UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA VOLTADA A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS PARA ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS NA UGRHI-18, BACIA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS, NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

LEONARDO NEMÉSIO ALVES DA SILVA

Prof. Dr. Didier Gastmans (orientador)
Marcelo Donadelli Sacchi (coorientador)

RIO CLARO - SP

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

LEONARDO NEMÉSIO ALVES DA SILVA

PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA VOLTADA A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS PARA ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS NA UGRHI-18, BACIA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS, NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro – SP

2022

S586p

Silva, Leonardo Nemésio Alves da

Prospecção hidrogeológica voltada a implantação de projetos para águas minerais ensavadas na UGRHI-18, Bacia do Rio São José dos Dourados, Noroeste do estado de São Paulo / Leonardo Nemésio Alves da Silva. -- Rio Claro, 2022

62 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Didier Gastmans

Coorientador: Marcelo Donadelli Sacchi

1. Águas Subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Prospecção. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

LEONARDO NEMÉSIO ALVES DA SILVA

PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA VOLTADA A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS PARA ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS NA UGRHI-18, BACIA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS, NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Didier Gastmans.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Didier Gastmans - Orientador

Prof. Dr José Eduardo Zaine

Me. Giancarlo Pinto Saraiva

Rio Claro, 14 de Dezembro de 2022.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que participaram do processo de produção e finalização deste trabalho. Em especial, ao Dr. Didier Gastmans pela oportunidade de trabalho em conjunto e ao amigo Marcelo Sacchi (vulgo Cardio) pelo acompanhamento no processo.

Agradeço aos meus pais e a minha avó pela estrutura fornecida durante este tempo em Rio Claro, a Unesp Rio Claro pelo conhecimento fornecido e experiências de vida, e a todos os funcionários da instituição que propiciam aos alunos as condições necessárias para sua formação como profissionais e cidadãos.

“Eu, ninguém vai bater tão duro como a vida, mas não se trata de bater duro
se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente,
o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando,
É assim que se consegue vencer!”
Rocky Balboa

PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA VOLTADA A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS PARA ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS NA UGRHI-18, BACIA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS, NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Resumo

O presente trabalho baseia-se na proposta de um modelo de prospecção hidrogeológica em escala regional do Sistema Aquífero Bauru (SAB), com ênfase na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia São José dos Dourados (UGRHI-18), localizada a Noroeste do Estado de São Paulo. Esta região, estabelecida por 25 municípios, apresenta características hidrológicas e geológicas favoráveis para a prospecção e possível implantação de processos industriais visando a exploração e explotação de água mineral envasada. Para tal objetivo, foram avaliados de forma individual e estatística parâmetros econômicos, geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos dos municípios, adquiridos através de bases de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). O Processo, subdividido em duas etapas (Fase Preliminar e Refinamento), atribuiu aos municípios analisados pontuações que permitem seu ranqueamento, evidenciando locais com maiores ou menores propensões para campanhas prospectivas de maior detalhamento. A Fase Preliminar tem por objetivo analisar aspectos econômicos, geológicos e hidrológicos, resultando em uma classificação preliminar e interpretações espaciais dos locais com maiores favorabilidades geológicas para a prospecção mineral. A Fase de Refinamento tem como pilar a classificação hidroquímica das águas subterrâneas dos municípios, responsável por assegurar a segurança do consumo humano, sua comercialização e sua classificação mineral. Ao término das etapas, foram elaborados gráficos e mapas temáticos para a interpretação espacial dos dados, além do ranqueamento final que permitiu assegurar municípios dentro da UGRHI-18 propensos a campanhas de prospecção mineral de maior detalhamento.

Palavras-chave: Prospecção Hidrogeológica, Água Mineral, Sistema Aquífero Bauru

Abstract

This essay is based on the proposal of a model of hydrogelogical prospecting in the regional scale of Bauru's Aquifer System (BAS), focusing on the Management Unit of Water Resources of São José dos Dourados' Basin, located to the Northwest of the State of São Paulo. This region, which englobes 25 municipalities, presents both hydrological and geological characteristics that are favorable for the prospection and exploitation of packed mineral water. In order to achieve this, multiple parameters such as economical, hydrogeological and hydrochemical of the municipalities were evaluated using data collected from the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) and Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. The process was divided in 2 steps: Preparatory and Refinement, which in turn allowed for the ranking of the municipalities in terms of bigger or smaller chances of achieving success on the water prospection campaigns. The Preparatory phase focuses on analysing economical, geological and Hydrological aspects, resulting in a preliminary ranking of the places with better geological favorabilities for the mineral prospection. The Refinement phase has in its core the hydrochemical grading of the subterranean water of the municipalities, parameters responsible for the safety of human consumption and commercialization. After both phases, charts and maps were elaborated for the better visualization of data. The categorization of the final ranking of the municipalities allowed the emphasis on the ones most prone to the mineral prospection.

