



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**PROGNÓSTICO AMBIENTAL DOS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO
E EXPLORAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO PARQUE DAS
ÁGUAS MINERAIS SALUTARIS - RJ**

Agatha Martins Chagas de Mattos Miguel

ORIENTADOR: Prof^a. Dr^a. Olga Venimar de Oliveira Gomes

CO-ORIENTADOR: Prof^a. Dr^a. Erika Cortines

**TRÊS RIOS - RJ
JULHO – 2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**PROGNÓSTICO AMBIENTAL DOS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO E
EXPLORAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO PARQUE DAS
ÁGUAS MINERAIS SALUTARIS - RJ**

Agatha Martins Chagas de Mattos Miguel

Monografia apresentada ao curso de Gestão Ambiental,
como requisito parcial para obtenção do título de bacharel
em Gestão Ambiental da UFRRJ, Instituto Três Rios da
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**TRÊS RIOS – RJ
JULHO – 2024**

Miguel, Agatha Martins Chagas de Mattos, 2024-

Prognóstico ambiental dos impactos da urbanização e exploração das águas subterrâneas do Parque das Águas Minerais Salutaris - RJ / Agatha Martins Chagas de Mattos Miguel. - 2024.

55f. : grafs., tabs, quads.

Orientadora: Olga Venimar de Oliveira Gomes.

Monografia (bacharelado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios.

Bibliografia: f. 46-52.

1. Águas minerais, Escassez hídrica, Impactos às águas subterrâneas, Superexploração.– Monografia. I. Gomes, Olga Venimar de Oliveira. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto Três Rios. III.

Prognóstico ambiental dos impactos da urbanização e exploração das águas subterrâneas do Parque das Águas Minerais Salutaris- RJ.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA

**PROGNÓSTICO AMBIENTAL DOS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO E
EXPLORAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO PARQUE DAS
ÁGUAS MINERAIS SALUTARIS - RJ**

Agatha Martins Chagas de Mattos Miguel

Monografia apresentada ao Curso de Gestão Ambiental
como pré-requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Gestão Ambiental da Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios da
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Aprovada em 17/07/2024

Banca examinadora:

Olga Venimar de Oliveira Gomes
Prof. Orientador

Erika Cortines
Prof. Co-orientador

Fábio Souto de Almeida
Prof. Dr. em Ciências Ambientais e Florestais

Yasmin Martins de Albuquerque
Gestora Ambiental, Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos -
Prof. Água

TRÊS RIOS - RJ
JULHO – 2024

“Dedico este trabalho aos meus pais, que sob muito sol, fizeram-me
chegar até aqui, na sombra.”

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, pois sem a sua vontade, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Joana Catarine e Gilcimar, que forneceram o suporte necessário ao longo dessa jornada.

À minha irmã, Tábatha, que me inspira a crescer como pessoa diariamente.

À Tânia, e ao Daniel, cujos conselhos foram fundamentais para minha escolha pelo curso de Gestão Ambiental.

Às minhas amigas, Ana Carolina e Maria Eduarda, que têm sido meu apoio desde 2019, agradeço por estarem ao meu lado em cada etapa da graduação.

À minha orientadora, Olga Gomes, pelo constante apoio e contribuições neste trabalho e a Erika Cortines, minha coorientadora, pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para minha conclusão desta graduação, seja através de ensinamentos ou apoio prático. Aos meus colegas da SMADA, pelo auxílio na escolha do tema desta monografia e por serem essenciais nesta etapa da minha vida.

E, por fim, ao meu companheiro, amigo e amor, Anthony Ramos, por seu incentivo contínuo, assistência em momentos difíceis, paciência e compreensão ao longo desta jornada acadêmica.

“Enquanto o poço não seca, não sabemos dar valor à água.”
(Thomas Fuller)

RESUMO

A contaminação das águas subterrâneas é um processo difícil de reverter, uma vez que os aquíferos tendem a reter os contaminantes por um longo tempo. O prognóstico ambiental no Parque das Águas Minerais Salutaris é fundamental para viabilizar uma gestão sustentável, com o intuito de prevenir e mitigar possíveis impactos ambientais adversos, que possam afetar a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas exploradas na cidade de Paraíba do Sul - RJ. Diante disso, este estudo objetivou conduzir uma análise prognóstica dos potenciais impactos ambientais que possam interferir na qualidade das águas do Parque Salutaris, localizado na região Centro-Sul Fluminense. Durante a execução deste estudo, foram realizados levantamentos de dados secundários abrangentes, que incluíram fontes como livros, artigos e outros trabalhos científicos. As atividades de levantamento de dados abrangeram pesquisas de mapeamento local, determinação do raio de influência das atividades humanas, levantamento hidrogeológico local, avaliação das características socioeconômicas da área de estudo e aplicação de questionários para pessoas que possuem ou possuíram vínculo profissional com o parque e que detêm conhecimentos pertinentes à pesquisa. A análise das características socioeconômicas da região proporcionou uma compreensão sobre os aspectos demográficos, econômicos e culturais que podem influenciar as pressões ambientais e os padrões de uso da terra na área de estudo. A análise das águas no Parque Salutaris identificou inconformidades nas amostras coletadas para análises microbiológicas. Vale ressaltar que análises de metais, semimetais, compostos nitrogenados, fosfatados e outros compostos orgânicos e organoclorados não foram realizadas. Do ponto de vista da fonte de contaminação dessas águas, acredita-se que sejam fontes diversas, como o sumidouro adjacente ao banheiro principal do parque, considerando sua proximidade com os poços em operação, especialmente o Poço Nilo Peçanha. Outra fonte potencial de contaminação é o córrego que passa adjacente ao Parque, onde os efluentes domésticos do bairro homônimo são despejados sem o devido tratamento, contrariando a legislação brasileira. E também leva-se em consideração a quantidade de cachorros abandonados no parque, aumentando patógenos no solo. No que diz respeito a fossa sumidouro dos banheiros e ao descarte inadequado dos efluentes no córrego que perpassa pelo parque, essas fontes potenciais de poluição dos aquíferos precisam ser extintas do Parque Salutaris, reforçando a necessidade de sistemas de coleta e tratamento de esgotos eficientes, a ser efetivado no local e arredores. A permanência de animais domésticos, como cachorros, na área do parque deve ser proibida e fiscalizada constantemente. Como outras ações a serem implantadas, ressalta-se um monitoramento detalhado da qualidade das águas do Parque Salutaris, considerando a lista de possíveis contaminantes da Portaria GM/MS 888/21, a fim de fornecer informações mais específicas na identificação de outros possíveis contaminantes e fatores que impactam a qualidade das suas águas, bem como o estabelecimento de zonas de proteção dos poços. Após essa análise, uma frequência de monitoramento de substâncias de interesse deve ser estabelecida e assegurada. Recomenda-se ainda a preservação das áreas de recarga subterrânea, que desempenham um papel fundamental na salvaguarda da quantidade e qualidade das águas infiltradas. Da mesma forma, a proteção das nascentes, em conformidade com as Áreas de Proteção Permanente, constitui uma importante vertente a ser considerada na gestão de ecossistemas aquáticos e hidrológicos. Há uma preocupação em relação à exploração desses aquíferos, pois um grande número de poços opera de forma contínua e muito próxima, sem regulamentação, fatores que podem já estar provocando um rebaixamento insustentável dos níveis das águas subterrâneas e que necessitam de estudos hidrodinâmicos para sua preservação.

Palavras-chave: Águas minerais, Escassez hídrica, Impactos às águas subterrâneas, Superexploração.

ABSTRACT

Groundwater contamination is a difficult process to reverse, since aquifers tend to retain contaminants for a long time. The environmental prognosis in the Parque das Águas Minerais Salutaris is essential to enable sustainable management, in order to prevent and mitigate possible adverse environmental impacts, which may affect the quality and quantity of groundwater exploited in the city of Paraíba do Sul - RJ. Therefore, this study aimed to conduct a prognostic analysis of the potential environmental impacts that may interfere with the water quality of the Salutaris Park, located in the south-central region of Rio de Janeiro. During the execution of this study, comprehensive secondary data surveys were carried out, which included sources such as books, articles and scientific papers. The data collection activities included local mapping surveys, determination of the radius of influence of human activities, local hydrogeological survey, evaluation of the socioeconomic characteristics of the study area and application of questionnaires to people who have or had a professional relationship with the park and who have knowledge pertinent to the research. The analysis of the socioeconomic characteristics of the region provided an understanding of the demographic, economic and cultural aspects that can influence environmental pressures and land use patterns in the study area. The analysis of the waters in the Salutaris Park identified non-conformities in the samples collected for microbiological analysis. It is noteworthy that analyses of metals, semimetals, nitrogenous compounds, phosphates and other organic and organochlorine compounds were not performed. From the point of view of the source of contamination of these waters, it is believed that they are various sources, such as the sinkhole adjacent to the main bathroom of the park, considering its proximity to the wells in operation, especially the Nilo Peçanha Well. Another potential source of contamination is the stream that passes adjacent to the Park, where domestic effluents from the homonymous neighborhood are discharged without proper treatment, contrary to Brazilian legislation. And it also takes into account the number of abandoned dogs in the park, increasing pathogens in the soil. With regard to the sinkhole pit of the toilets and the inadequate disposal of effluents in the stream that runs through the park, these potential sources of aquifer pollution need to be extinguished from the Salutaris Park, reinforcing the need for efficient sewage collection and treatment systems, to be implemented in the place and surroundings. The permanence of domestic animals, such as dogs, in the park area must be prohibited and constantly monitored. As other actions to be implemented, a detailed monitoring of the water quality of Parque Salutaris is highlighted, considering the list of possible contaminants in Ordinance GM/MS 888/21, in order to provide more specific information in the identification of other possible contaminants and factors that impact the quality of its waters, as well as the establishment of well protection zones. After this analysis, a frequency of monitoring of substances of interest should be established and ensured. It is also recommended to preserve underground recharge areas, which play a fundamental role in safeguarding the quantity and quality of infiltrated water. Likewise, the protection of springs, in accordance with the Permanent Protection Areas, is an important aspect to be considered in the management of aquatic and hydrological ecosystems. There is a concern regarding the exploitation of these aquifers, as a large number of wells operate continuously and very closely, without regulation, factors that may already be causing an unsustainable lowering of groundwater levels and that require hydrodynamic studies for their preservation.

Keywords: Mineral waters, Water scarcity, Impacts on groundwater, Overexploitation.

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

	ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
	ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
	APA - Área de Proteção Ambiental
	CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
	CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
	CPFL Energia - Companhia Paulista de Força e Luz
	CPRM - Serviço Geológico do Brasil
	DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
	DRM - Departamento de Recursos Minerais
	EIA – Estudo de Impacto Ambiental
	EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
	ETE - Estação de Tratamento de Efluentes
	FCPS – Fundação Cultural de Paraíba do Sul
	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
	IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
	INEA - Instituto Estadual do Ambiente
	INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
	PIB - Produto Interno Bruto
Sul	PMGIRS PS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Paraíba do Sul
	PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico
	PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
	SEMAR PI - Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí
	UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes tipos de aquíferos subterrâneos: poroso, fissural e cárstico.....	19
Figura 2. Fonte denominada de “Arraial dos Sapos”, a primeira fonte de água do Parque Salutaris Município de Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro.....	27
Figura 3. Fonte denominada de “Arraial dos Sapos”, a primeira fonte de água do Parque Salutaris Município de Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro.....	27
Figura 4. Localização do município de Paraíba do Sul no estado do Rio de Janeiro.....	28
Figura 5. Hidrografia do Município de Paraíba do Sul.....	29
Figura 6. Mapeamento de solos no município de Paraíba do Sul.....	30
Figura 7. Mapa geológico da área de estudo.....	31
Figura 8. Localização do Parque Salutaris no município de Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro.....	33
Figura 9. Demonstrativo das principais atividades que culminaram a análise.....	34
Figura 10. Delimitação do Parque Salutaris com identificação dos três poços, a gruta existente no parque, a nascente dos Sapos e os banheiros.....	36
Figuras 11. O despejo de efluentes domésticos no córrego, que está assoreado e apresenta acúmulo de resíduos sólidos e vegetação densa próximo ao Parque Salutaris, município de Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro.....	42
Figuras 12. O despejo de efluentes domésticos no córrego, que está assoreado e apresenta acúmulo de resíduos sólidos e vegetação densa próximo ao Parque Salutaris, município de Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro.....	42
Figuras 13. Infraestrutura de encanamento coletor incipiente das casas onde os efluentes gerados são lançados diretamente no córrego sem qualquer tratamento prévio, próximo ao Parque Salutaris, município de Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro.....	42
Figuras 14. Infraestrutura de encanamento coletor incipiente das casas onde os efluentes gerados são lançados diretamente no córrego sem qualquer tratamento prévio, próximo ao Parque Salutaris, município de Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro.....	42
Figura 15. Banheiros localizados a, aproximadamente, 50m do Poço Nilo Peçanha, onde o sumidouro foi instalado ao lado.....	43
Figura 16. Imagem demonstrativa de como pode ocorrer uma contaminação do lençol freático por problemas em fossas negras.	43
Figuras 17. Urbanização que impacta diretamente na proximidade do lançamento de efluentes em áreas adjacentes ao parque.....	44
Figuras 18. Urbanização que impacta diretamente na proximidade do lançamento de efluentes em áreas adjacentes ao parque.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise dos parâmetros de potabilidade da água dos poços do Parque Salutaris.....	38
Tabela 2. Principais zonas utilizadas em áreas de proteção de poços.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Descrição das características de cada poço e da gruta do Parque Salutaris, Paraíba do Sul - RJ com suas coordenadas geográficas.....	35
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO GERAL	16
1.1.1. Objetivos Específicos	16
2. REVISÃO TEÓRICA	17
2.1. PROGNÓSTICO AMBIENTAL	17
2.2. ÁGUA SUBTERRÂNEA, AQUÍFEROS E ÁGUA MINERAL	18
2.2.1. Aquífero Fissural	18
2.3. IMPORTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA COMO RECURSO HÍDRICO	20
2.4. LEGISLAÇÃO	20
2.4.1. Outorga e cobrança	22
2.5. PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO	23
2.6. PRINCIPAIS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	24
2.7. PRINCIPAIS IMPACTOS DA SUPEREXPLORAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	25
2.8. HISTÓRICO DAS ÁGUAS MINERAIS DO PARQUE SALUTARIS	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1. ÁREA DE ESTUDO	27
3.2. ANÁLISE SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. APRESENTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RECONHECIDAMENTE EXPLORADAS NO PARQUE SALUTARIS	35
4.2. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO P. SALUTARIS	37
4.3. AVANÇO DA URBANIZAÇÃO LÍMITROFE AO PARQUE SALUTARIS	41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
6. REFERÊNCIAS	49
7. APÊNDICES	57
APÊNDICE I	58
APÊNDICE II	60

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional nas áreas urbanas, aliado à conversão de áreas florestais para agricultura ou pecuária, tem contribuído significativamente para a degradação da qualidade da água globalmente (Mello *et al.* 2020). Essa transformação resulta em um aumento dos extremos hidrológicos, como enchentes e secas, que afetam especialmente as populações localizadas nas periferias das grandes metrópoles. O aumento da demanda por água devido ao crescimento populacional resulta na geração de grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos. Além disso, a redução das áreas florestais impacta diretamente na evapotranspiração, diminuindo a transpiração vegetal que contribui para a manutenção da água na atmosfera (Lima 2008).

