. Essa técnica é essencial na análise geoestatística, pois caracteriza a dependência espacial dos fenômenos e fundamenta o uso da krigagem como método de interpolação.

Os modelos de interpolação utilizados foram a Krigagem Ordinária para variáveis com dependência espacial identificada como pH e dureza total, e o Inverso do Quadrado da Distância (IDW) para as variáveis que apresentaram fraca dependência espacial, como cloretos, sódio e sólidos totais dissolvidos (STD).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o R Studio no qual a normalidade da distribuição foi examinada por meio do teste de Shapiro-Wilk, que possui como hipóteses: (a) H_0: Os dados têm distribuição Normal (p-valor > α), e (b) H_a: Os dados não têm distribuição Normal (p-valor < α).

Para o mapeamento das fontes de água superficiais, foi realizada a delimitação completa da bacia hidrográfica do Açude do Carneiro, que abrange os municípios de Bom Sucesso, Jericó e Lagoa, com foco analítico voltado à porção inserida no território de Bom Sucesso. Utilizou-se o software QGIS para

integrar dados geoespaciais, rede de drenagem e áreas de preservação permanente (APPs). A caracterização da rede de drenagem e das zonas de recarga hídrica foi feita com base em dados altimétricos processados por meio de Modelos Digitais de Elevação (MDE), permitindo identificar as principais áreas de contribuição hídrica superficial.

4.3 Análise de vazão e qualidade das águas subterrâneas

A análise da vazão e da qualidade das águas subterrâneas no município de Bom Sucesso foi conduzida com base na interpretação dos mapas temáticos gerados na etapa anterior. Esses mapas permitiram visualizar a distribuição espacial dos principais parâmetros físico-químicos da água (como pH, dureza, sódio, sólidos totais dissolvidos e turbidez), bem como das vazões nominais dos poços georreferenciados.

A leitura integrada dos mapas possibilitou identificar áreas com maior potencial de exploração hídrica, além de regiões críticas quanto à qualidade da água, considerando os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 e pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A análise também permitiu observar padrões espaciais associados a fatores ambientais, como uso do solo, proximidade de áreas agrícolas e características geológicas locais.

Além disso, foi possível avaliar a variabilidade sazonal da qualidade da água com base no histórico hidrológico do município, identificando possíveis influências de atividades antrópicas sobre a recarga dos aquíferos e a concentração de contaminantes em determinados períodos do ano.

Os resultados obtidos a partir dos mapas subsidiaram a formulação de estratégias voltadas ao manejo eficiente dos recursos subterrâneos, à proteção das áreas sensíveis e à promoção do uso sustentável da água no município.

4.4 Variabilidade anual e sazonal da precipitação

Para a análise da variabilidade anual e sazonal da precipitação no município de Bom Sucesso, foram utilizados dados históricos da estação pluviométrica local, mantida e operada pela Agência Executiva de Gestão das

Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB), sob o código 637040, abrangendo o período de 1994 a 2024. Esses dados foram obtidos por meio do sistema de monitoramento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e consistiram em registros mensais de precipitação acumulada (em milímetros).

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos a tratamento estatístico. Inicialmente, foram calculadas as médias mensais e anuais de precipitação, permitindo caracterizar o regime pluviométrico típico da região. Em seguida, foi determinado o coeficiente de variação mensal, com o objetivo de avaliar a irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ano.

Também foram elaborados gráficos de séries temporais, representando a evolução da precipitação mês a mês e ano a ano. A partir desses gráficos, foi possível classificar os períodos chuvosos e secos, com base nos valores médios mensais e nos limites estabelecidos pela literatura climatológica para o semiárido nordestino.

A análise da sazonalidade permitiu identificar os meses de maior e menor ocorrência de chuvas, bem como compreender os impactos dessa distribuição sobre a disponibilidade hídrica local. Esses resultados subsidiaram as discussões sobre a recarga de aquíferos e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município.

4.5 Análise da participação comunitária na gestão dos recursos hídricos

Para discutir a importância da participação comunitária na gestão dos recursos hídricos, a metodologia adotada foi de caráter qualitativo e descritivo. Este estudo combinou pesquisa bibliográfica, análise documental e observação técnica baseada na experiência profissional do autor. Inicialmente, foi realizada uma revisão de literatura em bases acadêmicas nacionais e internacionais, abordando conceitos de gestão participativa, governança da água e experiências exitosas de envolvimento social em diferentes contextos do semiárido brasileiro. Essa etapa permitiu compreender o arcabouço teórico e normativo que sustenta a participação social na política de recursos hídricos, especialmente no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Em seguida, foi conduzida uma análise documental de planos municipais e estaduais de recursos hídricos, planos de saneamento básico e relatórios de órgãos gestores, com o objetivo de identificar instrumentos e práticas de participação adotados no município de Bom Sucesso. A análise foi complementada por observações técnicas realizadas ao longo da atuação do autor como engenheiro municipal, período em que acompanhou diretamente obras de abastecimento de água e interações com a população local.

Com base nesse conhecimento prático, foi possível reconhecer o papel ativo da comunidade na fiscalização do uso da água, especialmente em situações de uso inadequado, como irrigação em sistemas destinados exclusivamente ao consumo humano e animal. Também se observou a presença da população em processos participativos vinculados à elaboração de planos de saneamento, ainda que de forma informal e pouco documentada, característica comum em municípios de pequeno porte.

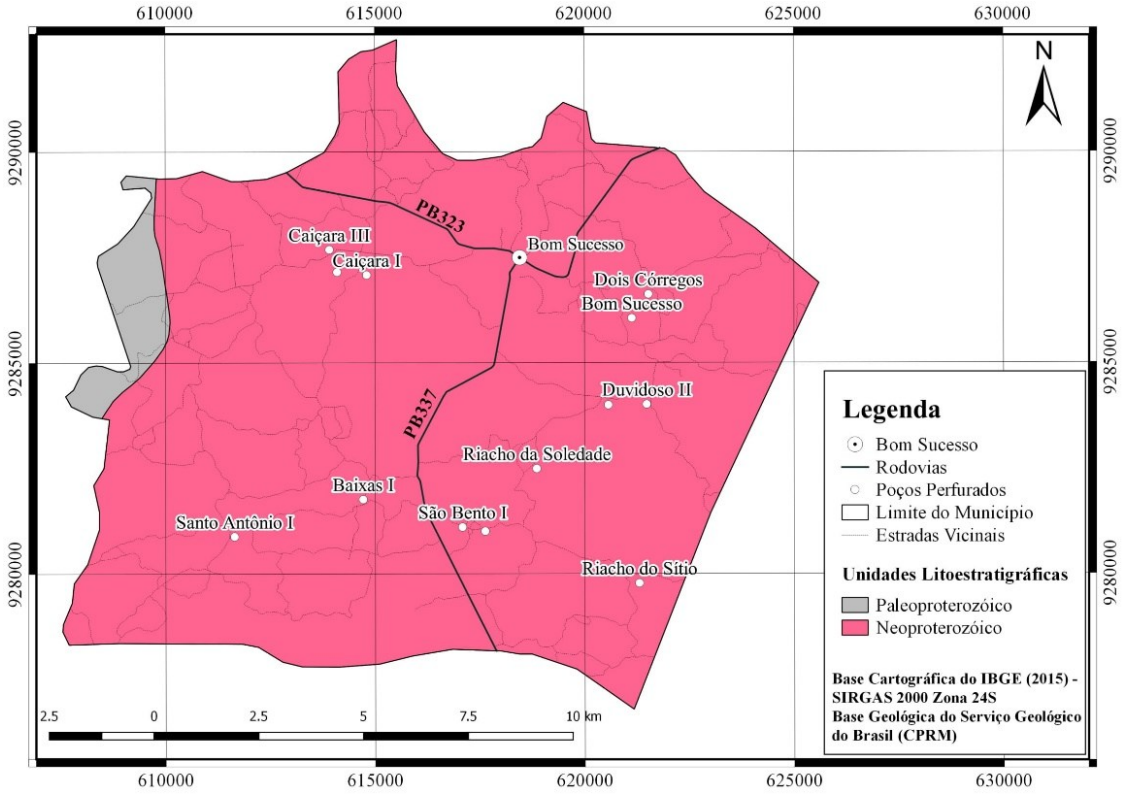
As informações obtidas foram organizadas por meio de análise de conteúdo, permitindo identificar categorias temáticas relacionadas à participação social, empoderamento comunitário e sustentabilidade hídrica. Por fim, os resultados serão discutidos à luz da literatura, destacando o papel estratégico da população na conservação dos mananciais, na fiscalização do uso da água e na construção de soluções coletivas. Essa abordagem integrará conhecimento técnico e saberes locais, reforçando a relevância da participação cidadã na gestão sustentável dos recursos hídricos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise integrada das fontes hídricas

Bom Sucesso, localizado no semiárido nordestino, apresenta desafios hídricos complexos que demandam uma análise detalhada de suas principais fontes de água e das condições ambientais que influenciam sua disponibilidade e qualidade. A análise integrada considerou aspectos geológicos, climáticos e espaciais, com base nos dados coletados e processados nas etapas anteriores. A Figura 2 apresenta a área de estudo, os pontos amostrais e as unidades litoestratigráficas do município, permitindo visualizar a distribuição espacial das principais formações geológicas e os locais de coleta de dados utilizados na avaliação da qualidade da água subterrânea.

Figura 2 - Área de estudo e pontos amostrais e as unidades lito estratigráficas do município de Bom Sucesso.