Keywords: Hydrogeological Prospecting, Mineral Water, Bauru's Aquifer System

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representação dos aquíferos livre e confinado. Fonte: Borghettil (2004). 3
Figura 2: Classificação de aquíferos quanto à porosidade. Fonte: Borghetti (2004). 4
Figura 3: Perfil esquemático de uma bacia, indicando o balanço hídrico (setas maiores), direção do fluxo de água (setas menores), Recarga (R) e Drenagem (D). Adaptado de: Healy (2010). 5
Figura 4: Localização da UGRHI 18 e demais bacias adjacentes. Adaptado de: Plano de Bacias (2008). 10
Figura 5: Municípios constituintes da UGRHI-18 11
Figura 6: Mapa geológico simplificado da Bacia Sedimentar do Paraná. Fonte: Milani (2004). 13
Figura 7: Localização do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Fonte: Silva (2003). 14
Figura 8: Quadro estratigráfico do Grupo Bauru. Fonte: Soares et al., (1980). 16
Figura 9: Área de exposição do Sistema Aquífero Bauru nos estados de Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. Adaptado de: CPRM (2012). 17
Figura 10: Critérios Exploratórios para caracterização e categorização de áreas favoráveis à implementação de projetos de águas minerais. Modificado de: Saraiva (2020). 23
Figura 11: Favorabilidade econômica dentre os municípios alvos. 28
Figura 12: Mapa de categorização do parâmetro “Aspecto Econômico” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 28
Figura 13: Mapa de localização e distribuição dos poços adquiridos através da base de dados SIAGAS, totalizando 828 investigados e categorizados. 29
Figura 14: Capacidade Específica dentre os municípios alvos. 30
Figura 15: Mapa de categorização do parâmetro “Capacidade Específica” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 31
Figura 16: Densidade de Poços/100km² dentre os municípios alvos. 32
Figura 17: Mapa de categorização do parâmetro “Densidade de Poços/100km²” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 32
Figura 18: Espessura de Aquífero dentre os municípios alvos. 33
Figura 19: Mapa de categorização do parâmetro “Espessura de Aquífero” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 34
Figura 20: Categorização Preliminar dentre municípios alvos. 35
Figura 21: Mapa de Categorização Preliminar dentre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 35
Figura 22: Parâmetro de Condutividade Elétrica entre os municípios alvos. 37
Figura 23: Mapa do parâmetro Condutividade Elétrica entre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 37
Figura 24: Parâmetro Nitrato entre os municípios alvos. 38
Figura 25: Mapa do parâmetro Nitrato entre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 39
Figura 26: Parâmetro Fluoreto entre os municípios alvos. 40
Figura 27: Mapa do parâmetro Fluoreto entre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 40
Figura 28: Refinamento Hidroquímico dentre os municípios. 41
Figura 29: Mapa de Categorização Hidroquímica entre os municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 42
Figura 30: Ranqueamento final entre os municípios favoráveis à implementação de projetos de exploração de água mineral. 43

Figura 31: Mapa de Ranqueamento Final e Definição de Potenciais Alvos Exploratórios entre os municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais. 44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação Química das águas minerais, segundo Art: 35º Decreto Lei 7.841 08/08/1945 (BRASIL, 1945). Fonte: Saraiva (2020). 6
Tabela 2: Fontes de água mineral, segundo Art: 35º Decreto Lei 7.841 08/08/1945 (BRASIL, 1945). Fonte: Saraiva (2020). 7

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1. Objetivos e Justificativas 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **3**