O mau uso dos recursos hídricos é caracterizado por práticas excessivas, inadequadas e irresponsáveis, resultando na degradação desses recursos. Isso pode levar à redução do volume ou esgotamento dos aquíferos subterrâneos, assim como dos estoques de água em lagos e rios (ABAS 2016). A gestão da água subterrânea é crucial, pois uma parcela significativa da população global depende dela para seu abastecimento. Além do risco de esgotamento, os aquíferos também estão sujeitos à contaminação por diversos poluentes de origem industrial, agrícola e doméstica (Costa & Santos 2000). Existem várias fontes de poluição antropogênica das águas subterrâneas, muitas das quais estão localizadas na superfície terrestre ou em suas proximidades. No entanto, algumas fontes injetam poluentes diretamente na subsuperfície a profundidades maiores. A poluição agrícola é uma fonte difusa generalizada, frequentemente contendo altas concentrações de nitrato, pesticidas e outros agroquímicos. A contaminação das águas subterrâneas é um processo praticamente irreversível a curto prazo, uma vez que as zonas de aquífero tendem a manter a água contaminada após a contaminação inicial. Dada a crescente escassez de água em muitas partes do mundo, a importância da água subterrânea e a necessidade de sua gestão cuidadosa é cada vez mais evidente (UNESCO 2022).

A primeira fonte hidromineral do Estado do Rio de Janeiro foi descoberta em 1887, localizada no município de Paraíba do Sul. Essa água, classificada como Bicarbonatada-Sódica Alcalina, ficou conhecida como "Salutar" e foi comercializada desde 1898 sob a marca "Salutaris". Em 1941, foi estabelecido um complexo composto por um hotel e uma área de lazer no local. (Martins *et al.* 2006). Em 1942, a antiga fábrica de águas minerais Salutaris foi adquirida pelo Dr. Célio da Gama Cruz e sua família. Sob sua administração, foram realizadas importantes melhorias, incluindo a criação oficial do Parque Salutaris. Foram realizadas intervenções como o ajardinamento dos terrenos ao redor das fontes, que foram canalizadas

para um pavilhão central no parque, tornando-as mais acessíveis e atraentes para os visitantes. Essas iniciativas levaram Paraíba do Sul a integrar o circuito das Estâncias Hidrominerais, impulsionando o turismo e o desenvolvimento econômico da cidade. Como resultado, as águas Salutaris se tornaram um símbolo de Paraíba do Sul, sendo conhecida como "A rainha das águas minerais" (Daniel 2020).

Atualmente, na área de estudo, existem dois poços ativos de águas subterrâneas que abastecem três fontes. O poço associado à Fonte Alexandre Abrahão, cuja água é utilizada para serviços gerais do parque, não é utilizada no fontanário. A Fonte Nilo Peçanha, caracterizada genericamente como água alcalina, é utilizada para consumo, assim como a Fonte Maria Rita, cuja água é caracterizada como magnesiana. Cada uma dessas fontes apresenta características específicas de composição química e propriedades, proporcionando diferentes benefícios potenciais para os usuários (Rodrigues 2014).

A análise da ambiência local por meio de prognósticos socioeconômicos e ambientais visa a incorporação de práticas de desenvolvimento sustentável para gerenciar a urbanização da região. Isso inclui padrões de desenvolvimento sustentável que visa diminuir a pressão populacional sobre os recursos naturais, enquanto transita para gestão ambiental inovadora, que busca preservar a diversidade social e biológica da área (Costa *et al.* 2018).

O prognóstico ambiental no Parque Salutaris é fundamental para viabilizar uma gestão sustentável, com o intuito de mitigar e remediar possíveis impactos ambientais adversos que possam afetar a qualidade das águas subterrâneas. Essa abordagem visa garantir a conservação desses recursos em longo prazo. Além disso, as propostas de ações contribuem significativamente para a preservação do ecossistema local, bem como para a sustentabilidade econômica da região. Por meio da manutenção do funcionamento do fontanário do parque, o prognóstico ambiental desempenha um papel importante na atração de turistas para a cidade de Paraíba do Sul, promovendo o turismo ecológico e, conseqüentemente, gerando benefícios econômicos para a comunidade local. Ademais, ao fornecer informações detalhadas sobre a situação das águas do parque, o prognóstico facilita o cumprimento das regulamentações ambientais vigentes. Isso permite que a administração do parque opere em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, garantindo a proteção dos recursos naturais e a manutenção de um ambiente saudável.

A compreensão da qualidade dessas águas, bem como o seu monitoramento e gestão ambiental, associados a criação deste estudo fornecerão subsídios para a preservação dessa área de grande valor ambiental e social.

1.1. OBJETIVO GERAL

Conduzir uma análise prognóstica dos potenciais impactos ambientais que possam interferir na qualidade das águas do Parque Salutaris.

1.1.1. Objetivos Específicos

- Levantar dados sobre a dinâmica da exploração das águas subterrâneas no Parque Salutaris;
- Verificar a evolução da qualidade das águas subterrâneas no Parque Salutaris;
- Avaliar a urbanização ao redor do Parque Salutaris nos últimos 13 anos;
- Formular estratégias de gestão ambiental no Parque Salutaris.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. PROGNÓSTICO AMBIENTAL

Prognóstico é uma avaliação prospectiva fundamentada em evidências factuais e dados contemporâneos, visando prever o desdobramento provável de um processo futuro (CPFL Energia 2020). Em essência, o prognóstico representa uma hipótese ou probabilidade embasada nas condições observadas no momento presente. O prognóstico ambiental visa antecipar e descrever os possíveis efeitos sobre várias perspectivas ambientais, avaliando suas magnitudes por meio de metodologias específicas, com o propósito de interpretar e estabelecer a relevância de cada impacto potencial em relação aos elementos ambientais afetados (DNIT 2006). Além disso, busca-se avaliar a importância relativa de cada impacto em comparação com os demais, a fim de propor medidas de mitigação, compensação e programas de monitoramento ambiental. Elaborar um prognóstico implica na formulação de um conjunto de estratégias para alcançar os resultados desejados em um processo, que foi iniciado a partir do diagnóstico de situações-problema específicas.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 001, de 23.01.1986, considera-se impacto ambiental:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais.

O prognóstico ambiental é uma metodologia de previsão dos impactos ambientais futuros resultantes de atividades humanas, eventos naturais ou mudanças climáticas. Este processo envolve a coleta, análise e interpretação de dados provenientes de diversas fontes (SEMAR PI 2023). Isso inclui dados históricos, modelos e simulações para estimar cenários ambientais, Estudos de Impacto Ambiental (EIA) para avaliar possíveis impactos, monitoramento ambiental, pesquisas científicas e consultas públicas. A integração dessas fontes de informação possibilita a avaliação dos impactos ambientais potenciais, identificação de medidas de mitigação e adaptação, bem como o desenvolvimento de estratégias de gestão para promover a sustentabilidade e a conservação do meio ambiente (INPA 2008).

2.2. ÁGUA SUBTERRÂNEA, AQUÍFEROS E ÁGUA MINERAL

Segundo Hirata *et al.* (2019), as águas subterrâneas referem-se às encontradas abaixo da superfície terrestre, estas são armazenadas em espaços porosos entre rochas e sedimentos ou

em fraturas, falhas e fissuras de rochas compactadas formando assim, os aquíferos. Estes são de extrema relevância para os recursos hídricos, detendo mais de 90% da água doce disponível globalmente. A distribuição das águas subterrâneas possui cerca de 10.360.230 km³ e são aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais dos rios e lagos, com 92.168 km³, segundo a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (2016).

Um aquífero é uma formação geológica do subsolo composta por rochas permeáveis que retêm água em seus poros ou fraturas. A água subterrânea fica armazenada em espaços abertos e fraturas dentro das formações geológicas abaixo da superfície terrestre, denominadas aquíferos (Lehr *et al.* 2005). Os sistemas aquíferos do Brasil atuam como reservatórios de excedentes hídricos significativos, os quais alimentam uma das maiores redes de rios perenes do mundo, com exceção dos rios temporários originados nas áreas rochosas do embasamento geológico subaflorante do semiárido nordestino (Rebouças *et al.* 2002).

Segundo o Código de Águas Minerais (Decreto-Lei nº 7.841, de 08 de agosto de 1945) em seu Art. 1, as águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuem composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes conferem uma ação medicamentosa.

2.2.1. Aquífero Fissural

O Parque Salutaris é demarcado por aquíferos fraturados com distintos tipos hidroquímicos de águas numa área relativamente pequena (Rodrigues 2014). Um estudo do DRM (2015) define o aquífero fissural como aquele em que a água se movimenta através de fraturas, fendas e falhas nas rochas (figura 1). Nos aquíferos fraturados, as condições de armazenamento e movimento da água são altamente heterogêneas. As vazões obtidas em poços tubulares profundos variam consideravelmente, desde nulas até muito altas, dependendo das características geológico-estruturais dos litotipos presentes e da localização dos poços em relação às estruturas geológicas (Neves *et al.* 2002). O aquífero fissural em rochas cristalinas é destacado pela sua notável heterogeneidade, resultando em uma completa descontinuidade espacial. O principal determinante da acumulação e circulação de água subterrânea nessas áreas é o grau de fraturamento da rocha, influenciado pela deformação tectônica de natureza rúptil (Batista 2017). Assim, a produtividade de cada poço tubular é influenciada pelo número e pela extensão das fraturas atravessadas durante a perfuração. A eficiência hidráulica das rochas cristalinas varia consideravelmente e é frequentemente afetada por fatores externos à sua composição intrínseca.

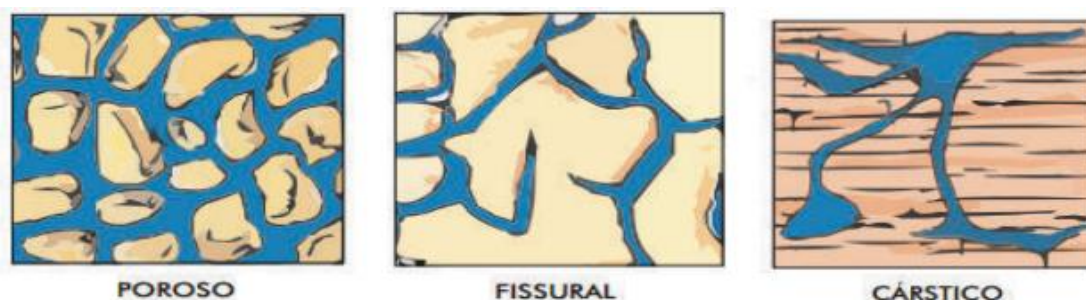


Figura 1. Diferentes tipos de aquíferos subterrâneos: poroso, fissural e cárstico Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2007).

A recarga de um aquífero pode ocorrer naturalmente por meio da infiltração de água da chuva, água de superfície proveniente de rios, lagos e áreas úmidas, ou ainda por meio de transferências de outras unidades hidrogeológicas ou aquíferos (INEA 2014). A superexploração das águas subterrâneas impacta negativamente na recarga futura dos aquíferos, podendo agravar períodos de seca e perturbar o ciclo hidrológico (Wu *et al.* 2020). Assim, os efeitos climáticos observados atualmente, como secas severas e crises hídricas, podem ser exacerbados devido à superexploração desse crucial recurso hídrico, em resposta às mudanças climáticas e ao aquecimento global. A extração acima da taxa de recarga ou de reservas fósseis provoca um déficit hídrico futuro local, ao passo que a contaminação resulta em um passivo que pode inviabilizar o acesso a recursos essenciais para as gerações atuais e futuras (Villar 2016).

2.3. IMPORTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA COMO RECURSO HÍDRICO

De acordo com a ANA (2021), a disponibilidade de água subterrânea no Brasil é aproximadamente 13.205 m³/s, sendo sua distribuição territorial não uniforme devido às variáveis hidrogeológicas e de produtividade dos aquíferos. Essas variações resultam em regiões com diferentes níveis de escassez e abundância hídrica subterrânea no país. As águas subterrâneas estão diretamente ligadas à segurança hídrica, principalmente no contexto de mudanças climáticas. As águas subterrâneas garantem o abastecimento público, contribuem significativamente para o sistema de irrigação na produção de alimentos, são usadas nas indústrias, além de manter ecossistemas (Hirata *et al.* 2019).

Nesse contexto, é importante entender que as águas subterrâneas são uma componente do ciclo hidrológico, uma vez que constituem parcela da água precipitada. Isso remete à reflexão de que não se deve pensar, separadamente, quando se fala em água superficial e água subterrânea (Embrapa 2008).

Além disso, as águas subterrâneas apresentam vantagens significativas sobre as águas dos rios, devido às suas propriedades: são naturalmente filtradas e purificadas por meio da percolação, sofrem menos influência das variações climáticas, podem ser extraídas próximas aos locais de uso, mantêm temperatura constante, possuem maiores reservas, possuem menores custos como fonte de água e são mais protegidas contra agentes poluente (M 1997 *apud* ABAS 2016).

2.4. LEGISLAÇÃO

A primeira legislação direcionada especificamente aos recursos hídricos no Brasil foi o Código das Águas (Decreto 24.643, Brasil 1934). Seu principal propósito era estabelecer o controle público dos rios visando a utilização do potencial hidrelétrico. O Código das Águas, reconhecido internacionalmente como uma das legislações mais abrangentes sobre recursos hídricos já elaboradas, permanece em vigor até os dias atuais, com exceção de alguns dispositivos parcialmente ou totalmente revogados por legislações subsequentes (Daronco 2013). Em relação às águas subterrâneas, o mencionado Código estabeleceu em seu Art. 96:

O dono de qualquer terreno poderá apropriar-se por meio de poços, galerias, etc., das águas que existam debaixo da superfície de seu prédio contanto que não prejudique aproveitamentos existentes nem derive ou desvie de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares.