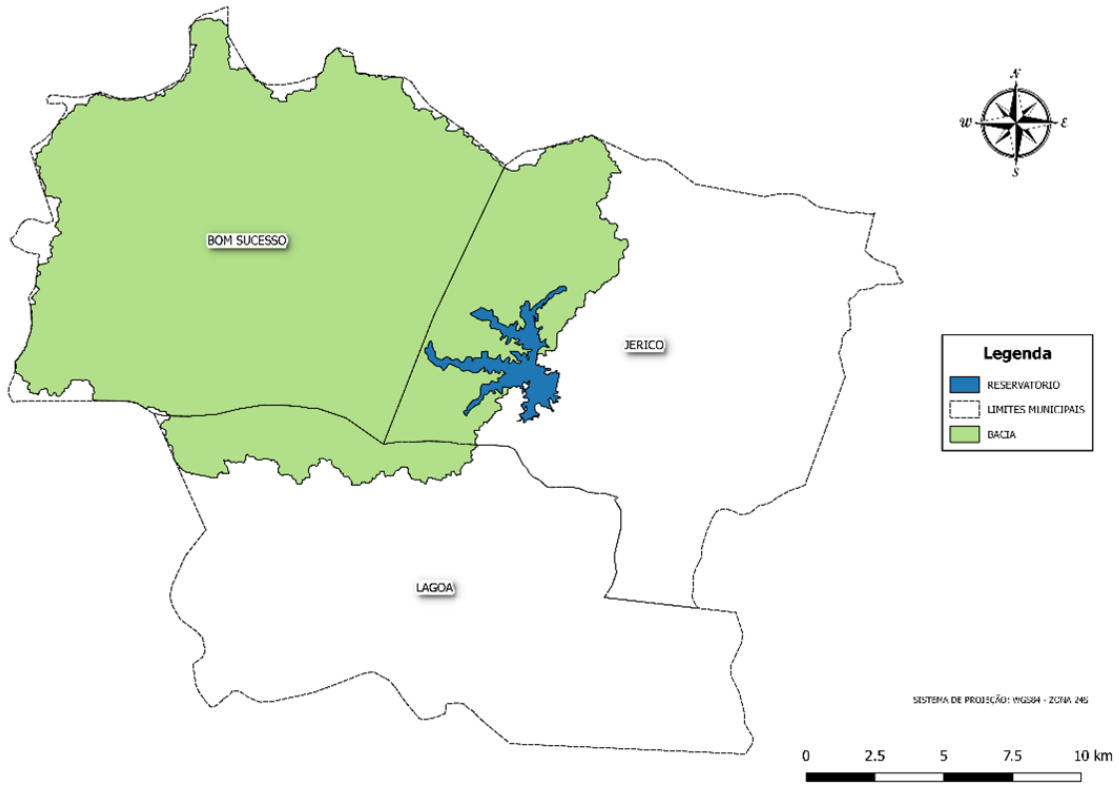


Fonte: Elaboração Própria (2018).

A principal fonte superficial de água do município é o Açude do Carneiro, localizado fisicamente em Jericó-PB, mas cuja bacia hidrográfica abrange

significativamente o território de Bom Sucesso. A Figura 3 ilustra essa configuração espacial, evidenciando que grande parte da área de drenagem que contribui para o reservatório está situada dentro dos limites municipais de Bom Sucesso. Essa característica reforça a importância estratégica do município na conservação das águas superficiais e na gestão integrada dos recursos hídricos da região.

Figura 3 - Bacia hidrográfica do Açude do Carneiro, destacando os limites municipais

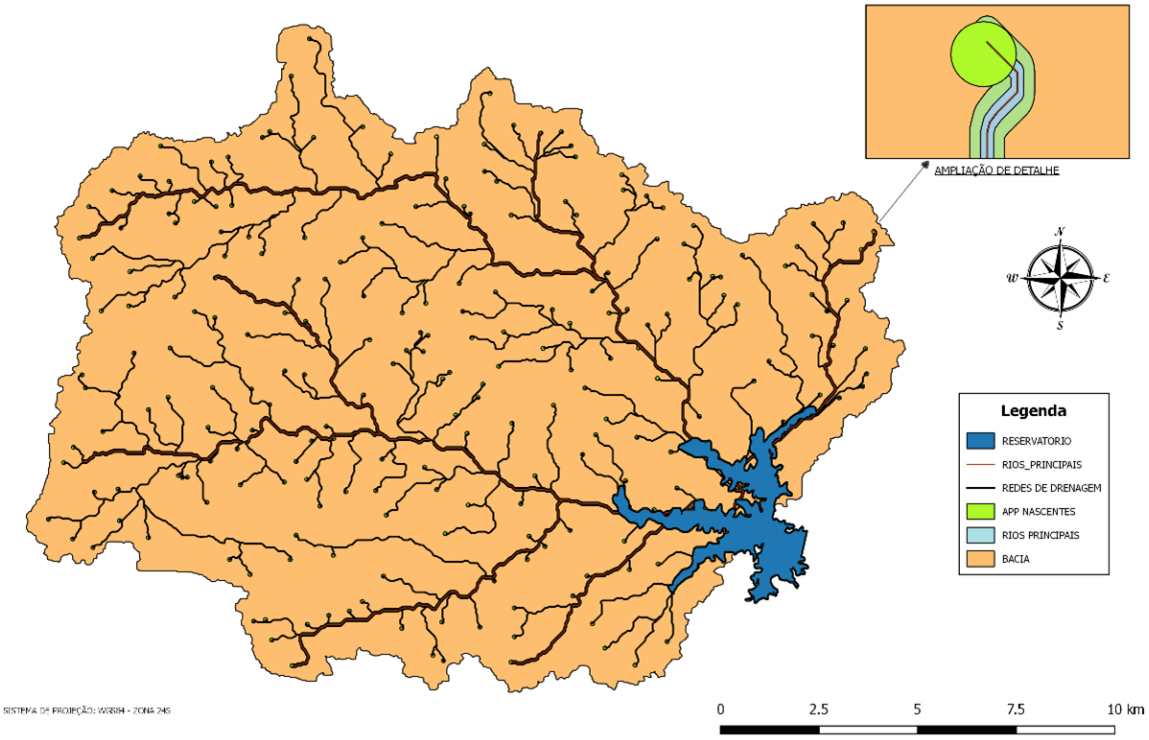


Fonte: Elaboração Própria (2025).

Nesse contexto, torna-se relevante considerar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) associadas às nascentes que alimentam o Açude do Carneiro, uma vez que essas zonas exercem papel fundamental na manutenção da qualidade e da regularidade do fluxo hídrico. A Figura 04 apresenta essas APPs, destacando os pontos de origem dos cursos d'água que percorrem a bacia e contribuem diretamente para o reservatório. A proteção dessas áreas favorece a recarga dos aquíferos, reduz processos erosivos e controla a sedimentação, aspectos diretamente relacionados à sustentabilidade hídrica de Bom Sucesso.

Ao integrar essas informações ao diagnóstico territorial, reforça-se a necessidade de estratégias que articulem conservação ambiental, planejamento espacial e gestão participativa, consolidando o papel das APPs como elementos estruturantes na segurança hídrica regional.

Figura 4 - Áreas de Preservação Permanente (APPs) de nascentes da bacia hidrográfica do Açude do Carneiro



Fonte: Elaboração Própria (2025).

Além disso, segundo Ferreira et al. (2007), os aquíferos do tipo fissural, predominantes na área, são formados por fraturas em rochas cristalinas relativamente impermeáveis, como basaltos. Essas características, associadas à baixa pluviometria e ao clima seco, resultam em vazões reduzidas e limitam o potencial de exploração sustentável desses recursos. A integração entre as fontes superficiais e subterrâneas é essencial para o planejamento hídrico municipal, especialmente em períodos de escassez prolongada.

As análises físico-químicas realizadas nas águas subterrâneas de Bom Sucesso destacam questões importantes relacionadas à qualidade. Parâmetros

como pH, alcalinidade total, cloretos, dureza total, sódio e sólidos totais dissolvidos (STD) foram avaliados com base nos critérios estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, atualmente vigente no Brasil para controle da potabilidade da água destinada ao consumo humano.

Por exemplo, o pH da água deve estar entre 6,0 e 9,5, os cloretos devem apresentar concentração máxima de 250 mg/L, e a dureza total deve ser inferior a 500 mg/L. O sódio é recomendado até 200 mg/L, e os sólidos totais dissolvidos não devem ultrapassar 1000 mg/L, conforme diretrizes da Funasa (2014). Esses limites estão resumidos na Tabela 1, que apresenta os padrões de potabilidade adotados como referência neste estudo.

Tabela 1 - Limites recomendados para parâmetros físico-químicos da água subterrânea segundo a legislação vigente.

Parâmetro	Limite permitido	Referência legal
pH	6,0 a 9,5	Portaria GM/MS nº 888/2021
Cloretos (Cl^-)	Máximo de 250 mg/L	Portaria GM/MS nº 888/2021
Dureza total (DT)	Inferior a 500 mg/L	Portaria GM/MS nº 888/2021
Sódio (Na^+)	Recomendado até 200 mg/L	Funasa (2014)
Sólidos totais dissolvidos (STD)	Máximo de 1000 mg/L	Funasa (2014)
Alcalinidade total (AT)	Sem limite específico, mas ideal entre 100–200 mg/L	Referência técnica (Funasa/MS)
pH	6,0 a 9,5	Portaria GM/MS nº 888/2021

A Tabela 2 apresenta os valores das análises físico-químicas com base nas amostras de água coletadas no município de Bom Sucesso no período de junho a agosto do ano de 2016. Os resultados evidenciaram zonas homogêneas para diferentes variáveis, permitindo a elaboração de mapas de contorno georreferenciados no sistema SIRGAS 20001.

[1] Esse estudo foi apresentado anteriormente pelo autor no trabalho de Curso de Especialização em Geoprocessamento e Georreferenciamento, porém, os dados foram ligados à análise estatística.

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos da água subterrânea do município de Bom Sucesso.

Local	Q* (L/h)	pH*	AT* ($mg.L^{-1}$)	Cl^{-}* ($mg.L^{-1}$)	DT* ($mg.L^{-1}$)	Na^{+}* ($mg.L^{-1}$)	STD* ($mg.L^{-1}$)
Dois Córregos	500	6,90	157,00	122,50	220,00	59,90	413,00
Bom Sucesso	1043	7,04	182,00	87,50	280,00	40,06	487,00
Duvidoso II	533	7,31	200,00	157,50	180,00	72,05	402,00
Duvidoso I	783	7,51	220,00	105,00	140,00	48,05	454,00
Riacho da Soledade	505	6,90	195,00	200,00	135,00	71,00	325,00
Riacho do Sítio	720	8,35	190,00	70,00	150,00	32,00	244,00
São Bento II	727	6,81	160,00	87,50	240,00	20,00	90,50
São Bento I	1385	7,38	160,00	283,75	570,00	129,00	860,00
Baixas I	700	7,38	170,00	255,00	600,00	116,70	872,00
Santo Antônio I	1675	7,89	150,00	105,00	140,00	47,00	249,00
Caiçara III	502	6,87	190,00	560,00	490,00	238,00	1294,00
Caiçara II	783	6,17	120,00	70,00	120,00	31,70	234,00
Caiçara I	700	6,96	140,00	70,00	130,00	21,70	251,00

Nota: Q - vazão nominal, pH – potencial hidrogeniônico, AT–alcalinidade total, Cl^{-}–Cloretos, DT–Dureza total, Na^{+} – sódio estequiométricoe STD–sólidos totais dissolvidos. * informações fornecidas pela Prefeitura Municipal de Bom Sucesso e pela Tratáguas Consultoria S/S LTDA, registro CRQ 0186.