2.1. Águas subterrâneas 3

2.1.1. *Tipos de aquíferos* 3

2.1.2. *Propriedades de aquíferos* 4

2.1.3. *Recarga de aquíferos* 5

2.2. Água mineral 6

2.2.1. *Definição e composição química da água mineral* 6

2.2.2. *Importância econômica* 7

2.2.3. *Prospecção de águas subterrâneas* 8

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO **10**

3.1. Características gerais 10

3.2. Geologia regional 12

3.2.1. *Bacia sedimentar do Paraná* 12

3.2.2. *O Grupo Bauru* 14

3.3. Caracterização hidrogeológica 17

3.4. Aspectos geomorfológicos e pedológicos 18

3.5. Aspectos hidrometeorológicos 19

4. METODOLOGIA **21**

4.1. Modelo de prospecção e aquisição de dados 21

4.2. Avaliação preliminar 24

4.2.1. *Aspectos econômicos* 24

4.2.2. *Aspectos hidrogeológicos e geológicos* 24

4.2.2.1. *Capacidade específica* 25

4.2.2.2. *Densidade de poços* 25

4.2.2.3. *Espessura de aquífero* 25

4.2.2.4. *Grau de confinamento do aquífero* 25

4.3. Etapa de refinamento 25

4.3.1. *Condutividade elétrica* 26

4.3.2. *Nitrato* 26

4.3.3. *Fluoreto* 26

5. RESULTADOS DA PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA NA UGRHI-18, BACIA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS **27**

5.1. Avaliação preliminar 27

5.1.1. *Aspectos econômicos* 27

5.1.2. *Aspectos hidrogeológicos e geológicos* 29

5.1.2.1. *Capacidade específica* 30
5.1.2.2. *Densidade de poços* 31
5.1.2.3. *Espessura de aquífero* 33
5.1.3. *Categorização preliminar* 34
5.2. Refinamento 36
5.2.1. *Condutividade elétrica* 36
5.2.2. *Nitrato* 38
5.2.3. *Fluoreto* 39
5.3. Refinamento hidroquímico - Categorização 41
5.4. Ranqueamento final e definição de alvos exploratórios 42
6. DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES 45
7. CONCLUSÃO 48
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se caracteriza, no contexto mundial, como um dos principais consumidores globais de água mineral, representando a décima quinta posição no ranking mundial, com crescimento de consumo “Litros Per Capita” de 21% entre 2013 a 2018 (RODWAN JR, 2019). Em 2017, a produção total declarada desse bem mineral foi de 8,44 bilhões de litros, na qual o estado de São Paulo apresentou 20,8% deste total (BRASIL, 2020).

A exploração deste recurso está condicionada à autorização ou concessão da União Federal Através de Portaria de Lavra e de acordo com o Código de Águas Minerais (Decreto Lei n° 7.841, de 08 de agosto de 1945). Ao final de 2017, eram registradas 1.205 Concessões de Lavra de água mineral e potável de mesa, na qual 151 complexos produtivos de água mineral envasada e fabricação de bebidas estão localizados no Estado de São Paulo (BRASIL, 2020).

O Sistema Aquífero Bauru (SAB) é um aquífero sedimentar, de extensão expressiva, ocupando a metade oeste do Estado de São Paulo (STRADIOTO *et al*., 2019). Por apresentar a característica de aquífero livre, a perfuração de poços tubulares e captação de água são favorecidos. A produtividade dos poços alocados nesse sistema é média a altos, e a qualidade da água apresenta condições favoráveis para consumo humano (IRITANI & EZAKI, 2008). São identificados pontos, nas extensões do SAB, de contaminação de Nitrato, possivelmente associados à crescente urbanização da região, aliado ao extensivo uso agrícola para cultivo de cana-de-açúcar (STRADIOTO *et al*., 2019). As amostragens de águas realizadas em áreas urbanas permitem deduzir que a contaminação através de vazamentos da rede de esgoto (STRADIOTO *et al*., 2019), fomentando a necessidade de prospecções minerais que considerem parâmetros hidroquímicos para a definição de potenciais alvos exploratórios.

A apresentação de características favoráveis ao desenvolvimento de atividades exploratórias de água mineral configura o Sistema Aquífero Bauru como um alvo relevante para pesquisas e prospecções minerais. Dentro desse contexto, a Bacia Hidrográfica São José dos Dourados, localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 18 foi selecionada para a validação da metodologia de

prospecção de água mineral idealizada por Saraiva (2020),que consiste em ranquear os municípios inseridos no contexto da UGRHI-18 através de aspectos econômicos, hidrogeológicos, geológicos e hidroquímicos, a fim de classificar as áreas com maior/menor favorabilidade de implantação de projetos industriais de águas minerais.