Parágrafo único. Se o aproveitamento das águas subterrâneas de que trata este artigo prejudicar ou diminuir as águas públicas dominicais ou públicas de uso comum ou particulares, a administração competente poderá suspender as ditas obras e aproveitamentos.

Com o surgimento de questões relacionadas à escassez de água, houve uma mudança na perspectiva sobre o uso desse recurso, inclusive por parte das autoridades governamentais. Nessa conjuntura, a Constituição Federal de 1988 foi promulgada, introduzindo a ideia da necessidade evidente de implementar instrumentos para proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais, os quais englobam os recursos hídricos. Assim, conforme estipulado no Artigo 20, Inciso III, da Constituição, são considerados bens da União: “os lagos, rios e todas as correntes de água em terras de sua propriedade, ou que banhem mais de um Estado, sirvam como fronteira com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele emanem, assim como as terras marginais e as praias fluviais.” Conjuntamente, o Artigo 26, inciso I, determina que as águas superficiais ou subterrâneas, incluindo aquelas em movimento, emergentes ou em depósito, são consideradas bens públicos do Estado, exceto nos casos específicos definidos por lei, como as provenientes de obras realizadas pela União (Brasil 1988). Adicionalmente, no art. 20, inc. IX, os recursos minerais, incluindo os do subsolo, são considerados patrimônio da União. As jazidas, estejam em processo de exploração ou não, e

outros recursos minerais são tratados como propriedade separada do solo para fins de exploração ou aproveitamento, sendo de titularidade da União. O concessionário possui garantia de propriedade sobre o produto obtido da exploração.

O Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227/67) reforça essa distinção ao definir que as jazidas são bens imóveis distintos do solo onde estão localizadas, não incluindo a propriedade deste último o minério ou a substância mineral útil contida nas jazidas. No contexto da exploração de águas minerais, a restrição quanto ao uso do solo é ampliada, pois é obrigatória a criação de uma zona de proteção ao redor do poço de onde a água é extraída. Dentro dessa área, atividades que possam potencialmente poluir o subsolo são proibidas para assegurar a qualidade da jazida de água em exploração. O Código de Mineração dispõe (art. 10) que as jazidas de água mineral em fase de lavra e as de águas subterrâneas deverão obedecer à legislação especial, no caso o Decreto-Lei nº 7.841/45, denominado Código de Águas Minerais, o qual estabelece que:

Art. 1º - “Águas minerais” são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa.

Art. 3º- Serão denominadas "águas potáveis de mesa" as águas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preencham tão-somente as condições de potabilidade para a região.

Além das disposições constitucionais que reconhecem a proteção dos recursos hídricos como parte integrante do contexto ambiental, foi promulgada em 8 de janeiro de 1997 a Lei nº 9.433, popularmente conhecida como Lei das Águas. Esta legislação estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) no Brasil (BRASIL 1997). A PNRH tem como objetivo principal promover a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, visando garantir sua disponibilidade e qualidade para os diversos usos, tais como abastecimento humano, irrigação, geração de energia, navegação, entre outros. A lei estabelece princípios, diretrizes e instrumentos para a gestão das águas, incluindo a instituição dos comitês de bacias hidrográficas, a outorga de direitos de uso da água, a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o estabelecimento de planos de recursos hídricos. Na referida lei também foi estabelecido um arranjo institucional baseado em novas formas de organização para a gestão compartilhada do uso da água. Este arranjo inclui o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, os comitês de bacias hidrográficas, as agências de água, além de órgãos e entidades dos serviços públicos federais, estaduais e municipais com papel relevante na gestão dos recursos hídricos. Essas entidades devem operar em estreita colaboração com outros agentes previstos na legislação. Assim, a Lei

das Águas representa um marco legal importante para a promoção da gestão sustentável dos recursos hídricos no país.

2.4.1. Outorga e cobrança

A outorga e a cobrança são amplamente utilizadas mundialmente como instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Esses mecanismos têm como objetivo prevenir o uso indiscriminado dos recursos, restringindo sua utilização às necessidades mais preeminentes, especialmente em situações de escassez. Pires (2000) compreende que, a outorga deve ser concedida a todos os usuários que alterem de forma significativa a disponibilidade quantitativa ou qualitativa do recurso hídrico, ou que modifiquem o regime de parte do ciclo hidrológico. Isso inclui usuários que captam ou desviam água, que emitem descargas poluidoras, bem como aqueles que realizam obras hidráulicas. A outorga assegura ao usuário o direito de uso da água, e sua concessão pelo órgão competente deve considerar os aspectos quantitativos e qualitativos na análise dos pleitos (Freire 2002). Para águas subterrâneas, a outorga deve ser emitida pelo poder público estadual ou pelo Distrito Federal. Estão isentos da outorga o uso de recursos hídricos por pequenos núcleos populacionais rurais, assim como as derivações, captações, lançamentos e acumulações de volumes de água considerados insignificantes (ANA 2021). É válido salientar que a Outorga está prevista na SEÇÃO III da PNRH (Art.11 a 18), e tem como objetivos: a) reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação do seu real valor; b) incentivar a racionalização do uso da água e; c) obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. Ao conceder ao usuário o direito de uso, ele está protegido contra a exploração predatória por parte de outros usuários que não possuem outorga. A cobrança, conforme prevista em lei, não deve ser interpretada como uma mera arrecadação de recursos financeiros, na realidade, é um instrumento de gestão de recursos hídricos. Freire (2002) entende que seu objetivo não é simplesmente arrecadar verbas de quem polui, mas sim incentivar os poluidores a cessarem suas atividades prejudiciais, preservando assim os recursos hídricos para as gerações presentes e futuras.

Seguindo as orientações da Política Nacional de Recursos Hídricos, no dia 02 de agosto de 1999, foi sancionada, no Rio de Janeiro a Lei Estadual 3.239, que estabelece os princípios e ferramentas da Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, delineando sua estrutura e membros, e aborda a concessão de outorgas conforme descrito na Seção V, Artigos 18 a 26. Sobre águas subterrâneas, a referida lei estabelece que:

Art. 38 - Quando, por interesse da conservação, proteção ou manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas ou dos serviços públicos de abastecimento, ou por motivos ecológicos, for necessário controlar a captação e o uso, em função da quantidade e qualidade, das mesmas, poderão ser delimitadas as respectivas áreas de proteção.

2.5. PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

O princípio da precaução estabelece a necessidade de uma abordagem cautelosa diante dos riscos e incertezas relacionados às limitações científicas e tecnológicas no contexto do desenvolvimento humano, que frequentemente envolve a exploração ambiental. Mesmo diante de probabilidades de degradação ou redução significativa de recursos naturais para as futuras gerações, a aplicação desse princípio é justificada (Schroeder 2010). Devido às características do dano ambiental, a Constituição Federal estabelece a prioridade para medidas que evitem danos ao meio ambiente. O artigo 225, em seu caput, estabelece o dever do poder público e da coletividade de proteger e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações, enquanto o restante do dispositivo reforça a necessidade de adotar medidas para defender os recursos ambientais como uma precaução contra a degradação (BRASIL 1988).

Na Declaração do Rio de Janeiro de 1992, o princípio da precaução é o de número 15, e está assim expresso:

Com a finalidade de proteger o meio ambiente, os Estados deverão aplicar amplamente o critério de precaução conforme suas capacidades. Quando houver perigo de dano grave ou irreversível, a falta de certeza científica absoluta não deverá ser utilizada como razão para que seja adiada a adoção de medidas eficazes em função dos custos para impedir a degradação ambiental.

Zapater (2020) afirma que o princípio da precaução não sugere a proibição de atividades em caso de incerteza científica sobre suas consequências, ao contrário do princípio da prevenção, que pode levar a tal proibição caso as consequências o justifiquem. Além disso, o princípio da precaução também considera o aspecto econômico das medidas a serem implementadas. O reconhecimento da possibilidade de ocorrência de danos e a necessidade de sua avaliação com base nos conhecimentos disponíveis representam um grande desafio para toda a comunidade científica mundial.

Conceitualmente, o princípio da precaução implica na imposição e legitimação da adoção de medidas urgentes diante de um determinado risco ambiental, especialmente quando há falta de conhecimento detalhado sobre esse risco. Mesmo diante de uma probabilidade mínima de sua existência, esse princípio justifica a tomada de medidas eficazes para proteger o meio ambiente (Abreu 2008).

2.6. PRINCIPAIS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência das populações, sendo vital para diversas atividades humanas. No entanto, o rápido crescimento demográfico e o desenvolvimento industrial e tecnológico, além das atividades agropecuárias e a silvicultura, têm colocado em risco as poucas fontes de água disponíveis. A poluição dos mananciais, o desmatamento, o assoreamento dos rios, o uso inadequado de sistemas de irrigação e a impermeabilização do solo são exemplos de atividades humanas que têm contribuído significativamente para a contaminação e degradação dos recursos hídricos (Sousa 2010).

A exploração de água subterrânea é realizada de várias maneiras, variando de métodos tradicionais a modernos. Tais métodos estão se desenvolvendo todos os dias através de novos meios e dispositivos. De acordo com o Censo do IBGE de 2010, cerca de 53% da população brasileira utiliza água subterrânea para abastecimento doméstico. Dentre esses, 5% obtêm água de poços rasos, 10% de nascentes ou fontes e 38% de poços profundos. Outro uso importante das águas subterrâneas é a utilização da água mineral pelas populações dos centros urbanos devido à sua alta qualidade (ANA 2022). A preservação da qualidade das águas subterrâneas é de suma importância, dado que esses recursos podem ser suscetíveis à contaminação por atividades antropogênicas e processos naturais (Lima e Castro 2023).

A urbanização desordenada, sem um planejamento adequado de ocupação do solo, tem graves impactos no ciclo hidrológico. Isso ocorre devido às alterações na drenagem, o que aumenta significativamente o risco de enchentes e deslizamentos. Essas condições representam sérios riscos para a saúde e a segurança das populações humanas (Benini e Menciondo 2015). Nessa mesma direção, Rosa (2017) afirma que a impermeabilização e compactação do solo reduzem a infiltração de água e aumentam o escoamento superficial, o que pode intensificar a erosão do solo e o processo de assoreamento. Além disso, essas mudanças podem afetar o nível do lençol freático, potencialmente resultando na redução ou esgotamento deste recurso hídrico subterrâneo.

Para Costa e Santos (2000) o mau uso da água se manifesta tanto pelo seu uso excessivo quanto inadequado e irresponsável, resultando na degradação dos recursos hídricos. Isso pode levar à diminuição do volume ou até mesmo ao esgotamento dos aquíferos subterrâneos, assim como dos estoques de água em lagos e rios superficiais. A questão da água subterrânea é especialmente crucial, uma vez que uma grande parcela da população mundial depende desse

recurso para o abastecimento. Além do esgotamento, os aquíferos também enfrentam ameaças de contaminação por diversos poluentes de origem industrial, agrícola e doméstica.

A contaminação de um aquífero resulta da ocupação inadequada de uma área que não leva em conta sua vulnerabilidade, ou seja, a habilidade do solo em degradar substâncias tóxicas introduzidas no ambiente, especialmente na zona onde ocorre a recarga dos aquíferos. A contaminação pode resultar de várias fontes, como fossas sépticas e negras, vazamentos de efluentes industriais, falhas na rede de esgoto e sistemas de águas pluviais, vazamentos de postos de gasolina, aterros sanitários, e uso inadequado de fertilizantes nitrogenados. No entanto, a contaminação mais preocupante é aquela causada por produtos químicos, que podem levar a danos irreversíveis e tornar grandes áreas de águas subterrâneas impróprias para uso, acarretando prejuízos significativos (Mindrisz 2006).

2.7. PRINCIPAIS IMPACTOS DA SUPEREXPLORAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

No contexto da utilização de água subterrânea no Brasil, um dos principais desafios reside na falta de conhecimento sobre o volume de água explorado. Atualmente, os registros de poços e estudos relacionados a esse tema não são realizados de maneira consistente e precisa. Para preservar o volume total da reserva permanente e garantir sua renovação, é crucial que a exploração seja conduzida de maneira adequada e sustentável (Gonçalves *et al.* 2016). A busca intensa por água, sobretudo potencializada pela expansão das áreas agrícolas tem provocado o uso intenso das águas subterrâneas, além das fontes superficiais (Gleick 2020).

No Brasil, a ausência de legislação específica para regular o uso das águas subterrâneas e restringir a abertura de novos poços tem contribuído para problemas de superexploração (Brown 2003 *apud* ABAS 2019). Além disso, a ocupação inadequada das áreas de recarga dos aquíferos tem comprometido sua qualidade e disponibilidade hídrica (Cavalcante e Sabadia 1992). Apesar de décadas de exploração, a governança dos aquíferos é precária. A gestão enfrenta dificuldades, expondo-os à superexploração e à poluição. Além disso, há falta de redes de monitoramento e dados abrangendo limites, litologia, qualidade das águas, volume das reservas, taxas de uso, usuários e vulnerabilidade (Goetten 2015).

A superexploração e contaminação dos aquíferos representam ameaças aos ecossistemas e ao abastecimento humano. Essa situação dificulta o cumprimento da meta de assegurar água potável e alcançar a universalização do acesso, um desafio reconhecido internacionalmente desde os anos setenta (Castro 2007).

O esgotamento das reservas de água subterrânea ocorre quando a taxa de descarga excede a taxa de recarga. Embora a variabilidade e as mudanças climáticas possam contribuir para esse fenômeno, a maioria dos casos de esgotamento de longo prazo está relacionada à exploração intensiva dessas reservas. Globalmente, a taxa agregada de esgotamento das reservas de água subterrânea é considerável, estimada entre 100 e 200 km³/ano no início do século atual, representando aproximadamente 15% a 25% do total da captação de água subterrânea. A poluição das águas subterrâneas diminui a qualidade da água captada para consumo humano e afeta os ecossistemas dependentes dessas fontes hídricas (UNESCO 2022).

2.8. HISTÓRICO DAS ÁGUAS MINERAIS DO PARQUE SALUTARIS

O Estado do Rio de Janeiro registrou sua primeira fonte hidromineral em 1887, localizada no município de Paraíba do Sul. As análises iniciais das águas mineralizadas do Parque Salutaris foram realizadas em 1889, revelando propriedades ferruginosas, bicarbonatadas e gasosas. Essas fontes foram nomeadas como Fonte Alexandre Abrahão, Nilo Peçanha e Maria Rita (FCPS 2024). De acordo com o historiador Luiz Gastão Braga (2000), o português Manoel Marques Letras fez a descoberta das fontes de águas do Parque Salutaris em 1887 (Carvalhido 2008).