Fonte: Elaboração Própria (2024).

A análise da coluna Q (L/h), que representa a vazão nominal dos poços, revela uma variação significativa entre os pontos amostrados no município de Bom Sucesso-PB, refletindo diferenças nas condições hidrogeológicas locais.

Os valores variam de 502 L/h (Caiçara III) a 1675 L/h (Santo Antônio I), evidenciando heterogeneidade na produtividade dos poços. As maiores vazões foram observadas em Santo Antônio I (1675 L/h), São Bento I (1385 L/h) e Bom Sucesso (1043 L/h), indicando aquíferos mais produtivos ou melhor conectados

às zonas de recarga. Esses locais podem estar associados a formações geológicas mais fraturadas ou a melhores condições de infiltração.

Por outro lado, valores inferiores a 600 L/h, como em Caiçara III (502 L/h), Riacho da Soledade (505 L/h) e Dois Córregos (500 L/h), sugerem menor capacidade de produção de água subterrânea, possivelmente relacionada a baixa permeabilidade do aquífero ou poços em zonas menos favoráveis à recarga. De modo geral, a distribuição das vazões indica que o potencial hídrico subterrâneo é irregular e espacialmente variável, reforçando a necessidade de um planejamento local de uso da água que considere a capacidade produtiva de cada poço e a sustentabilidade da exploração.

A análise dos valores de pH das águas subterrâneas no município de Bom Sucesso-PB revela uma variação entre 6,17 e 8,35, indicando que as amostras oscilam de ligeiramente ácidas a levemente alcalinas. O menor valor foi registrado em Caiçara II (pH 6,17), caracterizando uma água levemente ácida, o que pode estar associado à interação com solos ricos em matéria orgânica, presença de dióxido de carbono dissolvido ou baixa capacidade de tamponamento (alcalinidade reduzida). Já o maior valor, observado em Riacho do Sítio (pH 8,35), indica condições alcalinas, possivelmente resultantes da dissolução de minerais carbonáticos ou maior presença de íons bicarbonato e carbonato, que elevam o pH.

A maioria das amostras apresenta pH entre 6,8 e 7,5, dentro da faixa neutra a levemente alcalina, compatível com padrões de potabilidade recomendados pela legislação brasileira (Portaria GM/MS nº 888/2021: 6,0–9,5). Essa variação reflete a influência das características geológicas e geoquímicas locais, como o tipo de rocha, o tempo de residência da água no aquífero e processos de dissolução e troca iônica. Em síntese, os resultados indicam boas condições químicas gerais, sem tendência significativa de acidificação, mas com diferenças pontuais que merecem monitoramento contínuo para garantir a qualidade e estabilidade química das águas subterrâneas no município.

Ainda de acordo com a Tabela 2, A alcalinidade total (AT) das águas subterrâneas do município de Bom Sucesso-PB apresenta valores variando entre 120 $mg \cdot L^{-1}$ e 220 $mg \cdot L^{-1}$, conforme mostrado na Tabela 2. Essa faixa

indica uma variação moderada, refletindo diferenças nas condições geoquímicas dos aquíferos e no tempo de residência da água subterrânea.

O menor valor de AT (120 $mg \cdot L^{-1}$) foi registrado em Caieira II, enquanto o maior valor (220 $mg \cdot L^{-1}$) ocorreu em Duvidoso I. Valores mais elevados de alcalinidade estão geralmente associados à dissolução de minerais carbonáticos (como calcita e dolomita) e à presença de íons bicarbonato (HCO_3^-), que conferem à água uma maior capacidade de neutralizar ácidos. Essa característica é importante para a estabilidade química da água e sua proteção contra variações bruscas de pH.

Nas demais localidades, a alcalinidade manteve-se predominantemente entre 150 e 200 $mg \cdot L^{-1}$, indicando boa capacidade tamponante e sugerindo águas equilibradas do ponto de vista químico. De modo geral, a variação da alcalinidade total evidencia a influência das interações água–rocha e das condições de recarga local, refletindo diferentes composições mineralógicas nos aquíferos. A presença de valores dentro de uma faixa típica de águas subterrâneas do semiárido nordestino indica qualidade satisfatória e baixa vulnerabilidade à acidificação, reforçando o papel da alcalinidade como parâmetro fundamental para a avaliação e gestão da qualidade hidroquímica regional.

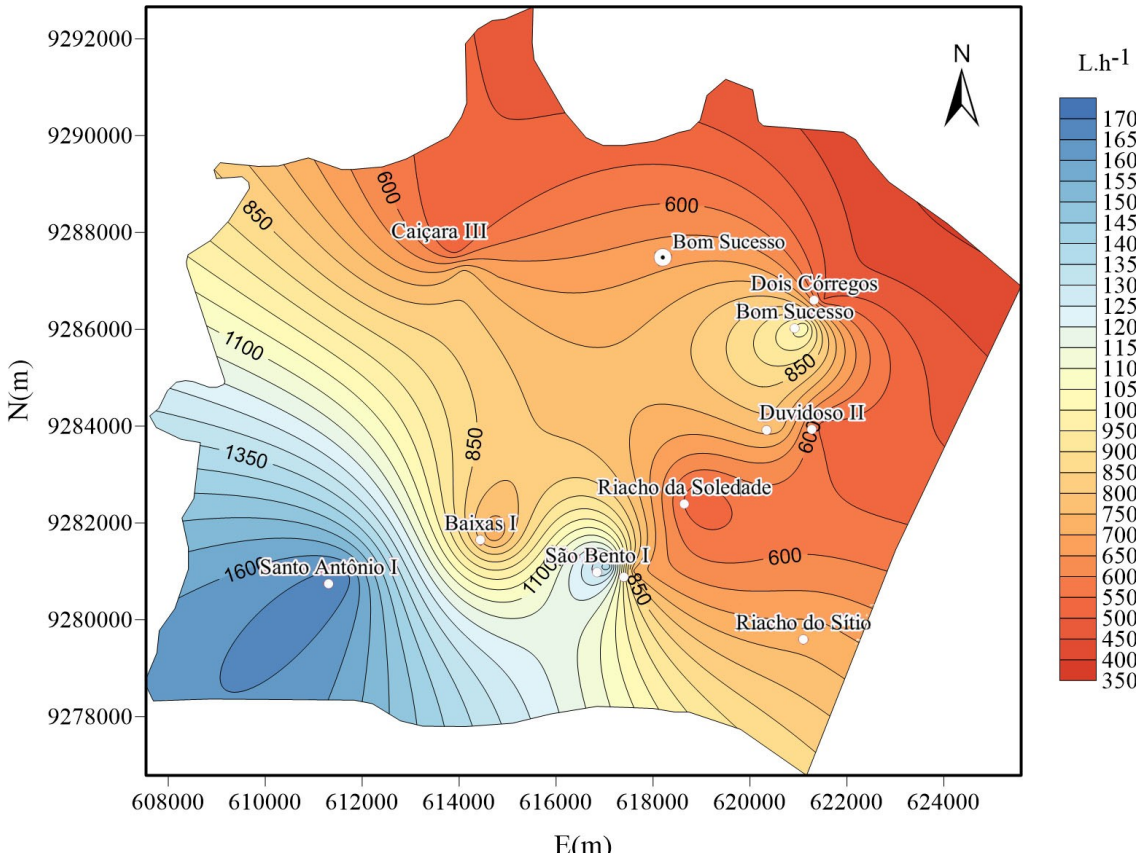
A Figura 5 representa a distribuição espacial da vazão dos poços subterrâneos no município de Bom Sucesso, evidenciando uma concentração de maiores vazões na região sudoeste, onde os valores máximos podem atingir 1.700 $L \cdot h^{-1}$. As comunidades de Baixas, Serrinha e Santo Antônio destacam-se por apresentar os maiores rendimentos hídricos, estendendo-se essa tendência até a divisa com o município de Santa Cruz-PB. Esse padrão sugere a influência de fatores hidrogeológicos específicos, como a presença de fraturas e falhas geológicas, que facilitam a percolação e o armazenamento da água subterrânea.

A topografia da região desempenha papel crucial na dinâmica da recarga dos aquíferos. De acordo com Karmann (2007), em terrenos de maior declividade, o escoamento superficial ocorre rapidamente, reduzindo o tempo de infiltração da água da chuva no solo e dificultando a recarga subterrânea. Em contraste, áreas mais planas tendem a reter a água por períodos mais longos,

favorecendo sua infiltração e contribuindo para o aumento da disponibilidade hídrica nos aquíferos. Esse comportamento é compatível com o padrão identificado no mapa, no qual as maiores vazões estão concentradas em áreas de menor declividade e maior potencial de recarga.

Diante desse cenário, recomenda-se priorizar a gestão eficiente dos poços já existentes, especialmente nas áreas com maior produtividade hídrica, como Baixas, Serrinha e Santo Antônio. A implementação de sistemas de monitoramento contínuo da vazão e da qualidade da água, bem como o controle do bombeamento, é essencial para evitar a sobreexploração dos aquíferos. Além disso, é recomendável mapear as zonas de baixa produtividade para avaliar, com base em estudos geofísicos, a viabilidade de novas perfurações em áreas com potencial hidrogeológico. A integração da gestão hídrica com práticas agrícolas e domésticas sustentáveis deve ser incentivada, promovendo o uso racional da água e a preservação dos recursos subterrâneos. Por fim, a perfuração de novos poços deve ser cuidadosamente planejada, evitando áreas de alta declividade e priorizando regiões planas com maior capacidade de recarga natural.

Figura 5 - Mapa de estimativa de vazão para perfuração de poços no município de Bom Sucesso.