1.1. Objetivos e Justificativas

O projeto em questão tem como finalidade aplicar a metodologia de prospecção hidrogeológica confeccionada por Saraiva (2020), no contexto da Bacia Hidrográfica São José dos Dourados, para realizar uma seleção criteriosa de potenciais alvos de exploração mineral, visando reduzir os riscos de investimento e propiciando um cenário de tomada de decisões mais assertivo no âmbito de obtenção deste recurso para o mercado de água mineral, resultando na posterior implantação e desenvolvimento de atividades industriais.

A grande relevância econômica deste recurso mineral no Brasil enfatiza a importância da realização de estudos que permitam dimensionar as potencialidades de exploração nos diversos cenários hidrogeológicos. A seleção da UGRHI-18 , inserida no Sistema Aquífero Bauru, é baseada no contexto econômico na qual está inserida, suas características hidrogeológicas favoráveis e sua localização no Estado de São Paulo, que apresenta parcela significativa no consumo de água mineral envasada no contexto nacional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Águas subterrâneas

2.1.1. *Tipos de aquíferos*

As águas subterrâneas podem se alojar em formações geológicas diversas. Segundo Giampá & Golçales (2006), as classes hidrogeológicas dos sedimentos ou rochas armazenadoras podem ser determinadas através de propriedades físicas do sistema rocha/água. Como a porosidade específica, relacionada ao transporte, e a permeabilidade, relacionado ao armazenamento, resultando em: Clas

A partir desta classificação, as formações geológicas com grau suficiente de permeabilidade e porosidade específica são classificadas como aquíferos.

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão das águas em suas superfícies limítrofes (Figura 1): Aquífero livre (próximo a superfície, estabelecido em uma formação geológica permeável-apresenta recarga direta-cujo nível de água está interligado com a quantidade de chuvas e apresenta maior suscetibilidade a exploração e contaminação), Aquífero confinado (localizado entre camadas impermeáveis ou semipermeáveis, cuja recarga ocorre de forma indireta através de chuvas em locais permeáveis aflorantes) e Aquífero suspenso (localizado acima do nível regional freático, acima de uma camada finita de baixa permeabilidade que não armazena ou transmite água).

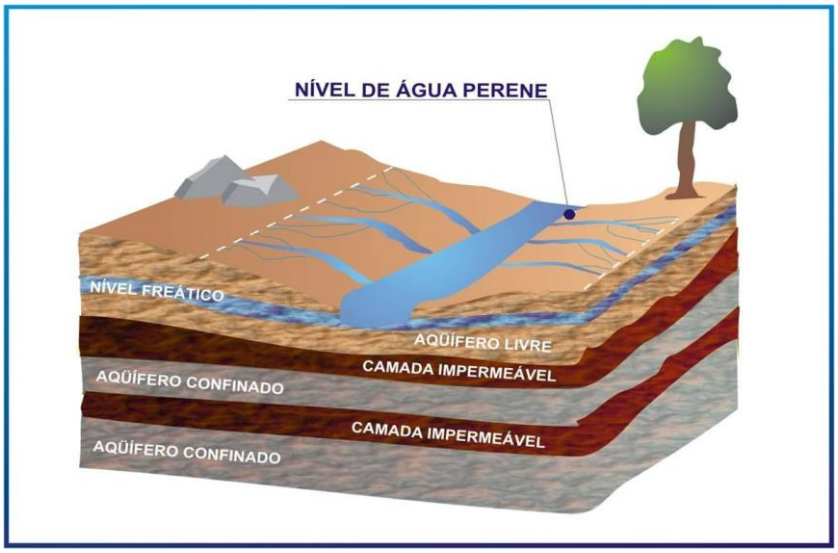

Figura 1: Representação dos aquíferos livre e confinado. Fonte: Borghettil (2004).

Por fim, a classificação de aquíferos quanto ao tipo de rocha e porosidade (Figura 2) onde a água é armazenada pode ser descrita por: Aquífero poroso ou granular, concebido por rochas sedimentares e/ou sedimentos inconsolidados, na qual a água se armazena na porosidade do corpo rochoso, que permite conectividade- resultando em fluxo; Aquífero cárstico, no qual o fluído é armazenado em espaços gerados pela dissolução química de rochas carbonáticas, inferindo em sistemas heterogêneos e descontínuos e Aquífero fraturado, localizado em rochas cristalinas, cujo armazenamento e fluxo de fluídos está relacionado a presença de fissuras e fraturas no corpo rochoso.