No final do século XIX, Paraíba do Sul testemunhou o surgimento de um novo movimento. Indivíduos de várias partes do país começaram a visitar a cidade em busca de águas com propriedades medicinais, que, de acordo com Pedro Gomes da Silva, derivavam de uma fonte localizada em "Arraial dos Sapos" (Figuras 2 e 3) e descoberta por Manuel Marques Letra (Silva 1991).



Figura 2 e 3. Fonte denominada de “Arraial dos Sapos”, a primeira fonte de água do Parque Salutaris, Município de Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro.

As águas minerais do Parque Salutaris representam um recurso natural de valor incalculável, sendo utilizadas para consumo humano desde 1887, com atividades de produção e engarrafamento industrial iniciadas no começo do século XX (FCPS 2024). Atualmente, a gestão do parque está a cargo da prefeitura de Paraíba do Sul, que oferece acesso gratuito à população por meio de um fontanário localizado dentro do parque (Cruz 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O Município de Paraíba do Sul situa-se em na APA (Área de Proteção Permanente) Rainha das Águas, na mesorregião Centro-Sul Fluminense, localizado nas coordenadas 22°09'43''S; 43°17'34''W, no estado do Rio de Janeiro, próximo à divisa com o estado de Minas Gerais (Figura 4). O clima da cidade é classificado como mesotérmico, caracterizado por verões quentes e chuvosos, e invernos frios e secos, a temperatura varia de 14,2°C até 37,4°C e a precipitação anual média é aproximadamente de 1.300 mm. A paisagem é marcada por colinas baixas e morrotes alinhados, com desníveis inferiores a 50 metros na direção WSW-ENE. Estas formações são circundadas por colinas mais elevadas e morros baixos (Cruz 2014, Gomes *et al.* 2013).

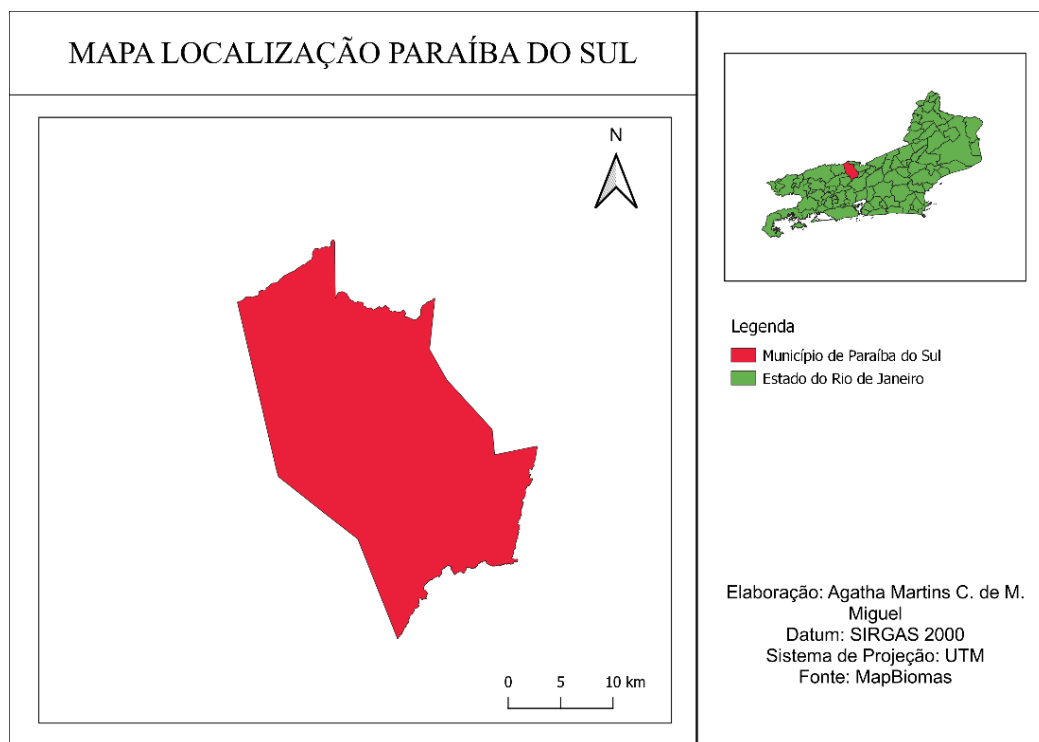


Figura 4. Mapa de localização do município de Paraíba do Sul no estado do Rio de Janeiro.

O município de Paraíba do Sul é caracterizado pela presença predominante do rio Paraíba do Sul como seu curso d'água principal, com o rio Preto também exercendo significativa influência hidrográfica na região (Figura 5; PMGRIS PS 2023).

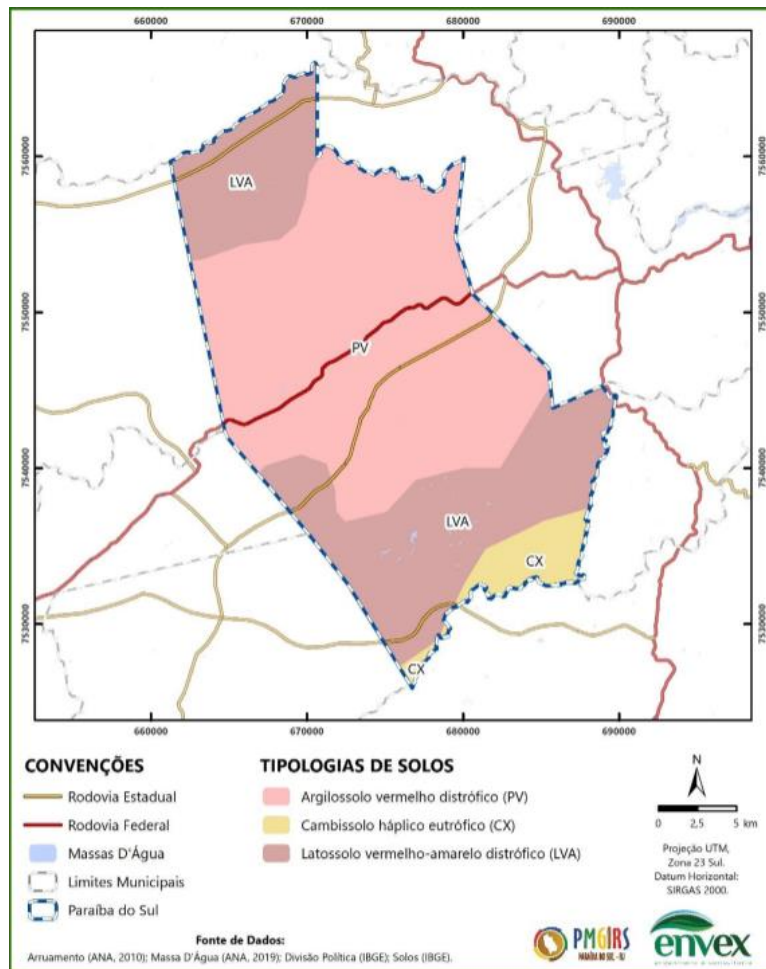


Figura 6. Mapeamento de solos no município de Paraíba do Sul. Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2022).

Os aspectos geológicos locais foram detalhados por Corval *et al.* (2014), destacando a presença de rochas do Complexo Juiz de Fora, que apresentam uma significativa intercalação entre unidades de embasamento, constituídas por hornblenda, ortognaisses e ortogranulitos, e unidades metassedimentares, compostas principalmente por granada-biotita gnaisses, correlacionáveis ao Grupo Andrelândia (Figura 7).

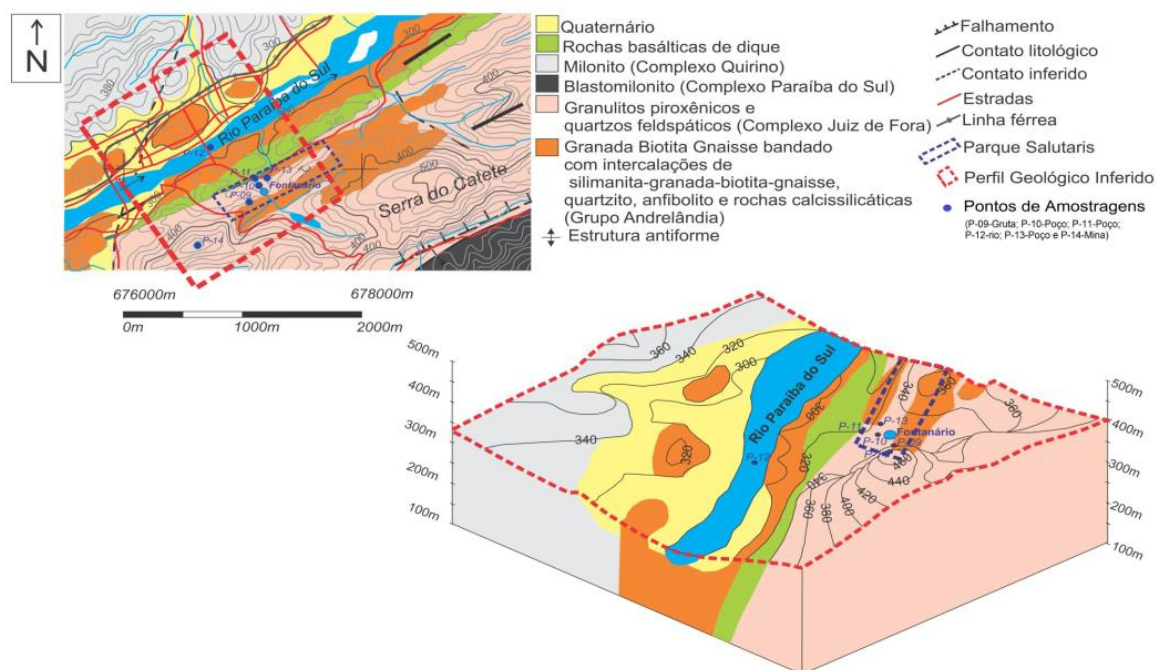


Figura 7. Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Cruz (2016).

De acordo com Gomes *et al.* (2013), no Parque Salutaris foram identificados litologias próximos à Fonte Nilo Peçanha, como granulitos, já na área da Gruta, gnaisses com bandamentos félsicos compostos predominantemente por quartzo, plagioclásios e k-feldspatos, além de bandamentos máficos com piroxênio e micas. Um dique de diabásio contendo piroxênio, biotita, anfibólio, sulfetos, vidro vulcânico e apatita foi caracterizado na porção externa do parque, a cerca de 80 metros da Fonte Maria Rita (Cruz 2014). As rochas do Grupo Paraíba do Sul geralmente apresentam aquíferos livres, fraturados, heterogêneos e anisotrópicos, com vazões médias variando entre 0,3 a 65m³/h e capacidade específica entre 0 a 3m³/h/m. No domínio geológico de Juiz de Fora/Andrelândia, as vazões são significativamente menores, resultando em uma capacidade específica também reduzida (Nascimento 2012).

De acordo com o DRM (2014), 80% do estado do Rio de Janeiro é constituído por aquíferos cristalinos (fissurais), enquanto os outros 20% são formados por aquíferos sedimentares (porosos). Na região fronteiriça entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, na bacia do Rio Paraíba do Sul, ocorrem estruturas tectônicas favoráveis, conhecidas como Graben do Rio Paraíba do Sul. Essas estruturas permitem o armazenamento significativo de água subterrânea, com poços estrategicamente localizados e construídos, que produzem boas vazões em ambas as margens do rio (INEA 2014).

3.2. ANÁLISE SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL

De acordo com dados do IBGE (2024), em 2022 a população total de Paraíba do Sul era de 42.063 habitantes. Entre os anos de 1991 e 2000, a taxa de urbanização do município aumentou de 81,85% para 87,38%. No período de 2000 a 2010, essa taxa passou de 87,38% para 88,00%. Ao longo dessas duas décadas, houve um incremento total de 6,15% na taxa de urbanização (PMGRIS PS 2023). Em 2010, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de Paraíba do Sul foi de 0,702, posicionando o município na faixa de Desenvolvimento Humano Alto, que abrange IDHM entre 0,7 e 0,799. Já o PIB (Produto Interno Bruto) per capita do município é de R\$ 28.006,34 (2021) (IBGE 2024). Alguns estudos apontam um crescimento constante na população urbana, chegando ao valor de 55.025 habitantes em 2040. Já na área rural, a projeção aponta para uma estabilidade populacional, mantendo-se em torno de 3.000 habitantes. A diferença nas taxas de crescimento populacional entre as áreas urbana e rural pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo o desenvolvimento econômico e a oferta de serviços e infraestrutura nas áreas urbanas, além de outros fatores sociais e demográficos (PMGIRS PS 2023).

O serviço de abastecimento de água no município é realizado através da captação no Rio Paraíba do Sul, atendendo praticamente toda a população. Desde dezembro de 2020, a responsabilidade pelo serviço foi assumida pela empresa Águas da Condessa, pertencente ao Grupo Águas do Brasil (PMGIRS PS 2023).

O município não dispõe de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), resultando no lançamento in natura dos efluentes nos cursos d'água próximos aos pontos de geração. Conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB 2014), a rede coletora possui regime unitário, sendo mista, o que causa o lançamento de uma parcela significativa do esgoto na rede de águas pluviais.

O Parque das Águas Minerais Salutaris, situado no bairro homônimo (Figura 8), abriga três fontes de águas em operação: o Poço Maria Rita, o Poço Nilo Peçanha e o Poço Alexandre Abraão. Os dois primeiros fornecem água para o fontanário do parque, enquanto o terceiro citado, abastece as áreas de uso público do parque. Além disso, o parque conta com uma gruta aberta à visitação. A proximidade da área de estudo com uma cobertura vegetal em estado crítico intensifica a degradação da bacia. Isso causa alterações na drenagem natural, aumento do escoamento superficial e erosão, redução da infiltração e menor recarga dos aquíferos (Cruz 2016).