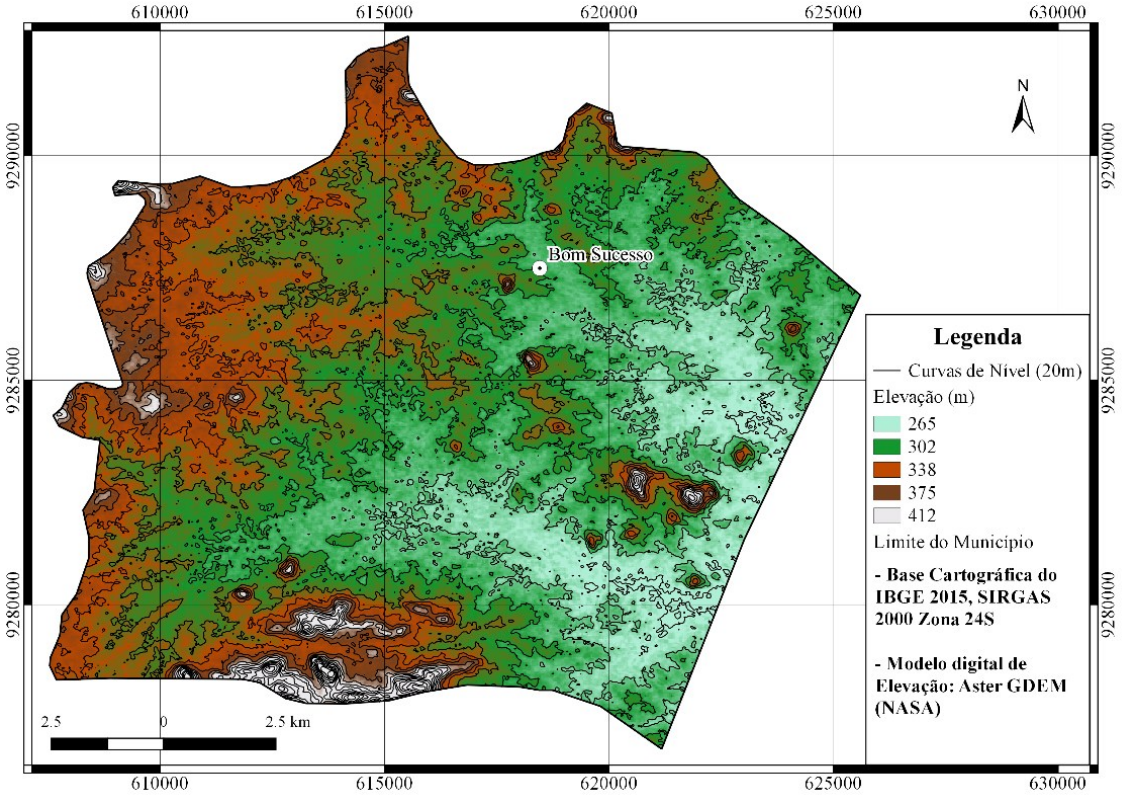
Fonte: Elaboração Própria (2018).

A Figura 6 apresenta o mapa de elevação do município de Bom Sucesso, evidenciando que, na região sudoeste, onde a topografia é mais acidentada, os valores de vazão atingiram patamares elevados. Embora, em geral, terrenos declivosos tendam a apresentar menor infiltração de água devido ao aumento do escoamento superficial, esse comportamento observado na área não invalida o modelo adotado. Isso ocorre porque as características geológicas locais desempenham um papel determinante na recarga dos aquíferos.

A região apresenta formações cristalinas fissuradas, onde a presença de falhas e fraturas no embasamento rochoso favorece a percolação e armazenamento da água subterrânea. Segundo Ferreira et al. (2007), os aquíferos fissurais, comuns nessa área, dependem da presença e conectividade dessas estruturas geológicas para possibilitar o fluxo e a retenção de água subterrânea.

Outro fator relevante na explicação desse padrão é que as fraturas nas rochas cristalinas podem se estender por grandes distâncias, interligando zonas de infiltração e zonas de captação de água subterrânea. Isso significa que a água recarregada em uma região pode ser transportada ao longo dessas estruturas geológicas, alimentando poços localizados a quilômetros de distância da área de infiltração primária.

Figura 6 - Mapa de elevação do município de Bom Sucesso.



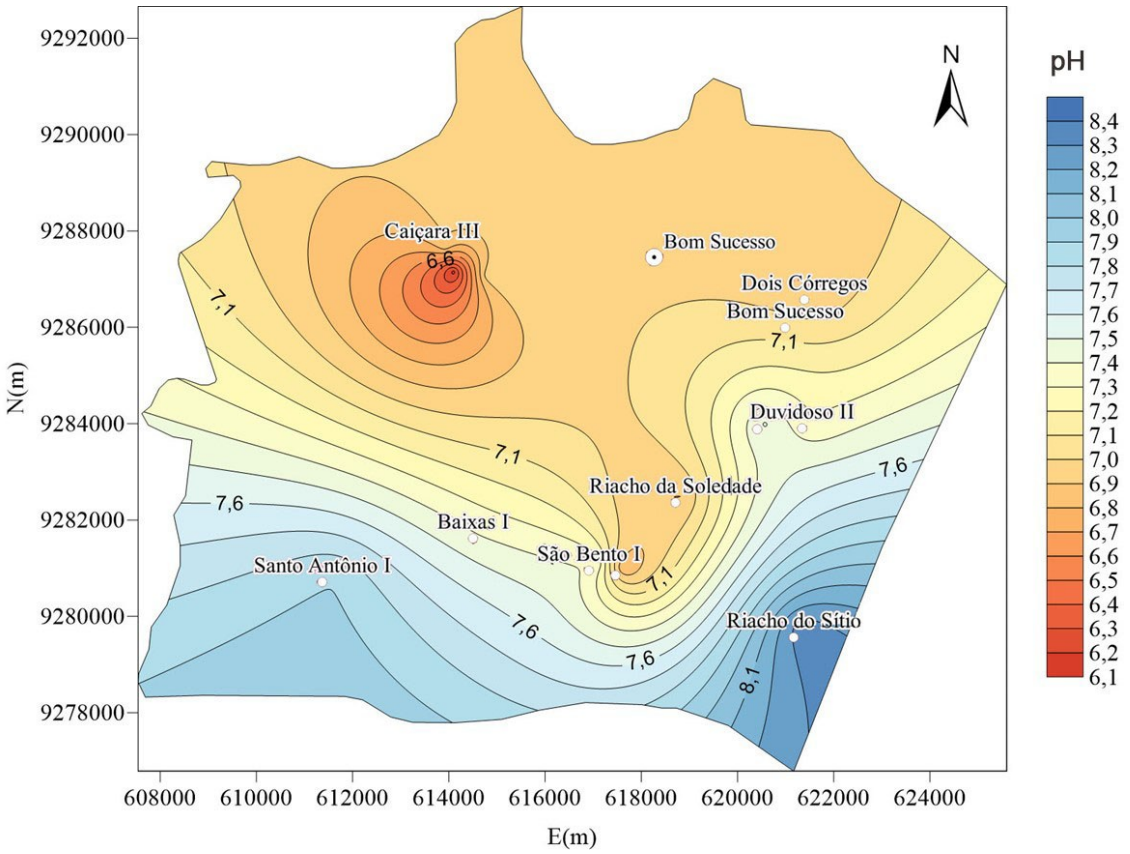
Fonte: Elaboração Própria (2018).

De acordo com a FUNASA (2013), a faixa de pH recomendada para a água destinada ao consumo humano varia entre 6,0 e 9,5, garantindo sua potabilidade e contribuindo para a manutenção do equilíbrio químico do organismo. A água dentro dessa faixa é considerada alcalina, o que reduz sua corrosividade e favorece sua qualidade para consumo.

Essa referência normativa é fundamental para interpretar os resultados apresentados na Figura 7, que mostra o mapeamento da distribuição espacial

do pH da água subterrânea no município de Bom Sucesso, utilizando o modelo gaussiano de interpolação. Os dados indicam que os valores mais elevados de pH concentram-se na porção sul do município, enquanto na região norte os valores se aproximam da neutralidade, especialmente nas áreas próximas à divisa com o estado do Rio Grande do Norte. Essa variação pode estar associada à composição geológica do solo, à interação da água com minerais alcalinos e aos processos naturais de recarga subterrânea.

Figura 7 - Mapa de estimativa do pH da água subterrânea do município de Bom Sucesso.



Fonte: Elaboração Própria (2018).

A alcalinidade da água é um parâmetro essencial para a avaliação da qualidade dos recursos hídricos, representando sua capacidade de neutralizar ácidos e manter o equilíbrio químico do meio aquático. Segundo Rebouças (2018), “a alcalinidade influencia diretamente na estabilidade do pH da água e

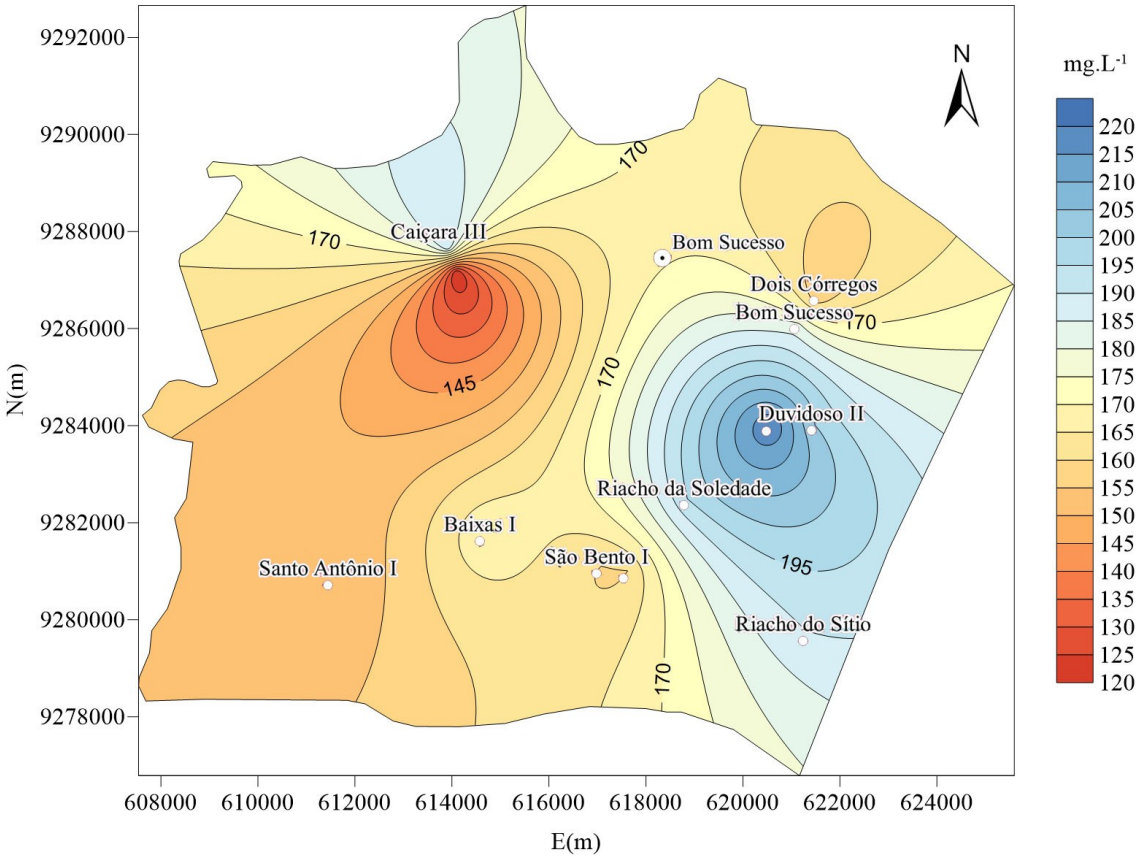
na sua interação com materiais de tubulação e reservatórios, sendo um fator importante na potabilidade e no abastecimento humano".