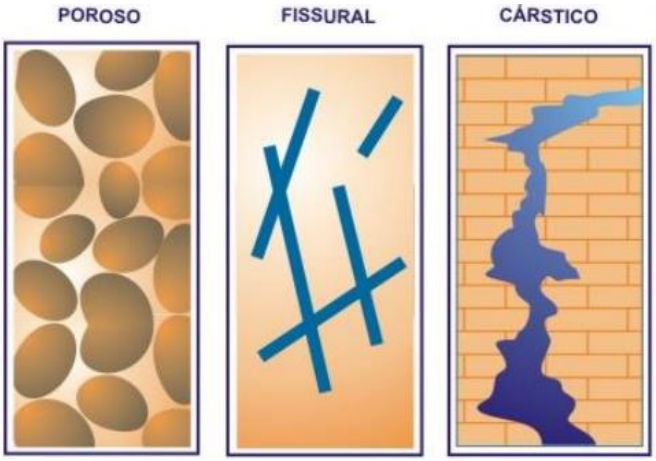

Figura 2: Classificação de aquíferos quanto à porosidade. Fonte: Borghetti (2004).

2.1.2. *Propriedades de aquíferos*

A percolação de água dentro de reservatórios subterrâneos está condicionada a diversas propriedades físicas, cuja conceitualização é relevante para o entendimento dos processos envolvendo quantificação e recarga dessas formações geológicas. Os parâmetros que permitem a caracterização de aquíferos são:

- Porosidade: Relação volume de vazios/volume total da amostra. Este parâmetro está relacionado a forma, distribuição e tamanho de partículas em um corpo rochoso e seu respectivo grau de compactação. Pode ser classificada em porosidade primária (quando formada concomitante a rocha) ou porosidade secundária (quando formada após a gênese da rocha, através de fraturas ou dissolução química);

- Porosidade efetiva ou capacidade específica: Relação entre volume drenável e volume total da amostra;
- Condutividade hidráulica: Capacidade de um sistema aquífero de exercer a função de um condutor hidráulico;
- Transmissividade: Capacidade do aquífero em transmitir água em sua espessura. É expressa pela fórmula Transmissividade = Condutividade hidráulica x Espessura do aquífero.

2.1.3. *Recarga de aquíferos*

Segundo Healy (2010), a recarga é definida por um fluxo descendente de água que chega à zona saturada, contribuindo para seu armazenamento, sendo representada pela letra R (Figura 3). Os fluidos infiltrados na superfície são classificados como “potencial de recarga”, pois podem não chegar efetivamente à zona saturada.

A recarga pode ocorrer de forma difusa, caracterizada pela percolação da água ao nível freático, ou de forma focada/concentrada, definida pela infiltração de água para o aquífero através de rios, drenagens e lagos. Também pode ocorrer de forma direta (infiltração imediata das águas meteóricas para o solo, realizando a recarga em aquíferos livres) como de forma indireta (percolação da água através da camada confinante até o aquífero).

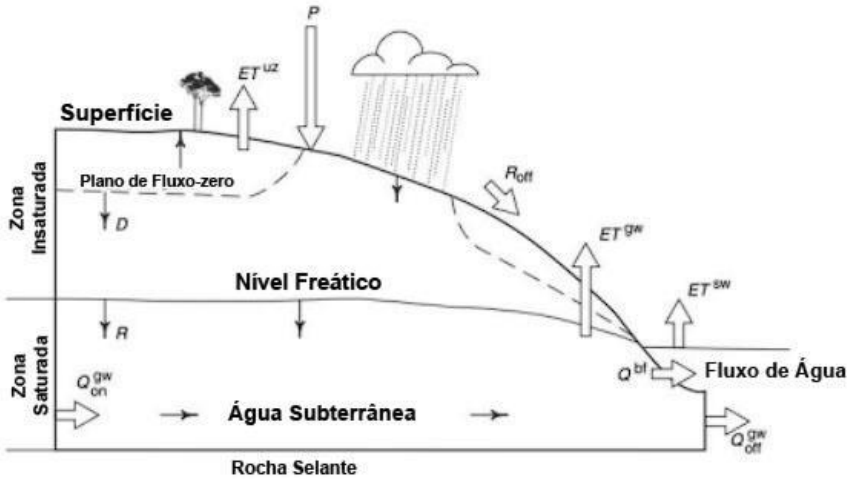

Figura 3: Perfil esquemático de uma bacia, indicando o balanço hídrico (setas maiores), direção do fluxo de água (setas menores), Recarga (R) e Drenagem (D). Adaptado de: Healy (2010).