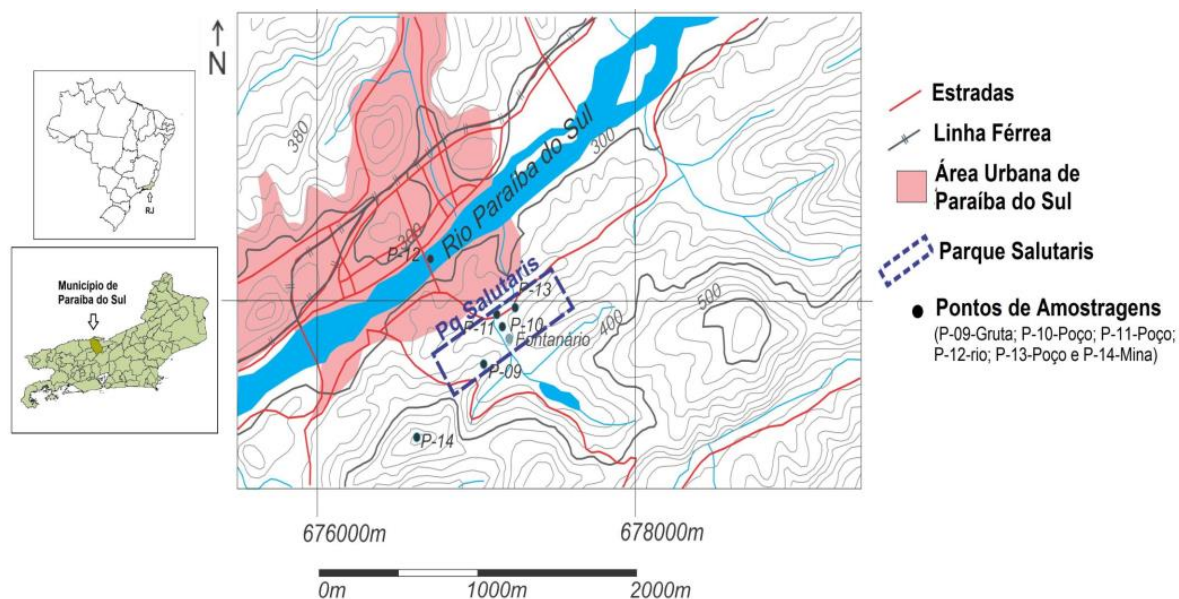


Figura 8. Localização do Parque Salutaris no município de Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Cruz (2016).

Durante a execução deste estudo, foram realizados levantamentos de dados secundários abrangentes, os quais incluíram fontes como livros, artigos e trabalhos científicos. Esses dados foram fundamentais para obter uma compreensão abrangente do contexto ambiental e socioeconômico que envolve o Parque Salutaris. As atividades de levantamento de dados abrangeram pesquisas de mapeamento local, determinação do raio de influência das atividades humanas, levantamento hidrogeológico local, avaliação das características socioeconômicas da área de estudo e aplicação de questionários para pessoas que possuem ou possuíram vínculo profissional com o parque e detêm conhecimento abrangente.

O Questionário 1 (apêndice 1) foi elaborado com perguntas que abordavam a percepção do entrevistado sobre os últimos 10 anos do Parque Salutaris e possíveis incidentes de contaminação anteriores. Este questionário foi respondido por um ex-funcionário da fábrica de águas minerais, que trabalhou por 29 anos no local, e também foi funcionário da Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Agrário de 2013 a 2016. Por outro lado, o Questionário 2 (apêndice 2) foi desenvolvido e enviado ao poder público municipal após a liberação de uma das fontes do parque para consumo, com perguntas sobre as medidas adotadas para a descontaminação do aquífero. No entanto, este questionário não recebeu resposta.

Foi realizada uma visita de campo para avaliar o impacto da urbanização adjacente ao parque, além da delimitação do raio de influência utilizando o Google Earth. Esta análise abarca a compreensão dos efeitos da urbanização no parque, bem como a avaliação de questões como drenagem e presença de animais nas proximidades dos limites do parque. Tal abordagem

permite identificar potenciais ameaças à integridade ecológica do parque e subsidiar ações de gestão e conservação adequadas.

Os levantamentos de dados secundários, a elaboração do mapa utilizando a plataforma Google Earth, com base em barreiras físicas identificadas localmente e informações fornecidas pelo ex-funcionário da fábrica, proporcionou uma análise detalhada da distribuição geográfica de recursos naturais, áreas urbanas e potenciais fontes de impacto ambiental. A análise da urbanização do entorno do parque proporcionou o entendimento sobre padrões de desenvolvimento urbano, infraestrutura associada e pressões sobre os recursos naturais.

A análise das características socioeconômicas da região proporcionou compreensão sobre aspectos demográficos, econômicos e culturais que podem influenciar as pressões ambientais e os padrões de uso da terra na área de estudo. Esses dados são cruciais para a formulação de estratégias de gestão ambiental e políticas de conservação que considerem as necessidades e preocupações das comunidades locais, o fluxograma a seguir (Figura 9), demonstra o passo a passo da metodologia usada para compor o prognóstico.

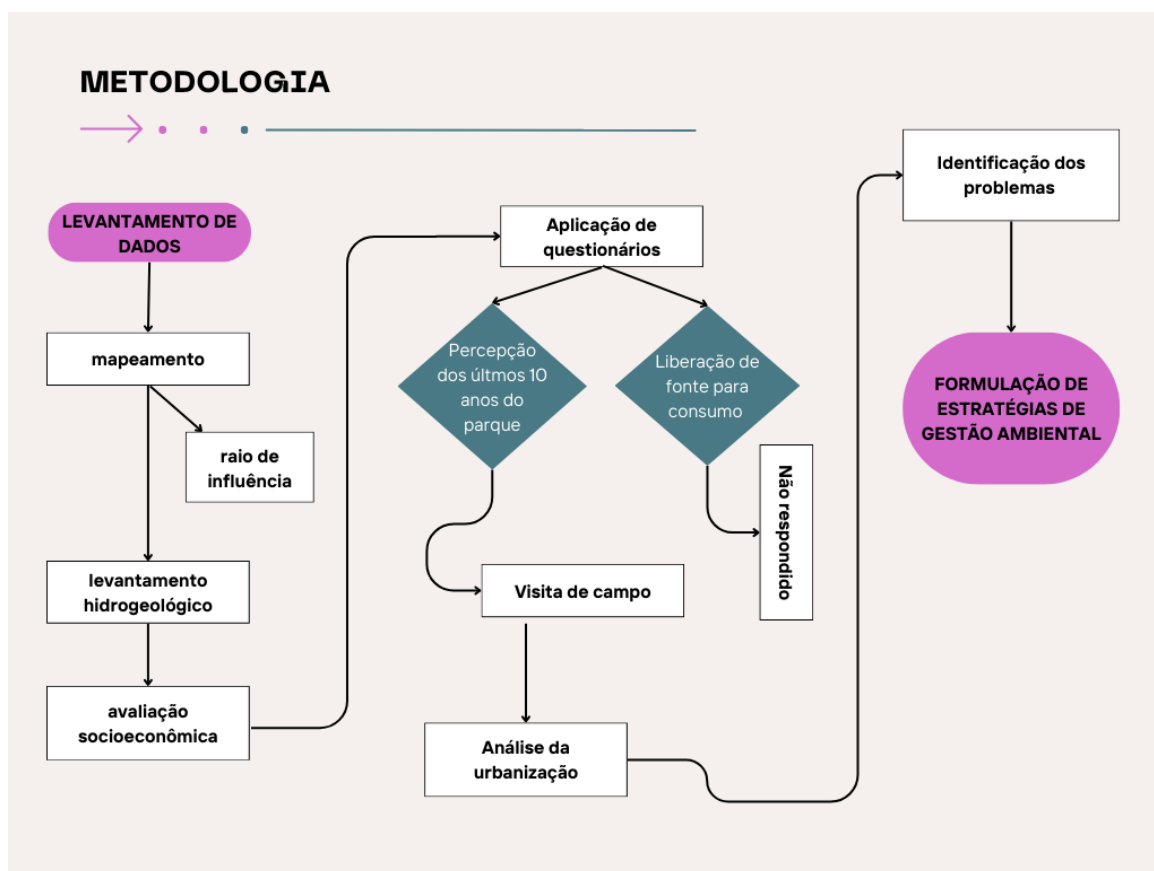


Figura 9. Demonstrativo das principais atividades que culminaram a análise.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

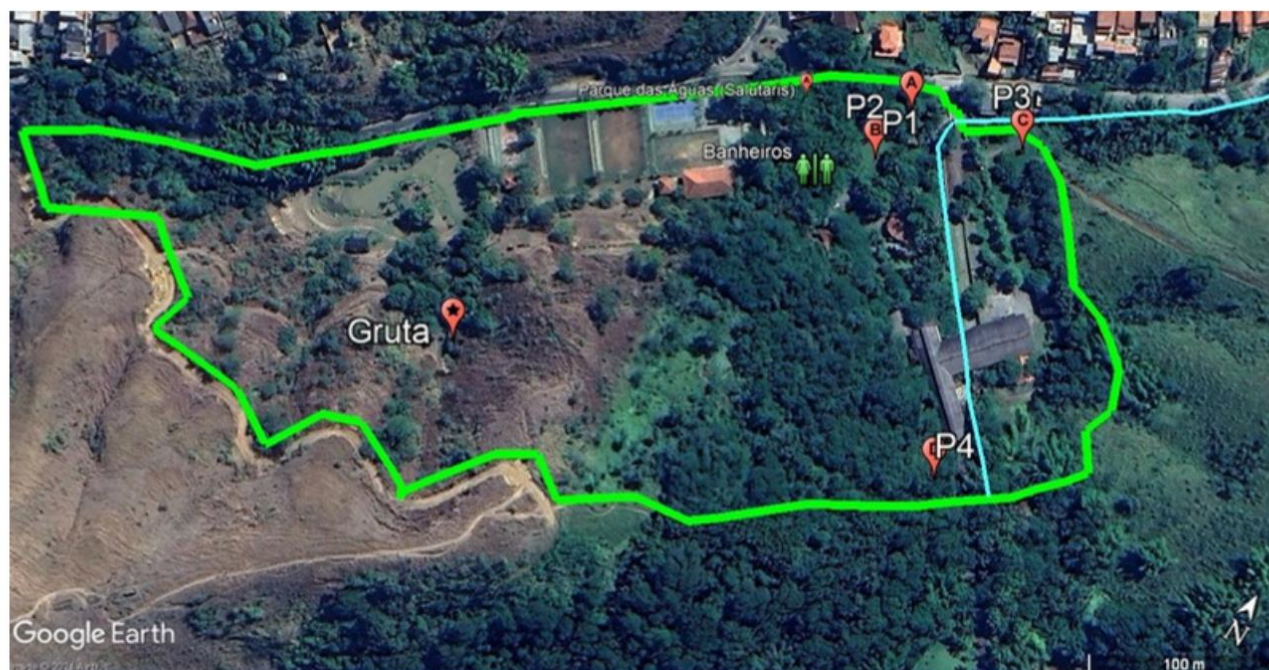
4.1. APRESENTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RECONHECIDAMENTE EXPLORADAS NO PARQUE SALUTARIS

O Quadro 1 apresenta dados relevantes sobre os poços Maria Rita, Nilo Peçanha, Alexandre Abraão e Nascente dos Sapos, detalhando a caracterização da água encontrada na gruta construída a partir da dinamitação de rochas gnáissicas, propícias à acumulação de água subterrânea por gravidade em uma cavidade no chão da gruta. Esse quadro permite observar as distintas propriedades das águas minerais no Parque Salutaris, além de evidenciar a operação dos poços que estão em atividade atualmente.

Quadro 1. Descrição das características de cada poço e da gruta do Parque Salutaris, Paraíba do Sul - RJ com suas coordenadas geográficas. Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Poço	Maria Rita	Nilo Peçanha	Alexandre Abraão	Nascente dos Sapos (seca atualmente)	Gruta
Caracterização da água	bicarbonatada magnesiânica	bicarbonatada sódica a mista	bicarbonatada mista	Ferruginosa	bicarbonatada sódica
Profundidade (m)	90	110	60	0	0
Nível estático (m)	2	4	5	-	0
Nível dinâmico (m)	5	12	20	-	-
Vazão (l/hora)	10.500	8.000	5.400	-	-
Coordenadas geográficas	22°9'54.32"S; 43°16'58.99"O	22° 9'55.44"S; 43°16'59.11"O	22° 9'53.82"S; 43°16'56.67"O	22° 09'59.78" S; 43°16'54.80" O	22°10'2.43"S; 43°17'4.35"O

A Figura 10 fornece uma visão panorâmica do parque, destacando os três poços em operação: Maria Rita (P1), Nilo Peçanha (P2) e Alexandre Abraão (P3). Ademais, delimita o córrego adjacente ao Parque. O Poço Alexandre Abraão é destinado a usos não potáveis, como o abastecimento de instalações sanitárias, limpeza e irrigação do parque.



Legenda



Poços

(P1- Maria Rita; P2- Nilo Peçanha; P3-Alexandre Abraão; P4- Arraial dos Sapos)



Gruta



Banheiros



Delimitação do Parque Salutaris



Córrego adjacente ao Parque Salutaris

Figura 10. Delimitação do Parque Salutaris com identificação dos três poços, a gruta existente no parque, a nascente dos Sapos e os banheiros.
Fonte: elaborado pela autora na plataforma *Google Earth* (2024).

Atualmente, o Parque Salutaris emerge como o principal atrativo turístico do município de Paraíba do Sul. Suas águas são empregadas como fonte de consumo por populares na cidade, sem submeter-se a processos de tratamento prévio (Cruz 2016).

4.2. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO P. SALUTARIS

Conforme já defendido por Borges (2006), o monitoramento hídrico desempenha um papel essencial na preservação e gestão sustentável dos recursos hídricos. Suas aplicações abrangem desde a avaliação da vulnerabilidade a fatores antrópicos até a detecção de contaminação e poluição difusa. Além disso, é fundamental para prever a disponibilidade de recursos hídricos exploráveis e implementar medidas preventivas e corretivas adequadas.

Em 2023, a pedido da Prefeitura Municipal, iniciou-se uma avaliação da qualidade das águas no Parque Salutaris. A água analisada foi coletada diretamente dos poços, visando à conformidade com os critérios estipulados pela Portaria GM/MS 888, de 4 de maio de 2021, que define os padrões de potabilidade da água para consumo humano. Esta análise identificou inconformidades nas amostras coletadas, considerando as análises microbiológicas, e o abastecimento foi temporariamente interrompido devido aos resultados. Ressaltamos a incerteza quanto à realização de análises de outros parâmetros, como metais, semimetais, compostos nitrogenados, fosfatados, compostos orgânicos e organoclorados. Em resposta, a concessionária de abastecimento público Águas da Condessa, pertencente ao grupo Águas do Brasil, implementou testes mensais em todos os poços (Tabela 1). Adicionalmente, uma empresa especializada foi contratada para a realização das lavagens nos poços, que estavam há anos sem manutenção adequada, e a administração do parque realizou a limpeza das caixas d'água e do sumidouro, localizado ao lado do banheiro. Em 7 de agosto de 2023, deu-se início à limpeza do primeiro poço, Maria Rita. A turbidez da água estava consideravelmente elevada, conforme os padrões de potabilidade, e o procedimento durou 24 horas. Em 8 de agosto de 2023, iniciou-se a limpeza do poço Alexandre Abrahão. Embora os níveis de turbidez estivessem elevados, a água estava menos turva em comparação ao primeiro poço limpo. No dia 14 de agosto de 2023, começou-se a limpeza do poço Nilo Peçanha, caracterizado por água alcalina. Este poço foi limpo pela última vez em 2019, resultando em uma tubulação relativamente mais limpa do que as dos outros poços.