No Brasil, não há um limite máximo estabelecido para a alcalinidade da água potável, diferentemente de outros parâmetros físico-químicos regulamentados por órgãos normativos, como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). No entanto, estudos apontam que a presença de elevados níveis de bicarbonatos e carbonatos pode afetar a dureza da água, além de interferir no tratamento de potabilidade e na qualidade sensorial da água consumida (Mendes, 2018).

A Figura 8 apresenta o mapeamento da distribuição espacial da alcalinidade da água subterrânea no município de Bom Sucesso. Os resultados revelaram que os poços que representam as comunidades de Arapuá e Duvidoso apresentaram os maiores valores, atingindo 220 $mg.L^{-1}$ de $CaCO_3$. Esse padrão corrobora estudos que indicam uma influência significativa das formações geológicas na composição química das águas subterrâneas, uma vez que "a dissolução de minerais carbonáticos nos aquíferos pode elevar a alcalinidade, dependendo do tempo de contato e das características hidrogeoquímicas locais" (Ferreira et al., 2007).

A variação espacial da alcalinidade na área de estudo pode ser explicada pela presença de rochas ricas em carbonatos, além da influência dos processos de recarga dos aquíferos e das condições climáticas do semiárido, que podem intensificar a concentração de sais dissolvidos na água subterrânea. De acordo com Beltrão et al. (2005), "as características litológicas do embasamento cristalino da Paraíba influenciam diretamente os parâmetros físico-químicos da água subterrânea, sendo a alcalinidade um dos principais indicadores da interação entre água e rocha".

Figura 8 - Mapa de estimativa da alcalinidade da água subterrânea do município de Bom Sucesso.



Fonte: Elaboração Própria (2018).

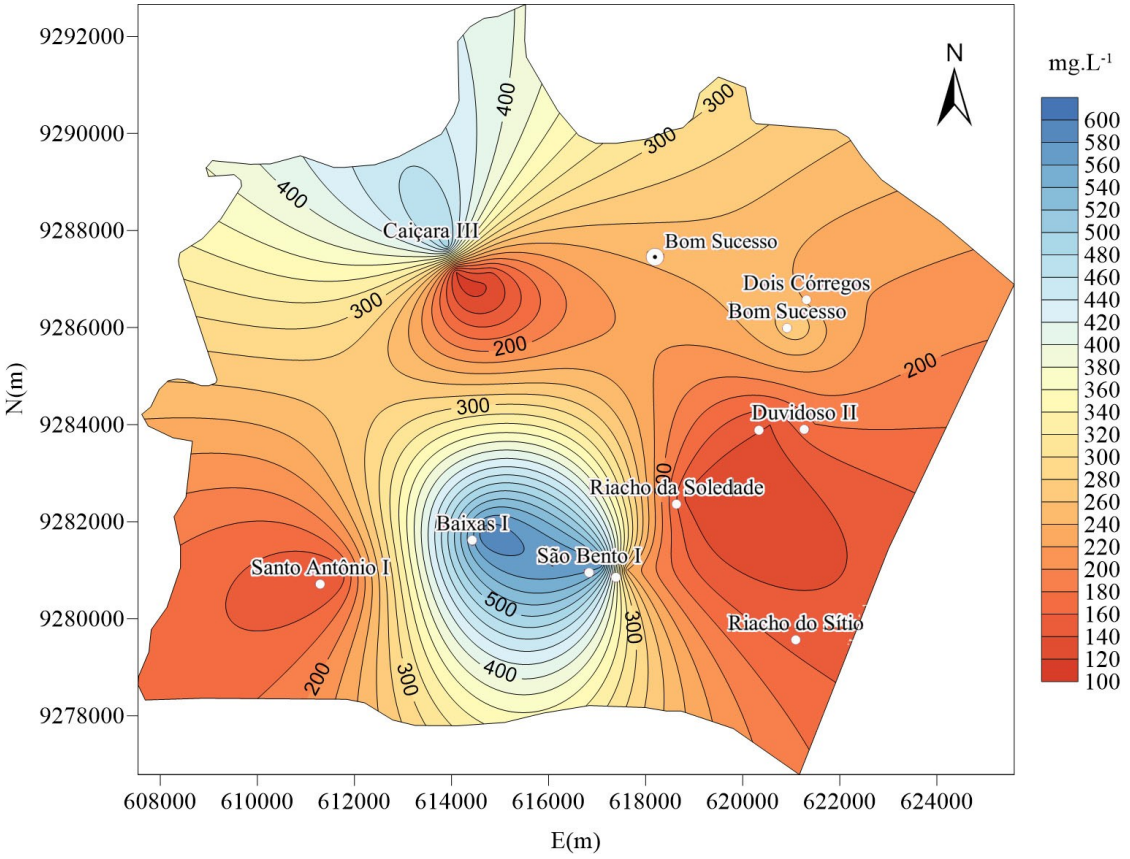
A dureza total da água é um parâmetro que reflete a concentração de íons cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), sendo expressa em termos de carbonato de cálcio ($CaCO_3$). A Portaria MS nº 888/2021 estabelece que o limite máximo permitido para a dureza total em águas potáveis é de 500 $mg.L^{-1}$ de $CaCO_3$ (Brasil, 2011).

A Figura 9 apresenta a distribuição espacial da dureza total da água subterrânea no município de Bom Sucesso. Os resultados indicaram que apenas pequenas porções da zona rural, especialmente nas imediações das comunidades de Serrinha e Boa Vista, apresentaram valores superiores ao limite estabelecido pela legislação.

O aumento da dureza total nessas localidades pode estar associado à composição mineralógica do solo e dos aquíferos. Segundo Ferreira et al. (2007), "as águas subterrâneas em terrenos cristalinos podem apresentar elevada dureza devido à dissolução de minerais como calcita e dolomita". Além disso,

fatores como tempo de residência da água no aquífero e processos de recarga subterrânea também influenciam a variação da dureza total.

Figura 9 - Mapa de estimativa da dureza total da água subterrânea do município de Bom Sucesso.



Fonte: Própria (2018).

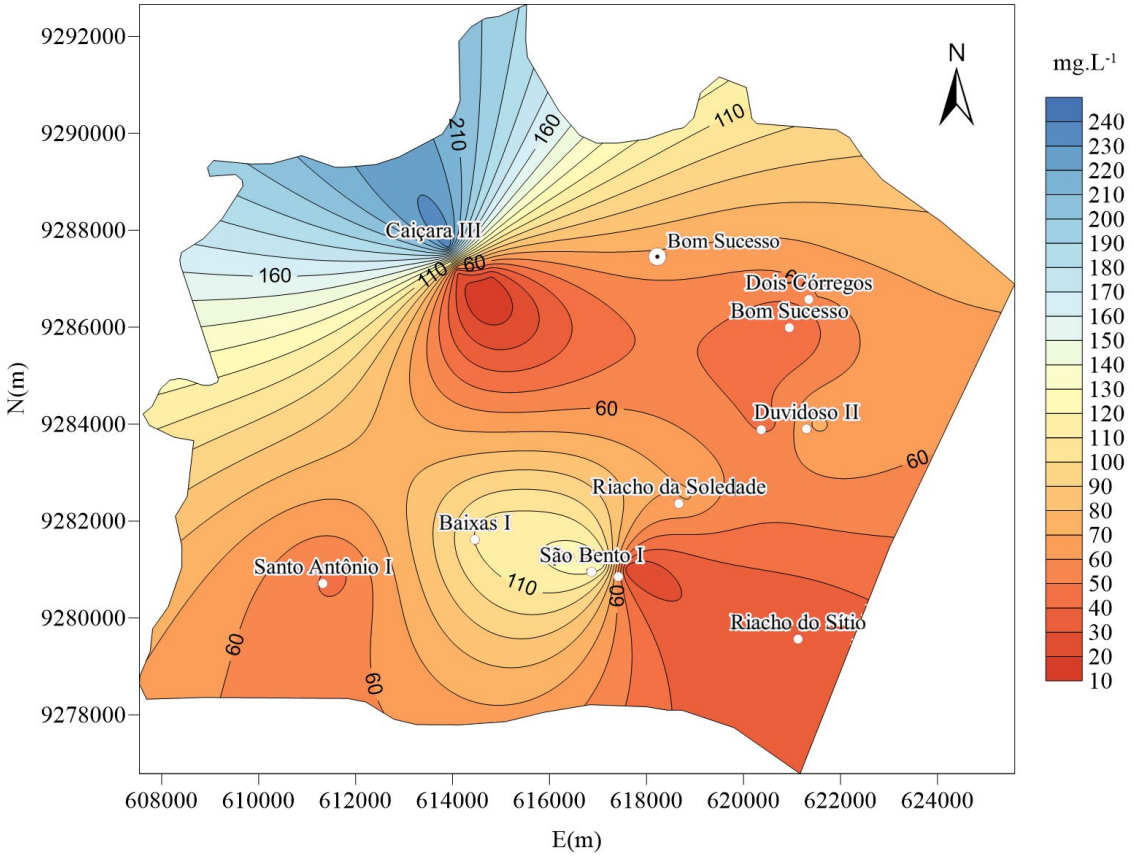
A presença de sódio estequiométrico na água subterrânea é um fator relevante para a qualidade hídrica, especialmente no que se refere ao consumo humano e ao uso agrícola. De acordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, o limite máximo recomendado para o sódio na água potável é de 200 $mg.L^{-1}$ (Brasil, 2011).