2.2. Água mineral

2.2.1. *Definição e composição química da água mineral*

O termo “água mineral”, exemplificado por Gesicki & Sindico (2013), é utilizado para definir um conjunto de águas subterrâneas mineralizadas com parâmetros específicos. Tais parâmetros, segundo Reis (2011), resultam em efeitos favoráveis à saúde, diferenciando-se da água comum por sua pureza original e sua natureza, advinda do teor distintivo de substâncias minerais, oligoelementos ou outros constituintes.

Segundo o Código de Águas minerais (CAM), água mineral é definida por: “*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 confiram uma ação medicamentosa"* (BRASIL, 1945).

Os padrões físicos e físico-químicos que determinam a água como mineral e as fontes desse recurso foram descritas pelo Art: 35º Decreto Lei 7.841 08/08/1945 (BRASIL, 1945), representados nas seguintes tabelas:

Tabela 1: Classificação Química das águas minerais, segundo Art: 35º Decreto Lei 7.841 08/08/1945 (BRASIL, 1945). Fonte: Saraiva (2020).

	CLASSIFICAÇÃO	JUSTIFICATIVA
CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA	OLIGOMINERAIS	Quando apresentarem apenas uma ação medicamentosa
	RADÍFERAS	Quando tiverem radioatividade permanente
	ALCALINO BICARBONATADA	Bicarbonato de sódio = ou > 200 mg/L
	ALCALINO TERROSAS	Carbonato de cálcio = ou > 120 mg/L
	• Alcalino Terrosas Cálcicas	Cálcio = ou > 48 mg/L sob a forma de bicarbonato de cálcio
	• Alcalino Terrosas Magnesianas	Magnésio = ou > 30 mg/L sob a forma de bicarbonato de magnésio
	SULFATADAS	SO4 = ou > 100 mg/L
	SULFUROSAS	Sulfeto = ou > 1 mg/L
	NITRATADAS	NO^- = (Nitrato de origem mineral) = ou > 100 mg/L
	CLORETADAS	Cloreto de sódio (Na CL) = ou > 500 mg/L
	FERRUGINOSAS	Ferro = ou > 5 mg/L (5.000 µg)
	RADIOATIVAS	Que tiverem radônio em dissolução
	• Fracamente Radioativas	Teor de radônio mínimo entre 5 e 10 unidades Mache por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão
	• Radioativas	Teor de radônio entre 10 e 50 unidades Mache por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão
	• FORTEMENTE RADIOATIVAS	Teor de radônio acima de 50 unidades Mache por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão
	TORIATIVAS	Que possuírem teor em torônio (isótopo do radônio) em dissolução equivalente em unidades eletrostáticas, a 2 unidades Mache por litro, no mínimo
	CARBOGASOSAS	Gás carbônico livre dissolvido = ou > 200 mg/L
	ELEMENTO PREDOMINANTE	(> 0,01 mg/L): Iodadas; Arseniadas; Litinadas, etc.
	FLOURETADA	Quando conter no mínimo 0,02 mg/L de fluoreto
	VANÁDICA	Quando conter no mínimo 0,03 mg/L de vanádio
	LITINADA	Quando conter no mínimo 0,01 mg/L de lítio
	SELENIADA	Quando conter no mínimo 0,006 mg/L de selênio

Tabela 2: Fontes de água mineral, segundo Art: 35º Decreto Lei 7.841 08/08/1945 (BRASIL, 1945). Fonte: Saraiva (2020).