O procedimento de limpeza dos poços envolveu uma série de etapas técnicas, incluindo a remoção de sedimentos, detritos e quaisquer contaminantes presentes nas paredes e no fundo dos poços. Isso foi realizado por meio de métodos específicos, como lavagem com água

pressurizada e a aplicação de produtos químicos adequados para desinfecção e remoção de incrustações. Após a limpeza, foram realizados testes de qualidade da água para garantir a conformidade com os padrões estabelecidos de potabilidade e segurança do abastecimento.

Tabela 1. Análise dos parâmetros de potabilidade da água dos poços do Parque Salutaris. Fonte: Concessionária Águas da Condessa (2023) e Cruz (2016).

Data de coleta	Ponto de Coleta	pH	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Observação
Out/2014	Nilo Peçanha	6,23	169	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Out/2014	Maria Rita	6,45	1,91	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Nov/2014	Nilo Peçanha	5,87	27	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Nov/2014	Maria Rita	6,4	11,8	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Nov/2014	Alexandre Abraão	6,14	3,45	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Dez/14	Nilo Peçanha	6,31	72,2	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Dez/14	Maria Rita	6,21	44,9	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Dez/14	Alexandre Abraão	6,32	0,6	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jan/15	Nilo Peçanha	6,01	5,8	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jan/15	Maria Rita	6,72	56,8	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jan/15	Alexandre Abraão	6,81	5,52	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Fev/15	Nilo Peçanha	6,41	16	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Fev/15	Maria Rita	6,58	2,33	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Fev/15	Alexandre Abraão	6,94	1,84	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Mar/15	Nilo Peçanha	6,55	5,28	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)

Mar/15	Maria Rita	6,72	1,67	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Mar/15	Alexandre Abraão	6,42	3,08	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Abr/15	Nilo Peçanha	6,27	5,05	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Abr/15	Maria Rita	6,77	10,4	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Abr/15	Alexandre Abraão	6,57	2,7	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jun/15	Nilo Peçanha	6,35	3,28	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jun/15	Maria Rita	6,97	2,97	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jun/15	Alexandre Abraão	6,66	0,02	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jul/15	Nilo Peçanha	6,79	110	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jul/15	Maria Rita	6,99	11,3	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Jul/15	Alexandre Abraão	7,4	4,91	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Ago/15	Nilo Peçanha	6,2	3,06	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Ago/15	Maria Rita	6,53	0,8	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
Ago/15	Alexandre Abraão	6,65	0,7	-	Ausência	Ausência	Cruz (2016)
22/05/2023	Maria Rita	6,92	1,10	0	Presença	Ausência	Águas da Condessa
22/05/2023	Alexandre Abraão	7,00	1,02	0	Presença	Presença	Águas da Condessa
24/05/2023	Maria Rita	7,25	0,74	0	Presença	Ausência	Águas da Condessa
24/05/2023	Alexandre Abraão	7,28	0,77	0	Presença	Ausência	Águas da Condessa
13/06/2023	Maria Rita	7,50	0,63	0	Presença	Ausência	Águas da Condessa
13/06/2023	Alexandre Abraão	7,54	1,16	0	Presença	Ausência	Águas da Condessa

26/06/2023	Nilo Peçanha	6,65	0,57	0	Presença	Ausência	Águas da Condessa
27/06/2023	Maria Rita	7,03	31,80	20	Ausência	Ausência	Águas da Condessa
25/09/2023	Nilo Peçanha	6,64	0,47	10	Presença	Ausência	Águas da Condessa
25/09/2023	Maria Rita	7,32	1,30	10	Presença	Ausência	Águas da Condessa
22/11/2023	Nilo Peçanha	6,67	0,53	<5	Ausência	Ausência	Águas da Condessa
22/11/2023	Maria Rita	7,32	0,34	<5	Ausência	Ausência	Águas da Condessa
13/12/2023	Nilo Peçanha	8,0	3,69	1	8,5	<1,0	INEA
13/12/2023	Maria Rita	8,0	3,69	1	1,9 X 10	<1,0	INEA
13/12/2023	Alexandre Abraão	8,0	3,69	1	5,2	<1,0	INEA
26/12/2023	Nilo Peçanha	6,61	0,26	<5	Presença	Ausência	Águas da Condessa
26/12/2023	Maria Rita	7,03	0,60	<5	Presença	Presença	Águas da Condessa
21/05/2024	Maria Rita	6,40	0,17	<5	Ausência	Ausência	Águas da Condessa
		6,0 a 9,0	Máx. 5,0	Máx. 15,0	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL	
*Parâmetros da Portaria GM/MS Nº 888, 4 de maio de 2021							

Ao compararmos os valores dos parâmetros com os limites estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888/21, observamos que todos os valores de pH estão dentro das faixas aceitáveis, variando de 5,87 a 8,0. Entretanto, em alguns meses, como junho, os valores de turbidez apresentaram-se consideravelmente elevados. A análise dos dados fornecidos pela tabela permitiu a comparação dos parâmetros analisados por Cruz (2016), revelando variações nos valores de turbidez em determinados meses, tanto na época mencionada quanto nos dias atuais. A causa dessas variações deve ser investigada para compreender os picos abruptos seguidos de retornos aos valores normais. É crucial ressaltar que os dados fornecidos são limitados, destacando a importância da avaliação ampla e contínua dos parâmetros microbiológicos, físicos e químicos, como turbidez, cor verdadeira, pH, condutividade elétrica, fósforo total,

nitrogênio amoniacal total, N-nitrito, N-nitrato, amônia, além de outros parâmetros inorgânicos (metais e semimetais), orgânicos e de agrotóxicos, exigidos pela Portaria GM/MS 888/21. Agüero, Valverde e Mesalles (2002) defendem que, para assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, é necessário conhecer as zonas de maior vulnerabilidade, mapear as fontes potenciais de contaminação e estabelecer programas específicos de inspeção e monitoramento.

4.3. AVANÇO DA URBANIZAÇÃO LIMÍTROFE AO PARQUE SALUTARIS

Em zonas urbanas desprovidas de sistemas de saneamento, onde o despejo de águas residuais é conduzido principalmente por meio de fossas sépticas, tanques sépticos e possíveis vazamentos através de tubulação de esgoto, há um considerável risco de contaminação das águas subterrâneas. Esta contaminação pode abranger a presença de microrganismos patogênicos, nitratos, altas concentrações de sais e até mesmo solventes orgânicos. Essa ocorrência deriva da infiltração desses agentes contaminantes no solo, seguida pela percolação em direção aos aquíferos subterrâneos, apresentando um desafio significativo para a qualidade da água potável e a saúde pública.

O descarte de esgotos nos corpos hídricos resulta na presença de contaminantes emergentes, causando impactos adversos significativos na vida aquática e na saúde humana, constituindo-se como uma preocupação globalmente reconhecida (Silva 2018). Os micropoluentes emergentes podem ter origem industrial, doméstica, agrícola, hospitalar ou laboratorial. De maneira geral, essas substâncias podem ser divididas em três principais categorias: produtos farmacêuticos ativos (Pharmaceutical active compounds - PhACs), produtos de cuidado pessoal (PCPs) e compostos desreguladores endócrinos (CDEs). Em menor quantidade, também podem incluir nanomateriais (NMs), metabólitos de CDEs, drogas ilícitas ou genes modificados (Gogoi et al. 2018). Dessa forma, os métodos convencionais de tratamento da água ainda são deficientes na remoção desses compostos.

Em campo, foi evidenciado que uma parcela substancial dos efluentes domésticos do bairro Salutaris é descarregada in natura diretamente no córrego próximo aos poços, localizado na porção nordeste adjacente ao parque, como mostram as Figuras 11, 12, 13 e 14. Entretanto, embora isso seja observado, pode não representar a única fonte de contaminação dos poços, conforme indicado pelos níveis bacteriológicos pronunciados no Poço Nilo Peçanha, situado a uma distância maior do córrego. Outra fonte de contaminação é o sumidouro próximo aos banheiros (Figuras 15 e 16), que se encontra aproximadamente a 50 metros do poço

mencionado. Em discussão acerca da contaminação do aquífero freático, Zavoudakis (2007) entende que a contaminação do solo é comumente ocasionada pela disposição inadequada de efluentes, resíduos e produtos contaminados, permitindo a difusão dos agentes poluentes contidos nesses materiais por processos como lixiviação ou solubilização no meio físico, podendo eventualmente atingir a zona freática.



Figuras 11 e 12. O despejo de efluentes domésticos no córrego, que está assoreado e apresenta acúmulo de resíduos sólidos e vegetação densa, próximo ao Parque Salutaris, município de Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro.



Figuras 13 e 14. Infraestrutura de encanamento coletor incipiente das casas onde os efluentes gerados são lançados diretamente no córrego sem qualquer tratamento prévio, próximo ao Parque Salutaris.



Figura 15. Banheiros localizados a, aproximadamente, 50m do Poço Nilo Peçanha, onde o sumidouro foi instalado ao lado.

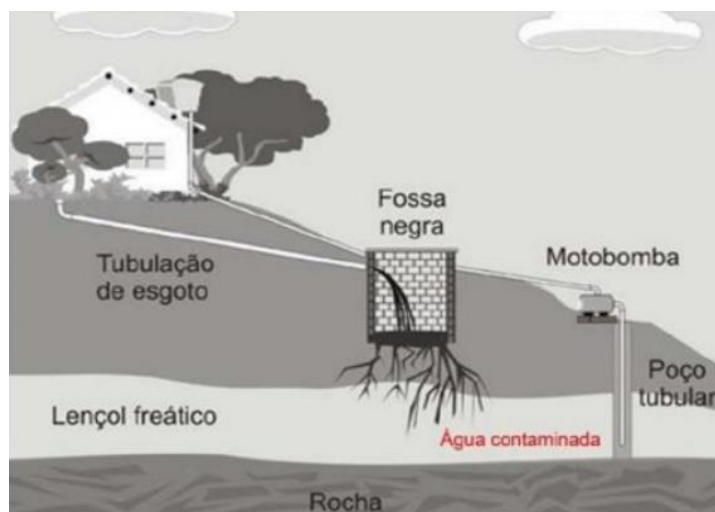
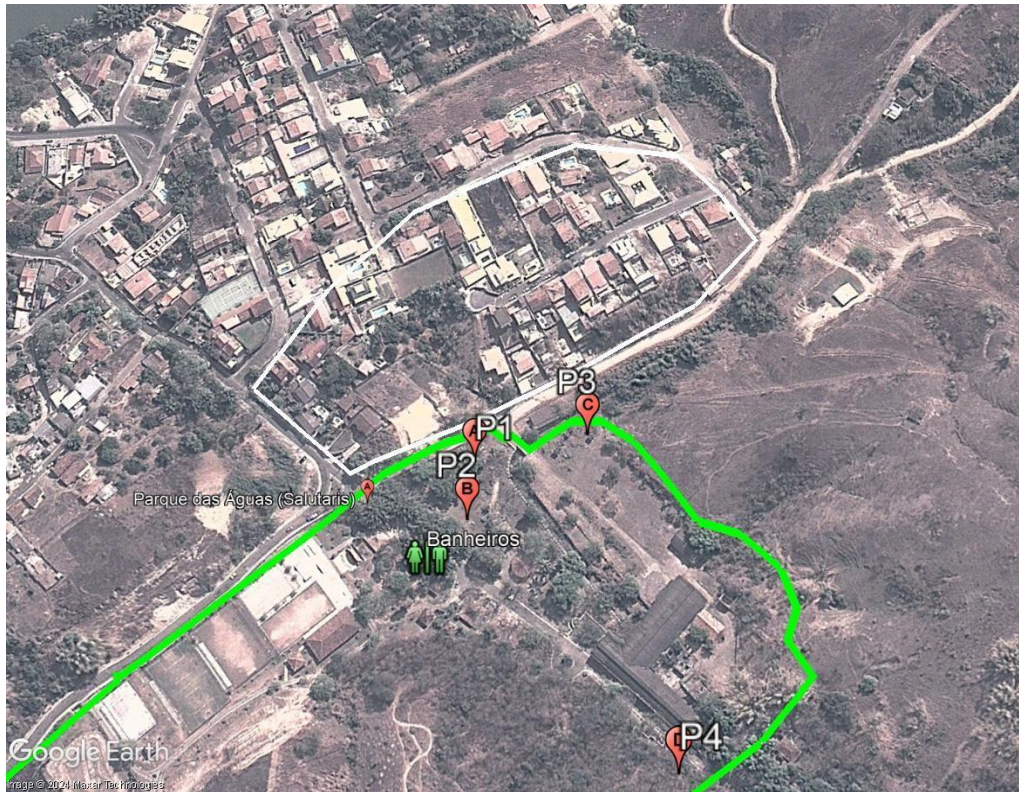


Figura 16. Imagem demonstrativa de como pode ocorrer uma contaminação do lençol freático por problemas em fossas negras. Fonte: Ribeiro (2014).

As figuras 17 e 18 ilustram uma comparação temporal entre os anos de 2011 e 2024, abrangendo uma área de influência de 2,85 ha. Observa-se um crescimento moderado no número de residências no bairro Salutaris ao longo deste período. A análise sugere a possível ausência de sistemas de tratamento de efluentes nas residências, a falta de manutenção adequada desses sistemas e a proximidade dos poços de abastecimento do parque. Isso destaca a

necessidade imediata de implementação de tratamento de efluentes e controle analítico das condições quali-quantitativas das águas subterrâneas da região, devido ao possível risco de contaminação por efluentes domésticos.



Figuras 17 e 18. Urbanização que impacta diretamente na proximidade do lançamento de efluentes em áreas adjacentes ao parque. Fonte: elaborado pela autora na plataforma *Google Earth* (2024).