A Figura 10 apresenta o mapa de estimativa do sódio estequiométrico na água subterrânea do município de Bom Sucesso. Os resultados indicam que a maior parte do território do município apresenta concentrações dentro dos

limites permitidos, no entanto, pequenas porções da comunidade de Boa Vista registraram valores superiores ao estabelecido pela legislação.

A elevação dos níveis de sódio em determinadas áreas pode estar associada à interação da água subterrânea com formações geológicas ricas em minerais sódicos, bem como a processos naturais de recarga e variações no fluxo subterrâneo. Estudos anteriores indicam que “próximo a essa comunidade há uma transição de formações geológicas da suíte cálcio-alcalina para o complexo Caicó, que são de períodos geológicos distintos (Neoproterozóico e Paleoproterozóico), proporcionando diferentes concentrações de sólidos dissolvidos na água ao longo do tempo” (Ferreira et al., 2007).

Figura 10 - Mapa de estimativa sódio estequiométrico da água subterrânea do município de Bom Sucesso.



Fonte: Elaboração Própria (2018).

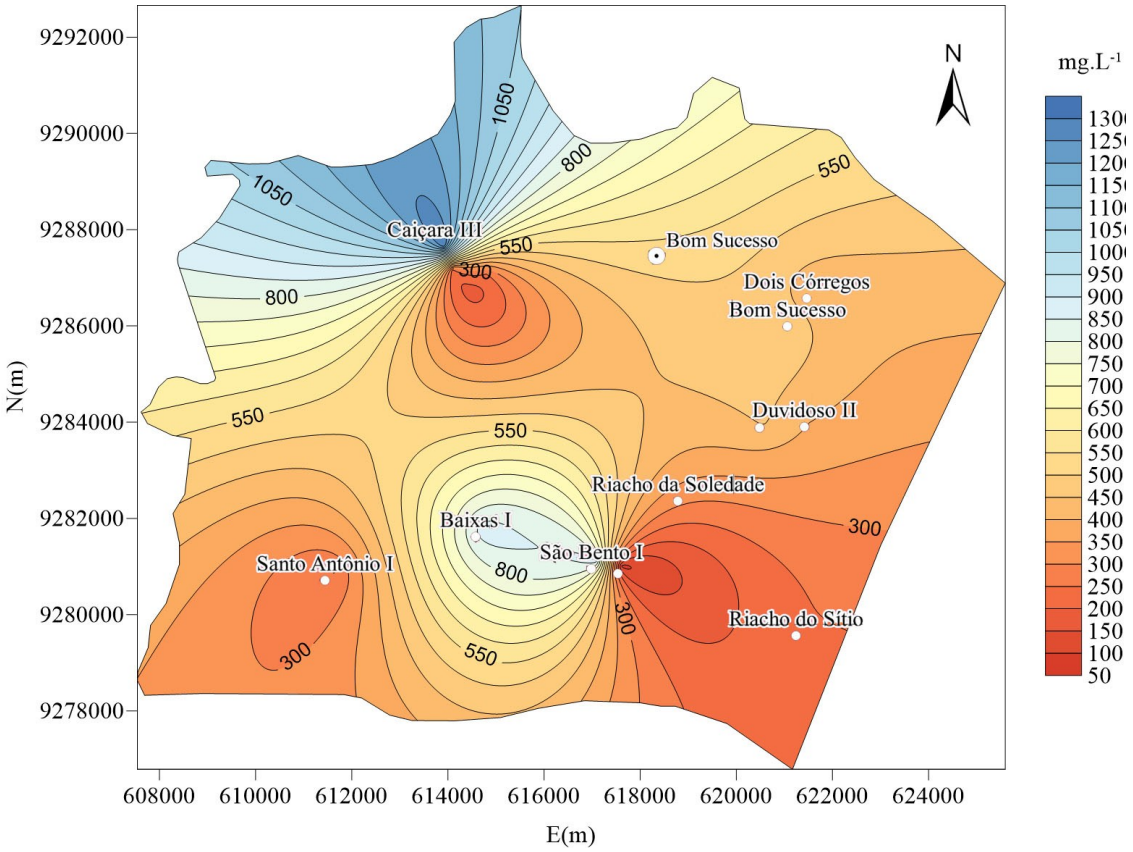
A concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) na água subterrânea é um parâmetro essencial para a avaliação da qualidade hídrica, influenciando tanto o consumo humano quanto o uso agrícola. De acordo com a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, o limite máximo permitido para STD na água potável é de 1000 $mg.L^{-1}$ (Brasil, 2011).

A Figura 11 apresenta o mapa de estimativa dos sólidos totais dissolvidos na água subterrânea do município de Bom Sucesso. Os resultados indicam que a maior parte do território apresenta valores dentro dos limites estabelecidos para consumo humano, no entanto, na comunidade de Caiçara III, os valores ultrapassaram o limite permitido.

A elevação dos níveis de sólidos totais dissolvidos pode estar associada à influência das formações geológicas locais, especialmente nas regiões onde ocorre a transição entre a suíte cálcio-alcalina e o complexo Caicó, formações geológicas que pertencem a períodos distintos (Neoproterozóico e Paleoproterozóico), proporcionando concentrações variáveis de sais dissolvidos na água subterrânea (Ferreira et al., 2007).

Além disso, conforme classificação proposta por Beltrão et al. (2005), observa-se que a maior parte das comunidades amostradas apresenta águas classificadas como doces ($STD < 500\ mg \cdot L^{-1}$), como em Riacho do Sítio, Caiçara II e São Bento II. Por outro lado, comunidades como São Bento I, Baixas I e Caiçara III apresentam características de águas salobras ($500\ mg \cdot L^{-1} < STD < 1500\ mg \cdot L^{-1}$), conforme classificação proposta por Beltrão et al. (2005). A análise não indicou a presença de águas salgadas ($STD > 1500\ mg \cdot L^{-1}$) em nenhuma das áreas estudadas.

Figura 11 - Mapa de estimativa sólidos totais dissolvidos da água subterrânea do município de Bom Sucesso.



Fonte: Elaboração Própria (2018).

A análise integrada da quantidade e qualidade da água subterrânea no município de Bom Sucesso revela implicações práticas significativas para seu uso nas diversas atividades locais. Os dados de vazão indicam que há variações expressivas entre os poços, com destaque para as comunidades de Baixas I, Santo Antônio I e São Bento I, que apresentam maior potencial de exploração hídrica, favorecendo o abastecimento humano e o uso agrícola.

No que tange à qualidade, os parâmetros físico-químicos demonstram que, embora grande parte das amostras esteja dentro dos limites recomendados para o pH, alcalinidade e dureza, algumas localidades apresentam concentrações elevadas de sódio e sólidos totais dissolvidos, como observado em Caiçara III, o que pode comprometer o uso direto para consumo humano e irrigação.

Tais resultados evidenciam a necessidade de monitoramento contínuo, tratamento adequado em pontos críticos e planejamento estratégico para o uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, considerando as especificidades geológicas e hidroclimáticas da região. Nesse contexto, a gestão hídrica em Bom Sucesso requer estratégias integradas que levem em consideração tanto os aspectos ambientais quanto os sociais.

Além de aprimorar a infraestrutura de captação e tratamento, é necessário adotar políticas de reflorestamento em áreas de recarga e incentivar o uso de tecnologias como a dessalinização. A educação ambiental e o engajamento comunitário são igualmente importantes, como reforçado por Souza et al. (2019), para promover a conscientização sobre o uso sustentável dos recursos e fortalecer a resiliência hídrica da região. A articulação entre os dados técnicos obtidos e as ações de gestão participativa constitui um caminho promissor para garantir a segurança hídrica e a qualidade de vida da população local.

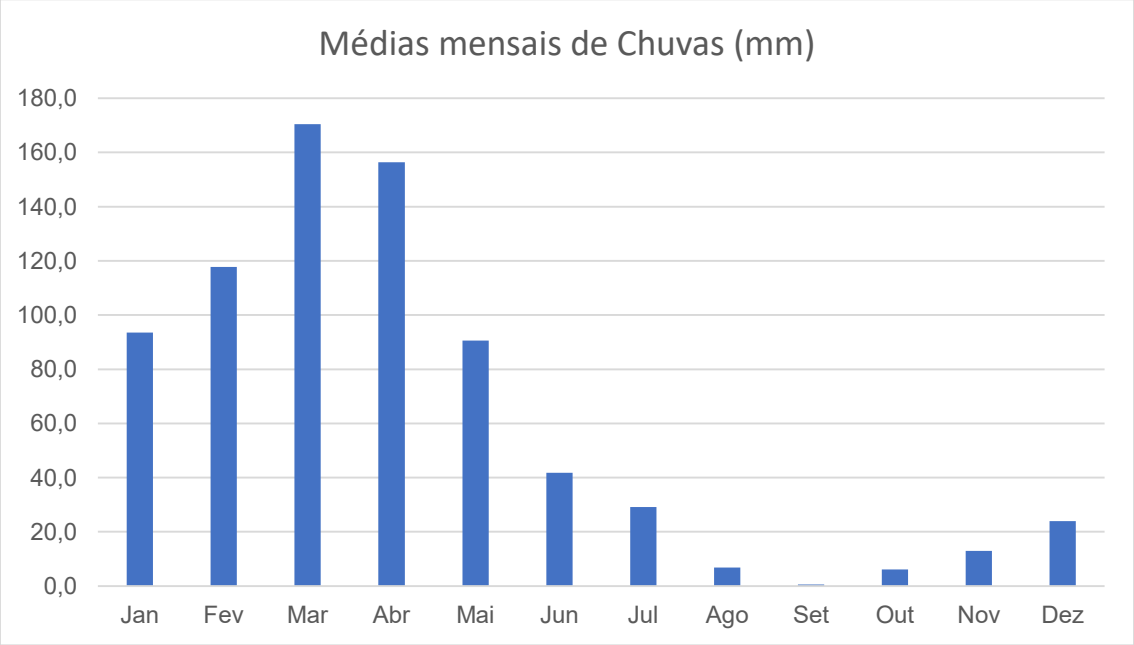
5.2 Variabilidade Anual e Sazonal da Precipitação

Com base em dados de séries históricas pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), referentes ao período de 1994 a 2024, foi possível caracterizar o regime climático do município de Bom Sucesso como fortemente sazonal, com alta variabilidade interanual. Essa caracterização foi fundamentada em parâmetros como: precipitação média anual, desvio padrão das chuvas ao longo dos anos, índice de irregularidade pluviométrica, distribuição mensal da precipitação.