CLASSIFICAÇÃO DA FONTE		
	QUANTO AOS GASES	
	FONTES RADIOATIVAS	
	• **FRACAMENTE RADIOATIVAS**	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio compreendido entre 5 a 10 unidades Mache/L de gás espontâneo, a 200C e 760 mm de Hg de pressão
	• **RADIOATIVAS**	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio compreendido entre 10 e 50 unidades Mache/L de gás espontâneo, a 200C e 760 mm de Hg de pressão
	• **FORTEMENTE RADIOATIVAS**	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio superior a 50 unidades Mache/L de gás espontâneo, a 200C e 760 mm de Hg de pressão
	FONTES TORIATIVAS	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto, com um teor em torônio na emergência equivalente em unidades eletrostáticas, a 2 unidades Mache/L
	FONTES SULFUROSAS	As que possuírem na emergência desprendimentos definidos de gás sulfídrico
	QUANTO A TEMPERATURA	
	• **FONTES FRIAS**	Quando sua temperatura for inferior a 25°C
	• **FONTES HIPOTERMAIS**	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 25 e 33°C
	• **FONTES MESOTERMAIS**	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 33 e 36°C
	• **FONTES ISOTERMAIS**	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 36 e 38°C
	• **FONTES HIPERTERMAIS**	Quando sua temperatura for superior a 38°C

Segundo o artigo 3º, a água potável de mesa é definida por: "*composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preencham tão somente as condições de potabilidade para a região".* Esta definição implica que águas naturais podem ser comercializadas sem apresentarem parâmetros físico-químicos que caracterizam ação medicamentosa, sendo denominado "água potável de mesa".

2.2.2. *Importância econômica*

Segundo Rodwan Jr (2015), o Brasil ocupa a 5ª posição mundial na compra de água mineral engarrafada, resultante de um aumento de 7,4% no consumo brasileiro de 2009 a 2014 (ANM, 2015). O Estado de São Paulo representa a maior produção de água envasada declarada, com 21% da produção nacional, representando em valores absolutos 1.753.039.000 litros e arrecadando mais de 816 milhões de reais (ANM, 2016).

2.2.3. *Prospecção de águas subterrâneas*

A busca por elementos minerais de interesse econômico motivou o desenvolvimento de técnicas de prospecção, a fim de assegurar maiores probabilidades de sucesso em campanhas de investigação mineral. Para tal objetivo, foram desenvolvidas ao longo da história ferramentas que possibilitaram a identificação de elementos no subsolo, com destaque para os métodos geoquímicos e geofísicos, além de ferramentas de Sensoriamento Remoto para planejamento e execução de campanhas prospectivas.

A partir da interpretação de imagens de satélites e fotografias aéreas, é possível elaborar produtos cartográficos de topografia, litologia e vegetação, possibilitando a interpretação prévia da composição rochosa, estratigrafia e contexto estrutural da área, além da identificação de elementos geomorfológicos e drenagens. Essa ferramenta é essencial para o planejamento de ações prospectivas e para confecção de material auxiliar para atividades de campo.

Os métodos geofísicos, dentro do contexto de pesquisa mineral, são utilizados para a caracterização indireta de anomalias físicas (magnetismo, radioatividade, gravidades etc.) que podem corroborar para a presença ou ausência de um depósito mineral. No âmbito de prospecção de águas subterrâneas, equipamentos geofísicos que caracterizam anomalias elétricas, através dos métodos de sondagens elétricas, caminhamentos elétricos e perfilagens elétricas, são utilizados para identificação de locais promissores para captação de águas subterrâneas.

Esse métodos tem por objetivo a investigação em profundidade de parâmetros elétricos, seja em apenas um ponto fixo (método da sondagem elétrica), em linhas laterais para identificação de descontinuidades no substrato rochoso (método do caminhamento elétrico) ou verificações *in situ* através de furos de sondagem pelo método de perfilagem elétrica (BRAGA, 2016).

Os métodos geoquímicos tem por objetivo a análise de parâmetros químicos de um conjunto amostral para identificação de elementos indicadores e/ou “elementos farejadores”, cuja natureza permite a detecção de um corpo de minério (elementos indicadores) ou a associação de um elemento de menor concentração com o corpo rochoso buscado (elementos farejadores)(LICHT, 2001).

Através da análise de sedimentos de corrente, método geoquímico de maior utilização, é possível rastrear a origem daquele sedimento e o quimismo da rocha mãe, que através do intemperismo desagregou a partícula, que posteriormente foi coletada e analisada. Tal método é eficaz para campanhas prospectivas de escala regional.