Também em campo, foi evidenciada uma significativa presença de cães abandonados no parque, os quais podem representar uma fonte adicional de contaminação por meio de suas fezes. A presença de cães abandonados pode contribuir para a disseminação de agentes patogênicos presentes nas fezes, podendo afetar a qualidade ambiental do parque e potencialmente representar riscos à saúde pública. A CETESB (2009) afirma que a *Escherichia coli* é de origem predominantemente fecal, sendo comumente encontrada em fezes de humanos, mamíferos e aves em alta densidade. Sua presença na água e no solo sem contaminação fecal é rara.

Os resultados deste estudo indicam que as atividades de uso e ocupação do solo nas áreas circundantes e no próprio Parque Salutaris podem exercer influência na qualidade da água das nascentes. O planejamento urbano e regional deve integrar preocupações abrangentes relacionadas à sustentabilidade ambiental, econômica e social, visando garantir o equilíbrio dos processos ecológicos. Isso implica na minimização de problemas atuais e na prevenção de futuros. A preservação das áreas de recarga subterrânea desempenha um papel fundamental na salvaguarda da quantidade e qualidade da água infiltrada. Da mesma forma, a proteção das nascentes, em conformidade com as Áreas de Preservação Permanente, constitui uma importante vertente a ser considerada na gestão de ecossistemas aquáticos e hidrológicos. Assim, a definição dos perímetros de proteção é essencial em planos de proteção de poços. Além disso, é crucial o ordenamento do uso do solo urbano, especialmente nas áreas com poços destinados ao abastecimento público. Corroborando com esta informação, Foster e Skinner (1995) ressaltam que uma zona de proteção interna é frequentemente estabelecida para salvaguardar a captação subterrânea contra atividades que representam potenciais fontes de parasitas, bactérias e vírus patogênicos. Sobre o assunto, Mira *et al.* (2017) entende que a zona de proteção de um poço é estabelecida geograficamente com base em dados hidrogeológicos para proteger contra possíveis contaminações da água subterrânea captada, assegurando sua qualidade para uso humano. A maioria dos países utiliza zonas principais definidas com base na distância em metros a partir do poço, levando em consideração o tempo de deslocamento da água subterrânea ou contaminante, expresso em dias e anos, podendo ser categorizadas conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Principais zonas utilizadas em áreas de proteção de poços. Fonte: Adaptado de Adams e Foster (1992), Foster e Skinner (1995), Foster *et al.* (2003) e Mira *et al.* (2017).

Zona	Definição	Características
Zona Operacional do Poço	Envolve toda a área ao redor da obra de captação; qualquer contaminação leva poucas horas para atingir a água.	Raio ideal de até 20 metros (Wahnfried e Hirata, 2005); precisa ser protegida por tela e o chão coberto por laje de cimento.
Zona de Proteção Microbiológica	Protege contra a ação microbiológica que ocorre nos aquíferos devido à água residual e esgoto, permitindo a proliferação de parasitas, bactérias e vírus patógenos que são causadores de doenças.	O raio é definido pelo tempo de trânsito da água na zona saturada do aquífero, sendo geralmente usado o tempo entre 10 e 100 dias, tempo médio de sobrevivência dos micro-organismos na água.
Zonas de Proteção à Longo Prazo	Objetiva a proteção a longo prazo visando o tempo necessário para remediação de acidentes que envolvam contaminantes químicos; o número das zonas é arbitrário.	O raio é definido pelo tempo de trânsito da água em anos; a escolha do tempo é arbitrária e depende do gestor, podendo ser, por exemplo, de 5 e 10 anos.
Zona Total de Captura do Poço	Abrange toda a área de água subterrânea que abastece o poço, ou seja, nessa área a proteção do poço seria total.	Devido ao intenso desenvolvimento urbano, é praticamente impossível delimitar e proteger uma área tão grande em regiões bastante habitadas.

Desta forma, o estabelecimento das zonas de proteção dos poços da área de pesquisa depende da compreensão do tempo de residência das águas subterrâneas do Parque Salutaris, o que depende de bons testes hidrodinâmicos dos poços (testes de bombeamento), que estabeleçam parâmetros como capacidade específica, transmissividade, condutividade hidráulica, etc.

A mudança e a complexidade dos processos de recarga em áreas urbanizadas, juntamente com a presença significativa de poços de extração pré-existent, representam desafios consideráveis para a análise hidrogeológica e, conseqüentemente, para a definição de zonas de proteção. Mesmo quando é viável estabelecê-las, essas zonas podem já estar ocupadas por atividades que têm potencial para poluir, como é o caso da área de estudos.

Com base nas respostas do questionário de um ex-funcionário da fábrica de águas minerais Salutaris, foi observado que aproximadamente quatro nascentes já estão secas até o momento presente. Isso é atribuído à exploração inadequada dos recursos hídricos, bem como a fatores como queimadas, desmatamento e falta de conservação ambiental. Essa constatação evidencia os impactos negativos das atividades humanas no ecossistema, destacando a importância da implementação de medidas de manejo sustentável e conservação para garantir a disponibilidade hídrica e a saúde dos recursos naturais do parque.

Embora o parque seja designado como APA, carece de fiscalização e manutenção por profissionais qualificados, o que compromete a recuperação da limitada cobertura vegetal existente. O desmatamento é um dos problemas mais graves identificados na APA Rainha das Águas, sendo diretamente associado à redução significativa da cobertura florestal e à elevada fragmentação dos remanescentes florestais (Lima *et al.* 2020). Apesar de ser um dos principais pontos turísticos do município, o parque enfrenta problemas com queimadas ilegais, falta de monitoramento contínuo e detalhado da qualidade da água, e disposição irregular de efluentes domésticos. Essa negligência, ao longo do tempo, pode contribuir negativamente tanto para a quantidade quanto para a qualidade das águas minerais utilizadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a Portaria 2.914/2011 estipule a realização periódica de análises da composição das águas minerais concedidas, somente em maio de 2023 iniciaram-se efetivamente parte de tais análises. Não foram apresentados dados sobre a composição das águas subterrâneas de compostos nitrogenados, fosfatados, elementos traços (metais e semimetais), compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, bem como a presença ou ausência de organoclorados conforme estabelecido na Portaria GM/MS 888/21. Esta situação pode comprometer a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da cidade e o consumo dessas águas pela população local. As análises laboratoriais robustas, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS 888/21, devem ser realizadas para avaliar os parâmetros de maneira abrangente, visando identificar detalhadamente os fatores que afetam a qualidade da água. A ausência de dados qualitativos das águas subterrâneas ressalta a necessidade imprescindível de um monitoramento contínuo da potabilidade das águas, dado os riscos imediatos aos aquíferos, o impacto para a saúde pública e a história do município.

Do ponto de vista das potenciais fontes de contaminação das águas, presume-se que há distintas fontes potenciais que precisam ser detalhadamente investigadas, sendo elas: o

sumidouro do banheiro do parque, devido à proximidade com os poços em operação, especialmente o Poço Nilo Peçanha, e o córrego adjacente ao parque (nordeste da área de estudos), onde efluentes domésticos da área urbana circunvizinha são lançados sem nenhum tratamento, em desacordo com a legislação brasileira.

É recomendável monitorar regularmente os casos de abandono de cachorros no parque, vetar a entrada de animais domésticos no Parque, dado o potencial para aumentar a carga de patógenos no solo, implementando medidas de controle de zoonoses adequadas.

Recomenda-se a imediata implementação de medidas como: a remoção de qualquer sumidouro dentro do parque, a instalação de sistemas de tratamento de efluentes no Parque e no bairro circunvizinho. É essencial estabelecer uma estação de tratamento de esgoto municipal, priorizando o bairro Salutaris, para cessar o despejo de efluentes no córrego adjacente, que pode estar comprometendo as águas subterrâneas. No Plano Diretor, é aconselhável restringir a urbanização nas proximidades do parque para melhor controle dos efluentes e minimização dos impactos ambientais.

Há preocupação com a exploração dos aquíferos, pois a operação contínua de um grande número de poços próximos pode levar a um rebaixamento insustentável dos níveis de água. Isso pode resultar em aumento nos custos de bombeamento, redução da eficiência dos poços, contaminações, risco de subsidência do terreno e, em casos extremos, esgotamento dos aquíferos devido à extração exceder a recarga natural.

A quantidade retirada através de captações subterrâneas ou poços é indicativa do uso atual da disponibilidade hídrica subterrânea, aconselha-se restringir o uso das águas dos poços apenas para o abastecimento do fontanário. Para usos comuns, como manutenção e abastecimento de caixas d'água, sugere-se que a administração do Parque solicite um ponto de abastecimento da concessionária Águas da Condessa.

É crucial dar continuidade aos estudos hidrogeológicos e hidroquímicos em toda a área de estudo, focando no estabelecimento de zonas de proteção dos poços e na investigação da contaminação ambiental para a preservação das águas do Parque Salutaris. Adicionalmente, é fundamental monitorar regularmente a capacidade específica dos poços, garantir bombeamentos sustentáveis e assegurar a conformidade com as outorgas pertinentes.

Além disso, é recomendável implementar medidas de combate a incêndios e realizar reflorestamento nas áreas adjacentes ao Parque, especialmente em áreas de topo de morro que atuam como zonas de recarga hídrica. A retirada do gado é também uma medida importante para facilitar o progresso do reflorestamento.

6. REFERÊNCIAS

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (2019) O que são águas subterrâneas? Disponível em: <https://www.abas.org/educacao/o-que-sao-aguas-subterraneas/>. Acessado em: 15 de março de 2024.

Abreu GMR de (2008) O princípio da precaução ambiental e o controle externo pelo Tribunal de Contas da União. Revista do TCU. Disponível em: <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/365>. Acessado em: 25 de fevereiro de 2024.

Agüero VJ, Mesalles RP (2002) Analisis de vulnerabilidad a la contaminacion de una seccion de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica. Disponível em: http://proceedings.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisis_vulnerabilidad/vulnerabilidad_acuiferoscr.htm. Acessado em: 19 de junho de 2024.

Albuquerque YM (2019) Cenário do uso dos recursos hídricos subterrâneos na Região Hidrográfica do Piabanha (RH-IV). Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://itr.ufrj.br/portal/wp-content/uploads/2019/07/Yasmin-Albuquerque.pdf>. Acessado em: 24 fevereiro de 2024.

ANA- Agência Nacional de Águas (2022) Orientações gerais para a implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos em bacias hidrográficas. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca/arquivos-cobranca/documentos-relacionados/guia-de-orientacoes-gerais-cobranca.pdf>. Acessado em: 23 de junho de 2024.

Batista MO (2017) O abastecimento de água na cidade de Vieirópolis: a importância dos aquíferos fissurais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/7373/3/MARIANA%20DE%20OLIVEIRA%20BATISTA.%20TCC%20LICENCIATURA%20EM%20GEOGRAFIA.%202017.pdf>. Acessado em: 01 de junho de 2024.

Benini RM, Mendiondo EM (2015). Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na Bacia do Mineirinho. Floresta e Ambiente, 22: 211-222. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312220534_Urbanizacao_e_Impactos_no_Ciclo_Hidrológico_na_Bacia_do_Mineirinho. Acessado em: 25 de fevereiro de 2024.

Boldrin MTN, Cutrim AO (2011) Aspectos da gestão de águas subterrâneas urbanas. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/4f2b4534ab3e2128ddff8e0f4b78b856_fddb6dbc4131bfe0063957e56442af5b.pdf. Acessado em: 21 de fevereiro de 2024.

Borges GBC (2006). Avaliação de tecnologias para o monitoramento de recursos hidrominerais: O caso do sistema aquífero São Lourenço em Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3397>. Acessado em: 24 de abril de 2024.

Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 5 out. 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acessado em: 22 de fevereiro de 2024.

Brasil. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código das Águas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643compilado.htm#obs. Acessado em: 21 de fevereiro de 2024.

Brasil. Decreto nº 7.841, de 8 de agosto de 1945. Dispõe sobre regulamentação de estâncias que exploram águas potáveis, ou de mesa, balneários, comércio de águas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del7841.htm. Acessado em: 1 de abril de 2024.

Brasil. Decreto nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Disponível em: [Del0227 \(planalto.gov.br\)](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del0227.htm). Acessado em: 23 de julho de 2024.

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Prognóstico, Medidas, Programas e Conclusão. 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/730_manual_atividades_ambientais_rodoviaras.pdf. Acessado em: 12 de abril de 2024.

Brasil. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inc. XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13.03.1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 29.12.1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acessado em: 24 de fevereiro de 2024.

Brasil. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, 1986. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745. Acessado em: 16 de abril de 2024.

Carvalho LG (2008) Paraíba do Sul: O retorno da rainha das águas minerais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Três Rios. Disponível em: https://www.itr.ufrrj.br/portal/wp-content/uploads/biblioteca/tcc/T28.pdf?_gl=1*_u1cft1*_ga*MTU4NDA4NzgWNC4xNjk2NzIyOTI5*_ga_LMSJ9K13TF*MTcxNzU0ODQ1NS4xNC4wLjE3MTc1NDg0NTUuNjAuMC4w*_ga_SJT96XRSSN*MTcxNzU0ODQ1NS4yLjAuMTcxNzU0ODQ1NS4wLjAuMA. Acessado em 28 de fevereiro de 2024.

Castro JE (2007) Water Governance in the twentieth-first century. Ambiente e sociedade 10: 97 - 118. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/gwKvL3Y8vGm685z797KdR9C/?format=pdf&lang=en>. Acessado em: 12 março de 2024.

Cavalcante IN, Sabadia JAB (1992) Potencial hídrico subterrâneo: um bem mineral ameaçado pela poluição antrópica. Fortaleza: Revista Geologia 5: 115-124. Acessado em: 16 de abril de 2024.

CETESB- Companhia Ambiental do estado de São Paulo (2009) Poluição das águas subterrâneas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/poluicao-das-aguas-subterraneas/> Acessado em: 25 de junho de 2024.

Corval A, Miranda AWA, Tapajós T (2014) Modelos geodinâmicos para o segmento central da Faixa Ribeira e de reativação da porção meridional da Plataforma Sul Americana no Cretáceo Inferior. Revisão geológica não publicada. Acessado em: 10 de junho de 2024.

Costa ACM da, Santos MA dos (2000) A gestão dos Recursos Hídricos no Brasil e a questão da água subterrânea. Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24344>. Acessado em: 21 de fevereiro de 2024.

Costa CRR da, Bichueti RS, Kneipp JM, Dubou G, Pires EA (2018) A inserção da sustentabilidade no planejamento urbano: Uma análise das estratégias da gestão municipal nos planos diretores das capitais da região sul. XX ENGEMA. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/20/anais/arquivos/295.pdf>. Acessado em: 06 de maio de 2024.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais/ Serviço Geológico do Brasil (2008) Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 835p. Acessado em: 06 de maio de 2024.