Esses indicadores revelaram padrões típicos do semiárido nordestino, como a concentração de chuvas em poucos meses do ano e longos períodos de estiagem, o que influencia diretamente a dinâmica hídrica local — especialmente no que se refere à recarga dos aquíferos e à disponibilidade de água subterrânea para abastecimento humano e atividades produtivas. A Figura 12 ilustra a distribuição da precipitação média mensal no período analisado, evidenciando uma estação chuvosa bem definida entre fevereiro e maio, com destaque para os meses de março e abril, cujas médias mensais superam 150 mm. Em

contraste, os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram os menores índices pluviométricos, frequentemente inferiores a 15 mm, caracterizando uma estação seca prolongada e crítica para o abastecimento hídrico.

Figura 12 - Gráfico da precipitação média mensal no período analisado para Bom Sucesso



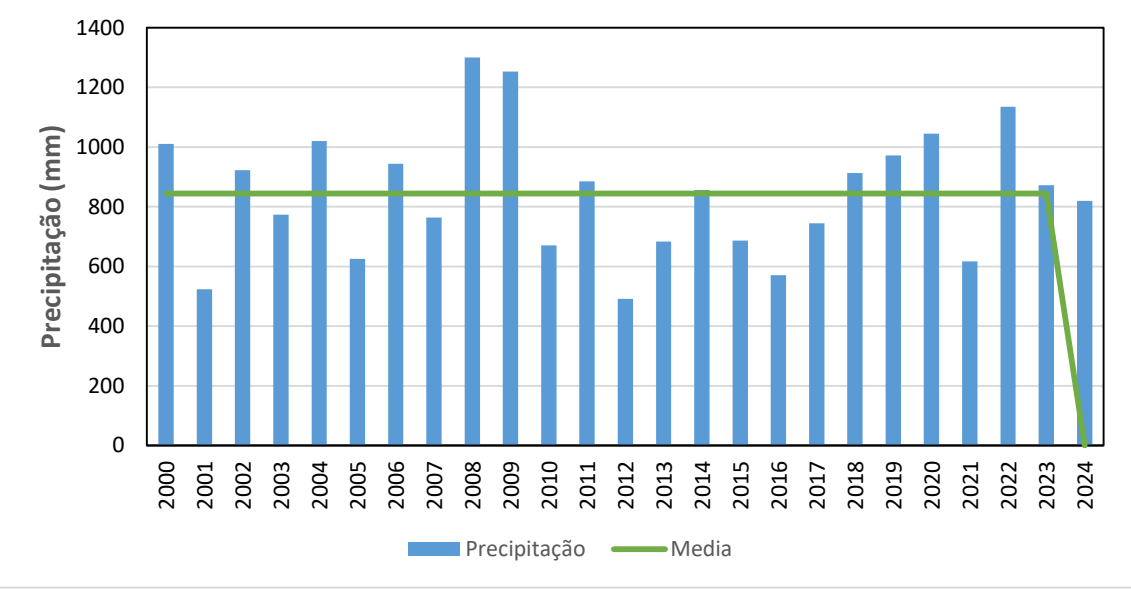
A alternância entre anos extremamente secos, como 1998 (265,2 mm), e anos excepcionalmente úmidos, como 2004 (1.099,3 mm), reforça a instabilidade do regime pluviométrico local. Essa oscilação representa um desafio para o planejamento hídrico, especialmente em comunidades que dependem de fontes subterrâneas para abastecimento humano e atividades produtivas.

A Figura 13 apresenta o gráfico da precipitação média anual no período analisado, evidenciando a expressiva variabilidade interanual das chuvas em Bom Sucesso. Do ponto de vista hidrológico, essa irregularidade repercute diretamente no escoamento superficial e na recarga dos aquíferos fissurais. Em anos mais chuvosos, observa-se recarga significativa, ainda que limitada pelo embasamento cristalino predominante, cuja baixa capacidade de

armazenamento restringe a acumulação de grandes volumes. Por outro lado, em períodos secos prolongados, a diminuição da infiltração agrava a dependência de poços e aumenta a vulnerabilidade à salinização das águas subterrâneas — fenômeno já identificado em algumas amostras analisadas no município.

Essa predominância de chuvas concentradas em um curto intervalo do ano ressalta a importância de ações voltadas à captação, armazenamento e conservação da água durante a estação chuvosa, de forma a garantir disponibilidade mínima durante os meses de estiagem. Além disso, a irregularidade interanual demanda abordagens preventivas, capazes de mitigar os impactos da escassez hídrica sobre a população e os sistemas produtivos locais, fortalecendo a segurança hídrica de Bom Sucesso frente às condições climáticas adversas do semiárido.

Figura 13 - Gráfico da precipitação média anual no período analisado para Bom Sucesso



A análise da série histórica de precipitação anual para o município de Bom Sucesso, no período de 2000 a 2024, revela uma média anual de 840 mm, com desvio absoluto médio de 172,59 mm e desvio padrão de 214,31 mm. Esses indicadores evidenciam uma significativa variabilidade interanual, característica do regime climático semiárido, que influencia diretamente a dinâmica hídrica

local e a recarga dos aquíferos fissurais. A alternância entre anos com precipitação abaixo e acima da média é marcante. Os anos nos quais o índice pluviométrico está abaixo da média incluem 2001, 2003, 2005, 2007, 2010, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017, 2021 e 2024, enquanto os anos mais chuvosos correspondem a 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011, 2014, 2018, 2019, 2020, 2022 e 2023. Essa oscilação reforça a instabilidade do regime pluviométrico, dificultando o planejamento hídrico e aumentando a vulnerabilidade das comunidades rurais que dependem de fontes como o Açude do Carneiro e os poços Amazonas.

Os anos de maior precipitação — notadamente 2008, 2009, 2020 e 2022 — favoreceram a recarga dos aquíferos e o armazenamento em pequenos reservatórios, essenciais para o abastecimento humano e a agricultura de subsistência. Em contrapartida, os anos secos, como 2001, 2012 e 2016, coincidiram com episódios de estiagens prolongadas, que comprometeram a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, intensificaram a salinização das águas e aumentaram a dependência de carros-pipa e sistemas emergenciais de abastecimento.

Essa irregularidade pluviométrica repercute diretamente sobre os problemas hídricos do município, especialmente nas áreas rurais, onde a população depende de açudes, barreiros e cisternas para o consumo doméstico e a dessedentação animal. A concentração das chuvas em poucos meses do ano, aliada à elevada taxa de evaporação, impõe desafios à gestão integrada dos recursos hídricos e à formulação de estratégias de convivência com o semiárido.

Do ponto de vista do planejamento urbano e ambiental, torna-se essencial a adoção de políticas públicas que contemplem tanto a captação e o armazenamento eficiente da água durante os períodos chuvosos quanto o uso racional e o reaproveitamento nos períodos de escassez. A ampliação da infraestrutura hídrica, aliada à educação ambiental e à participação comunitária, constitui um caminho promissor para fortalecer a resiliência hídrica de Bom Sucesso frente às adversidades climáticas.

5.3 A importância da participação comunitária na gestão dos recursos hídricos

A participação comunitária e as políticas públicas desempenham papéis cruciais na gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em regiões vulneráveis como Bom Sucesso, no semiárido paraibano. Nesse contexto, a articulação entre sociedade civil, governo local, instituições acadêmicas e organizações não governamentais configura-se como uma estratégia essencial para enfrentar os desafios relacionados ao acesso e à qualidade da água.

Conforme descrito na metodologia (item 4.5), a análise foi baseada em pesquisa bibliográfica, documental e observações técnicas realizadas ao longo da atuação profissional do autor como engenheiro municipal. Embora inicialmente tenham sido previstas entrevistas semiestruturadas, optou-se por utilizar registros informais e experiências práticas acumuladas durante o acompanhamento de obras de abastecimento e interações com moradores, o que permitiu captar percepções comunitárias de forma espontânea e contextualizada.

Durante esse período, observou-se que a população local participa ativamente da fiscalização do uso da água, especialmente em situações de conflito, como o uso indevido de sistemas destinados ao consumo humano para irrigação. Também foi possível identificar manifestações comunitárias em reuniões públicas e oficinas vinculadas à elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), ainda que de forma não sistematizada. Moradores relataram preocupações com a escassez hídrica, a qualidade da água e a necessidade de maior transparência nas decisões sobre infraestrutura hídrica.

Essas percepções reforçam os apontamentos de Souza et al. (2019), que destacam o engajamento comunitário como elemento central para a construção de soluções adaptadas às realidades locais. Em Bom Sucesso, a presença da comunidade em processos de planejamento, mesmo que informal, contribui para legitimar as ações públicas e fortalecer a corresponsabilidade na gestão dos recursos hídricos.

A gestão participativa está alinhada com os princípios da Lei nº 9.433/1997, que prevê a descentralização das decisões e a inclusão de usuários em comitês e conselhos. No município, ações como reflorestamento de áreas de recarga, proteção de nascentes e incentivo à captação de água da chuva têm contado com apoio técnico da UFCG e envolvimento direto de lideranças locais. A capacitação dessas lideranças, como apontado por Carvalho e Andrade (2020), é essencial para ampliar a autonomia das comunidades na identificação de problemas e proposição de soluções.

Portanto, a discussão sobre a participação comunitária em Bom Sucesso evidencia que, mesmo diante de limitações estruturais e documentais, o envolvimento da população é real e relevante. A valorização dos saberes locais e a integração entre conhecimento técnico e vivência comunitária são fundamentais para promover uma gestão hídrica eficaz e sustentável, capaz de enfrentar os desafios climáticos e sociais do semiárido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da variabilidade da precipitação e da qualidade das águas subterrâneas no município de Bom Sucesso-PB permitiu compreender com maior profundidade os desafios e potencialidades da gestão hídrica em regiões semiáridas. A integração entre dados climáticos, parâmetros físico-químicos e informações espaciais revelou padrões relevantes que influenciam diretamente a disponibilidade e o uso da água no território.

O estudo evidenciou que, embora existam fontes estratégicas como o Açude do Carneiro e os poços, a vulnerabilidade hídrica persiste, especialmente diante da irregularidade das chuvas e da pressão sobre os recursos subterrâneos. A identificação de áreas com maior potencial de recarga, bem como de zonas críticas quanto à qualidade da água, contribui para orientar ações de planejamento e conservação. Apesar dos avanços obtidos, algumas limitações devem ser reconhecidas. O número reduzido de poços analisados e a escassez de séries históricas mais densas restringem a abrangência estatística das conclusões. A ampliação da base de dados, com mais pontos de amostragem e maior frequência de monitoramento, seria essencial para consolidar os resultados e permitir análises mais refinadas.