Cruz IFD (2014) Geoquímica do Flúor dissolvido nas águas minerais do Parque Salutaris, Paraíba do Sul, RJ. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Três Rios. Disponível em: <https://itr.ufrj.br/portal/wp-content/uploads/2017/09/monografia-ingrid-fernandes-dias-da-cruz-1.pdf>. Acessado em: 26 de fevereiro de 2024.

Cruz IFD (2016) Modelagem Hidrogeoquímica das águas minerais do Parque Salutaris, Paraíba do Sul, RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Niterói. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/2274/Ingrid_Dias_Dissertacao_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em: 24 de fevereiro de 2024.

Daniel S (2020) Requalificação do patrimônio histórico como ferramenta de preservação para a antiga fábrica de Águas Minerais Salutaris de Paraíba do Sul -RJ. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade Doctum De Juiz de Fora. Juiz de Fora. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/3553/1/Sabrina%20Daniel.pdf>. Acessado em: 25 de fevereiro de 2024.

Daronco GC (2013) Evolução histórica da legislação brasileira no tratamento dos recursos hídricos: das primeiras legislações até a Constituição Federal de 1988. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013_PAP012338.pdf. Acessado em 22 fevereiro de 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Serviço Geológico do Brasil (2000) Estudo Geoambiental do estado do Rio de Janeiro: Os solos do estado do Rio de Janeiro.

Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17229/9/rel_proj_rj_solos.pdf. Acessado em: 29 de abril de 2024.

FCPS – FUNDAÇÃO CULTURAL DE PARAÍBA DO SUL (2024) Dados históricos do Parque Salutaris.

Foster S, Skinner AC (1995) Groundwater Protection: The Science and Practice of Land Surface Zoning. International Association of Hydrological Sciences.

Freire CC (2002) Outorga e Cobrança: Instrumentos de gestão aplicados à água subterrânea. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22713>. Acessado em: 23 de junho de 2024.

Gleick PH (2020) Water, food, and population. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 62: 2-14. Acessado em: 04 março de 2024.

Goetten WJ (2015) Avaliação da Governança da Água Subterrânea nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Regional de Blumenau. Blumenau. Disponível em: <https://observatoriodasaguas.org/wp-content/uploads/2019/09/AVALIA%C3%87AO-DA-GOVERNAN%C3%87A-DA-%C3%81GUA-SUBTERR%C3%82NEA-NOS-ESTADOS-DE-S%C3%83O-PAULO-PARAN%C3%81-SANTA-CATARINA-E-RIO-GRANDE-DO-SUL-.pdf>. Acessado em: 10 março 2024.

Gogoi A, Mazumder P, Tyagi V. K, Chaminda GGT. N AK, Kumar, M. (2018) Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. Groundwater for Sustainable Development, 6, 169 - 180. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>. Acesso em: 23 de julho de 2024.

Gomes MAF (2008) Importância, ocorrência, volume, distribuição e uso das águas subterrâneas no Brasil. Embrapa Meio Ambiente, Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149146/1/2008CL-13.pdf>. Acessado em: 21 fevereiro 2024.

Gomes OVO, Cruz IFD, Marques ED, Tapajós T, Corval A, Valente SC, Garcia JMP, Miranda AWA, Silva-Filho EV (2013) Caracterização hidrogeoquímica preliminar das águas do Parque Salutaris, Paraíba do Sul – RJ. Congresso de Geoquímica. Diamantina – MG. Acessado em: 16 de abril de 2024.

Gonçalves RD, Engelbrecht BZ, Chang HK (2016) Análise hidrológica de séries históricas da Bacia do Rio Grande (BA): contribuição do Sistema Aquífero Urucuaia. Águas Subterrâneas 30:190–208, DOI: 10.14295/ras.v30i2.28514. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28514> Acessado em: 26 de fevereiro de 2024.

Grupo CPFL (2021) Estudo de Impacto Ambiental LT 230kV Itá - Pinhalzinho 2, LT 230kV Itá – Xanxerê e Subestações Associadas. Santa Catarina. Disponível em: <https://www2.grupocpfl.com.br/sites/default/files/2021-12/14-lote5-prognostico.pdf>. Acessado em: 06 de junho de 2024.

Hirata R, Suhogusoff A, Marcellini SS, Villar PC, Marcellini L (2019) As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo: Instituto de Geociências da USP. 66p.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente (2014) Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/Diagn%C3%B3stico-%C3%81guas-Subterr%C3%A2neas.pdf>. Acessado em: 25 de maio de 2024.

INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2008). Estudo de Impacto Ambiental - Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) da BR-319. Disponível em: https://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BR-319/Documentos%20Oficiais/EIA-RIMA/Final%20version/Vol5_Prognostico_Medidas_Programas_Conclus%C3%A3o.pdf. Acessado em: 19 de abril de 2024

Küster IS, Lemos ECL (2018) Uma análise da superexploração das águas subterrâneas no município de Boa Esperança – ES. *Natureza online* 16: 31-39. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3397>. Acessado em: 19 de fevereiro de 2024.

Lehr JH, Keeley JW, Lehr KK, Kingery TB (2005) *Water Encyclopedia*. New York: Wiley. 836 p.~

Lima MC, Menezes SJMC, Almeida FS (2020) Área de Proteção Ambiental Rainha das Águas do município de Paraíba do Sul (RJ, Brasil): estudo da cobertura florestal, contingências e manejo. *Ciência Florestal*. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509841980>. Acessado em: 22 de julho de 2024.

Lima TAS, Castro PTA (2023) Introdução às águas subterrâneas: Conceitos e ocorrências no Brasil. *Ciências Exatas e da Terra: teorias e princípios*. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/ciencias-exatas-e-da-terra-teorias-e-principios-2>. Acessado em: 09 de março de 2024.

Lima WP de (2008) Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. 253 p. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/hidrologia_florestal_aplicada_ao_manejo_de_bacias_hidrograficas.pdf. Acessado em: 04 de junho de 2024.

Mello K, Taniwaki RH, Paula FR de, Valente RA, Randhir TO, Macedo DR, Leal CG, Rodrigues CB, Hughes RM (2020) Desmatamento, expansão agrícola, crescimento urbano e mineração afetam a qualidade da água nos rios brasileiros. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.ib.usp.br/mais-noticias/3189-desmatamento-expansao-agricola-crescimento-urbano-e-mineracao-afetam-a-qualidade-da-agua-nos-rios-brasileiros.html>. Acessado em: 06 de junho de 2024.

Mira T, Lousada G, Filho DT, Sousa GM de (2017) Integração entre áreas de proteção de poços, vulnerabilidade de aquíferos e uso e cobertura do solo como plano de gestão de recursos hídricos: um estudo de caso dos poços de Seropédica/RJ. *Revista Continentes (UFRRJ)* 6:10.

Disponível em: <https://revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/125/119>. Acessado em: 03 de junho de 2024.

Mindrisz AC (2006) Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo: uma contribuição à gestão ambiental. Dissertação de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-28092006-091158/publico/TESE_AnaCopatMindrisz.pdf. Acesso em: 23 de julho de 2024.

Nascimento FMF (2012) Aquíferos do estado do Rio de Janeiro. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27673/17928>. Acessado em: 24 de junho de 2024.

Neves MA, Pereira SY, Morales N (2002) Comportamento do aquífero fissural na microbacia do córrego da cachoeira, município de Vinhedo (SP). XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/22065/14426/79519>. Acessado em: 17 de abril de 2024.

Pires CLF (2000) O Instrumento da Outorga de Uso na Gestão de Recursos Hídricos. Revista Souza Marques 1: 3 Disponível em: https://revista.souzamarques.br/index.php/REVISTA_SOUZA_MARQUES/article/view/196/345. Acessado em: 23 de junho de 2024.

Ribeiro CG (2014) Tratamento e captação de água no campo. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/tratamento-e-captacao-de-agua-no-campo>. Acessado em: 02 de julho de 2024.

Rio de Janeiro. Lei 3.239 de 02 de agosto de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta a Constituição Estadual em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII, e dá outras providências. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/rj/lei-ordinaria-n-3239-1999-rio-de-janeiro-institui-a-politica-estadual-de-recursos-hidricos-cria-o-sistema-estadual-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos-regulamenta-a-constituicao-estadual-em-seu-artigo-261-paragrafo-1o-inciso-vii-e-da-outras-providencias>. Acessado em: 24 julho 2024.

Rodrigues LJ (2014) Avaliação de Risco para consumo humano de Flúor dissolvido nas águas minerais do Parque Salutaris, Paraíba do Sul, RJ. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://itr.ufrj.br/portal/wp-content/uploads/2017/09/monografia-leonardo-jatoba-rodrigues-1.pdf>. Acessado em: 24 de fevereiro de 2024.

Rosa AF (2017) Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio - MG. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19693/1/impactosUrbanizacaoCiclo.pdf>. Acessado em: 10 de março de 2024.

CSchroeder SS (2009) O princípio da precaução no Direito Ambiental. Revista da Faculdade de Direito da Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistafadir/article/download/18482/9910>. Acessado em: 06 de março de 2024.

Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (2023) Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Projeto Fazenda Pimenteiras. Disponível em: <https://siga.semar.pi.gov.br/media/uploads/2023/08/04/d8056d1c-68ff-45df-981d-bb1d8690372a.pdf>. Acessado em: 06 de junho 2024.

Senado Federal (2017) Rio noventa e dois: vinte e cinco anos. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/589791>. Acessado em: 10 de março de 2024.

Silva AF, Costa MT (2016) Outorga de direito de uso de recurso hídrico como instrumento que precede o licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1315>. Acessado em: 23 de junho de 2024.

Silva NC (2018) Efeitos associados a micropoluentes de preocupação emergente em corpo hídrico de um município de médio porte. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/41455971-8a11-4286-b023-f30dad18b806/content>. Acessado em: 23 de julho de 2024.

Silva PG da (1991) Capítulos da história de Paraíba do Sul. Rio de Janeiro, Ed. Companhia Brasileira de Artes Gráficas. p. 36-37. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/46913901/Capitulos-de-Historia-de-Paraiba-do-Sul>. Acessado em: 04 de maio de 2024.

Sousa VG (2010) Diagnóstico e prognóstico socioeconômico e ambiental das nascentes do riacho das piabas (PB). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/17021/VENEZIANO%20GUEDES%20DE%20SOUSA%20-%20DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20PPGRN%202010.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acessado em: 09 de março de 2024.

UNESCO - Organização das Nações Unidas (2022) Águas subterrâneas: Tornar visível o invisível. Disponível em: [Água subterrânea, tornando visível o invisível | Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água 2022 da ONU \(unesco.org\)](https://www.unesco.org/en/water/whats-new/2022/04/groundwater-making-the-invisible-visible). Acessado em: 13 de março 2024.

Villar PC (2016) As Águas Subterrâneas e o Direito à Água em um Contexto de Crise. Ambiente & Sociedade 19: 83-102, jan./mar. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/TWhNrmq5nKsLBLTSSKNbtbm/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em: 11 de abril de 2024.

Wahnfried I, Hirata R (2005) Perímetros de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos. Anais dos XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1190>. Acessado em: 03 de junho de 2024.

Wu WY, Lo MH, Wada Y *et al.* (2020) Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. Nat Commun. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>. Acessado em: 19 de junho de 2024.

Zapater TCV (2020) Princípio da prevenção e princípio da precaução. Enciclopédia jurídica da PUC-SP. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/356/edicao-1/principio-da-prevencao-e-principio-da-precaucao>. Acessado em: 05 de março de 2024.

Zavoudakis E (2007) Impactos da urbanização sobre a qualidade da água freática em áreas de Vitória, ES. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_2634_Dissertacao_2007_Elene_Zavoudakis.pdf.pdf. Acessado em: 27 de abril de 2024.

7. APÊNDICES

APÊNDICE I

QUESTIONÁRIO 1

1. Há quanto tempo você trabalha no parque?
2. Quantos poços existem no parque e onde eles estão localizados? (tirar coordenadas - tirar fotos).
3. Quais poços estão sendo utilizados atualmente?
4. Onde era a nascente dos sapos - 1a nascente do parque Salutaris (tirar coordenadas - tirar fotos)?
5. Você conhece alguma nascente atualmente dentro do parque? Sabe se alguma nascente já secou? E quando?
6. Durante o tempo que você trabalhou no parque, algum dos poços secou? Quando foi isso (mês/ano)?
7. Quanto tempo as bombas dos poços ficam ligadas por dia (vazão diária do poço)?
8. Nos períodos (anos anteriores) vocês utilizavam a mesma quantidade de água que usam hoje? O consumo de água aumentou ou diminuiu ao longo do tempo? Se aumentou, a partir de que ano? Nos últimos 10 anos, a bomba ficou ligada ao mesmo tempo que hoje? Mais ou menos tempo?
9. De onde vem a água que encheu o lago? Quando o nível do lago diminui, vocês enchem com qual água?
10. Quantos banheiros existem no parque? Localizar - tirar coordenadas - tirar fotos
11. Tem caixa de gordura no parque? Onde? Localizar - tirar coordenadas - tirar fotos
12. Quando os banheiros foram construídos e ou reformados?
13. A vegetação no parque aumentou ou diminuiu até hoje?
14. Como era a vegetação do parque a 5 anos?
15. Aumentaram as visitas no parque ao longo de 5 anos?
16. Você tem ideia de quantas pessoas pegam água no parque? Essa busca por galões de água para beber no parque aumentou ou diminuiu?
17. Aconteceu algo no parque ou arredores a partir de junho/2023 (obras na rua, na casa ao lado do parque, criação de animais)?
18. Você já notou algo estranho nas águas do parque, como cheiro ou gosto diferente?

19. Com que frequência vocês lavam as caixas d'água das águas das fontes?
20. Você conhece alguém, ao redor do parque, que faça criação de galinhas, porcos ou etc?
21. Ao longo das estações do ano, você percebe que há períodos em que os poços dão mais ou menos água?
22. Quais problemas já ocorreram com os poços do parque (entupiu, secou, diminuiu a água, etc)?
23. Tem algo diferente com os poços que você já tenha percebido e nós não perguntamos?

APÊNDICE II

QUESTIONÁRIO 2

1. Qual foi a data em que o funcionamento das fontes foi restabelecido após a interrupção?
2. Que tipo de tratamento específico foi aplicado à água antes de ser distribuída através do fontanário? Por exemplo, foi utilizado um processo de desinfecção como cloração ou ozonização?
3. Foram conduzidos estudos de contaminação do lençol freático para avaliar a presença de quais contaminantes específicos e suas concentrações?
4. Quais análises detalhadas foram realizadas para investigar a origem da contaminação dos poços?