As propostas delineadas ao longo do trabalho apontam para caminhos possíveis na gestão sustentável dos recursos hídricos, como o fortalecimento da proteção das áreas de recarga, o monitoramento contínuo da qualidade da água e o incentivo ao uso racional por meio de práticas educativas e técnicas. Embora algumas dessas ações já estejam presentes no cotidiano do município, há espaço para aprimoramento e maior articulação entre os diversos atores envolvidos. A experiência profissional do autor no município permitiu observar, ainda que de forma não sistematizada, o envolvimento da população em questões relacionadas ao uso da água. Esse contato direto com a realidade local reforça a importância de incorporar os saberes comunitários e promover espaços de escuta e participação, especialmente em contextos onde a gestão hídrica depende da corresponsabilidade entre poder público e sociedade civil.

Por fim, os métodos e abordagens utilizados neste estudo demonstram potencial de aplicação em outros municípios do semiárido brasileiro, desde que

adaptados às especificidades locais. A combinação entre ferramentas técnicas, conhecimento territorial e sensibilidade social constitui um caminho promissor para fortalecer a segurança hídrica e a resiliência das comunidades frente às mudanças climáticas e à escassez de recursos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas de Abastecimento Urbano de Água**. Brasília, 2020.

ALMEIDA, A. **Poluição e qualidade da água: desafios e soluções**. São Paulo: Editora Ambiente, 2022.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Cadernos de Recursos Hídricos: Gestão de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2020.

ASA – ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Programa Um Milhão de Cisternas** – P1MC.

BELTRÃO, B. A.; SILVA, C. S. S.; MIRANDA, J. L. F. et al. **Diagnóstico ambiental do Estado da Paraíba: enfoque na disponibilidade hídrica superficial**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação das águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Disponível em: https://www.gov.br. Acesso em: 21 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1997.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 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 União**, Brasília, 2011.

BRITO, C.S.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; BRASIL NETO, R.M.; COELHO, V.H.R. Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil. **Atmospheric Research**, v. 250, p. 105380, 2021.

BRITO, H. C.; RUFINO, I. A. A. O desafio da sustentabilidade hídrica no semiárido brasileiro. **Revista DAE**, n. 237, p. 43–57, 2023.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society ofAmericaJournal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, F. S.; ANDRADE, L. S. Políticas públicas para a gestão integrada de recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Revista de Políticas Públicas e Gestão Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 112-130, 2020.

CARVALHO, J. **Governança e participação social na gestão hídrica**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2021.

CARVALHO, M. L.; ANDRADE, R. S. Capacitação comunitária e gestão hídrica no semiárido brasileiro. **Gestão e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 32-48, 2020.

CAVALCANTI, J. R.; BARBOSA, C. M.; ALMEIDA, F. N. Participação social na gestão hídrica: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Políticas Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 56-72, 2017.

CIRILO, J. A. Políticas públicas para recursos hídricos no semiárido brasileiro. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2010. p. 453-470.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução nº 145, de 2012. **Estabelece diretrizes gerais para a elaboração de planos de recursos hídricos**. Brasília, DF: CNRH, 2012.

COSTA, M. B.; MOURA, R. S. **Governança adaptativa e segurança hídrica em contexto de mudanças climáticas no semiárido nordestino**. Mercator, Fortaleza, v. 20, e20012, 2021.

DANTAS, J.C.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G. Drought impacts, social organization and public policies in northeastern Brazil: A case study of the Upper Paraíba River basin. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, p. 317, 2020.

FERNANDES, M. **Cooperação internacional e gestão de recursos hídricos transfronteiriços.** Brasília: IPEA, 2020.

FERREIRA, A. D.; LIMA, J. R. de S.; SILVA, E. L. de C. Recursos hídricos em aquíferos fissurais do semiárido brasileiro. **Revista de Geociências**, v. 26, n. 1, p. 1-14, 2007.

FUNASA. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAs**. 4. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2014.

GOMES, L. **Mudanças climáticas e disponibilidade hídrica.** Belo Horizonte: UFMG, 2017.

GREGÓ, C. R.; OLIVEIRA, S. R. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na avaliação da variabilidade espacial de atributos do solo. **Ciência Rural**, v. 40, n. 2, p. 291-296, 2014.

GURIA, R.; MISHRA, M.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.C.; SANTOS, C.A.G. Multisensor Integrated Drought Severity Index (IDSI) for assessing agricultural drought in Odisha, India. **Remote Sensing Applications-Society and Environment**, v. 37, p. 101399, 2025.

INSA – INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Projetos e tecnologias sociais no Semiárido Paraibano**. Campina Grande: INSA, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e estados: Bom Sucesso-PB.** Estimativas populacionais. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 21 nov. 2024.

LIMA, A. B.; BRAGA, A.; COSTA, J. M.; NASCIMENTO, R. F. Desafios e soluções na gestão sustentável dos recursos hídricos em zonas áridas e semiáridas. **IOSR Journal of Business and Management**, v. 27, n. 1, p. 01–12, 2025.

LIMA, C. E. S. ; COSTA, V. S. O. ; GALVINCIO, J. D. ; SILVA, R. M. ; SANTOS, CELSO A. G. Assessment of automated evapotranspiration estimates obtained using the GP-SEBAL algorithm for dry forest vegetation (Caatinga) and agricultural areas in the Brazilian semiarid region. **Agricultural Water Management**, v. 250, p. 106863, 2021.

LIMA, F. A.; PEREIRA, D. M.; OLIVEIRA, R. T. Tecnologias sociais e políticas públicas no semiárido: um estudo sobre o acesso à água em comunidades rurais. **Revista de Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 12-28, 2018.

LUCENA, F. G. Território, água e participação social: desafios para o planejamento da gestão integrada dos recursos hídricos no semiárido de Pernambuco. 2021. **Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco**, Recife.

MENDES, R**. Instrumentos legais e gestão sustentável da água no Brasil.** Curitiba: UFPR, 2018.

OLIVEIRA, L.C.; SANTOS, C.A.G.; FARIAS, C.A.S.; SILVA, R. M.; SINGH, V. P. **Predicting groundwater levels in Ogallala aquifer wells using hierarchical cluster analysis and artificial neural networks**. Journal of Hydrologic Engineering, v. 28, p. 1-14, 2023.

OLIVEIRA, P**. Infraestrutura e acesso à água e saneamento no Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2019.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Relatório de avaliação sobre impactos e vulnerabilidades**. Brasília, 2017.

PARAÍBA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PERH-PB)**. João Pessoa: AESA, 2011. Aprovado pela Resolução CERH nº 13, de 13 de junho de 2011.

PARAÍBA. Lei nº 6.308, de 2 de julho de 1996. **Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Diário Oficial do Estado da Paraíba, João Pessoa, 3 jul. 1996.

REBOUÇAS, A. C. **Águas subterrâneas no Brasil: usos, desafios e gestão sustentável**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

REBOUÇAS, A. da C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez. Estudos Avançados**, São Paulo, v. 39, n. 113, p. 283–302, maio/ago. 2025. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/VfYSXjpmCS9KsT4HWnsMJgy/?format=pdf. Acesso em: 4 set. 2025.

RODRIGUES, T. **Educação ambiental e gestão dos recursos hídricos.** Florianópolis: UFSC, 2021.

SANTOS, F. **Escassez e disponibilidade de água: um desafio global.** Salvador: EDUFBA, 2021.

SBAN – Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição. **Água, hidratação e saúde**. São Paulo: SBAN, 2010. Disponível em: http://www.sban.org.br/arquivos/agua-hidratacao-saude.pdf. Acesso em: 4 set. 2025.

SILVA, C. **Eficiência no uso da água e sustentabilidade**. Recife: UFPE, 2020.

SILVA, E. L.; SANTOS, A. R.; COSTA, P. F. Infraestrutura hídrica e desigualdades no semiárido brasileiro. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 3, p. 102-118, 2018a.

SILVA, G. F.; OLIVEIRA, T. P.; FERREIRA, A. C. Estratégias de gestão participativa para a conservação dos recursos hídricos em áreas de vulnerabilidade climática. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 22, n. 1, p. 72-85, 2018a.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; MARANHÃO, K.U.A.; SILVA, A.M.; LIMA, V.R.P. Geospatial assessment of eco-environmental changes in desertification area of the Brazilian semi-arid region. **Earth Sciences Research Journal**, v. 22, p. 175-186, 2018b.

SOUZA, E. F.; PEREIRA, L. M.; NASCIMENTO, R. S. Estratégias participativas para a resiliência hídrica em comunidades rurais. **Revista de Políticas Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 78-92, 2019.

SOUZA, M. L.; ALMEIDA, P. R.; SANTOS, V. C. Resiliência hídrica no semiárido: práticas integradas para o uso sustentável da água. **Cadernos de Sustentabilidade e Desenvolvimento**, v. 15, n. 4, p. 201-217, 2019.

TÔRRES, L. M. G.; PEIXOTO, F. S.; CASTRO, S. S. L.; SILVA, R. M.; SANTOS, CELSO A. G. Impact of land use and cover on groundwater quality: Challenges of scarcity and contamination for water management in Brazilian semi-arid cities. Mercator, v. 24, p. 1, 2025.

TUNDISI, J. G. **Águas do Brasil: análise estratégica**. São Carlos: Rima, 2013.

VIANA, J.F.S.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; DA SILVA, B.B.; DA SILVA, R.M.; SRINIVASAN, R.; SANTOS, C.A.G.; ARAUJO, D.C.S.; TAVARES, C.G. Evaluation of gridded meteorological datasets and their potential hydrological application to a humid area with scarce data for Pirapama River basin, northeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 145, p. 393-410, 2021.

XAVIER, P. C. D.; SILVA, R. M.; XAVIER, R. A.; BORGES NETO, I. O.; SOUZA, J.O.P. Análise do regime fluvial do Alto Rio Paraíba no semiárido paraibano. **Caminhos de Geografia**, v. 25, p. 183-200, 2024.

BROWN, R. A. Conservação e uso racional da água: novos hábitos para sustentabilidade. In: **Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, 2016. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/152213.pdf. Acesso em: 27 out. 2025.