O método geoquímico é empregado na prospecção de águas subterrâneas para a caracterização e classificação quanto aos parâmetros hidroquímicos. Neste trabalho, a caracterização hidroquímica tem por função assegurar a classificação do minério em consonância com o Código de Águas Minerais e a segurança de sua potabilidade. Os elementos indicadores e farejadores podem ser utilizados para a estipulação de um perfil hidroquímico das águas subterrâneas, conforme a necessidade do pesquisador.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Características gerais

A Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (UGRHI-18) está localizada ao noroeste do estado de São Paulo (Figura 4), adjacente a UGRHI-15 (Turvo/Grande) a norte e nordeste, a UGRHI-19 (Baixo Tietê) a Sul e a UGRHI-16 (Tietê/Batalha) a sudeste.

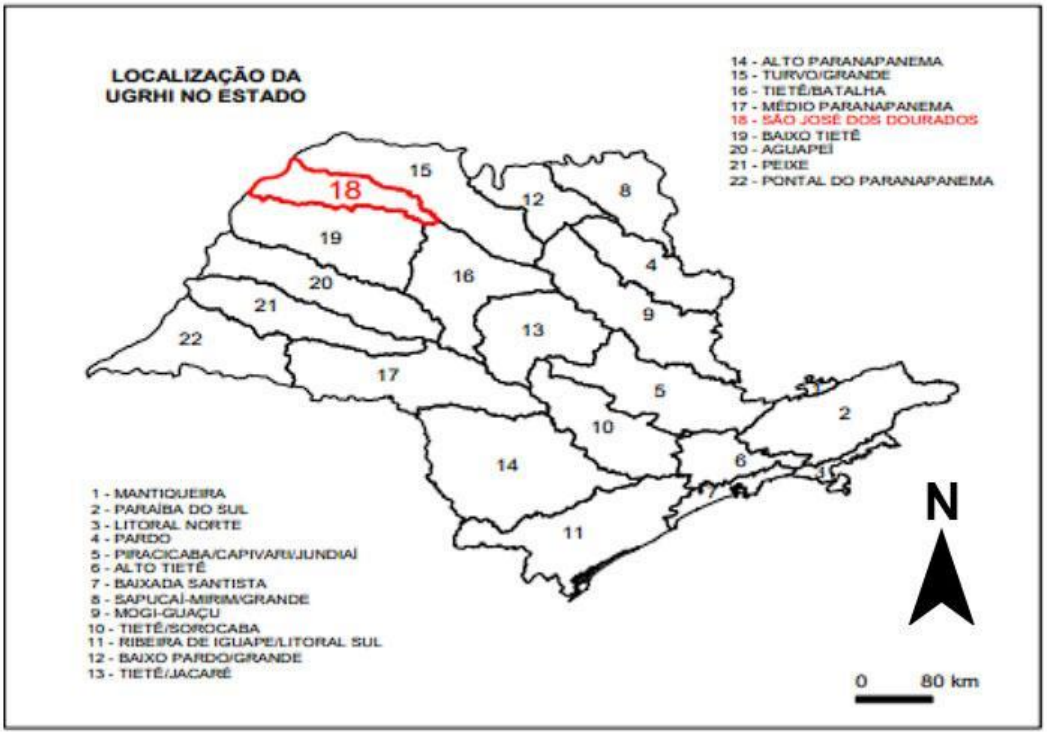

Figura 4: Localização da UGRHI 18 e demais bacias adjacentes. Adaptado de: Plano de Bacias (2008).

Os municípios que integram a UGRHI-18 são 25: Aparecida d'Oeste (1), Auriflama (2), Dirce Reis (3), Floreal (4), General Salgado (5), Guzolândia (6), Ilha Solteira (7), Jales (8), Marinópolis (9), Monte Aprazível (10), Neves Paulista (11), Nhandeara (12), Nova Canaã Paulista (13), Palmeira d'Oeste (14), Pontalinda (15), Rubinéia (16), Santa Fé do Sul (17), Santa Salete (18), Santana da Ponte Pensa (19), São Francisco (20), São João das Duas Pontes (21), São João de Iracema (22), Sebastianópolis do Sul (23), Suzanápolis (24) e Três Fronteiras (25).

Os municípios de Bálsamo (26), Cosmorama (27), Estrela d'Oeste (28), Fernandópolis (29), Itapura (30), Magda (31), Meridiano (32), Mirassol (33), Pereira Barreto (34), Poloni (35), Sud Mennucci (36), Urânia (37), Valentim Gentil (38) e

Votuporanga (39) apresentam apenas parcela de seu território inserido na região alvo, não integrando a unidade de gerenciamento em questão. A figura 5 ilustra a disposição dos municípios na região alvo conforme a numeração associada.

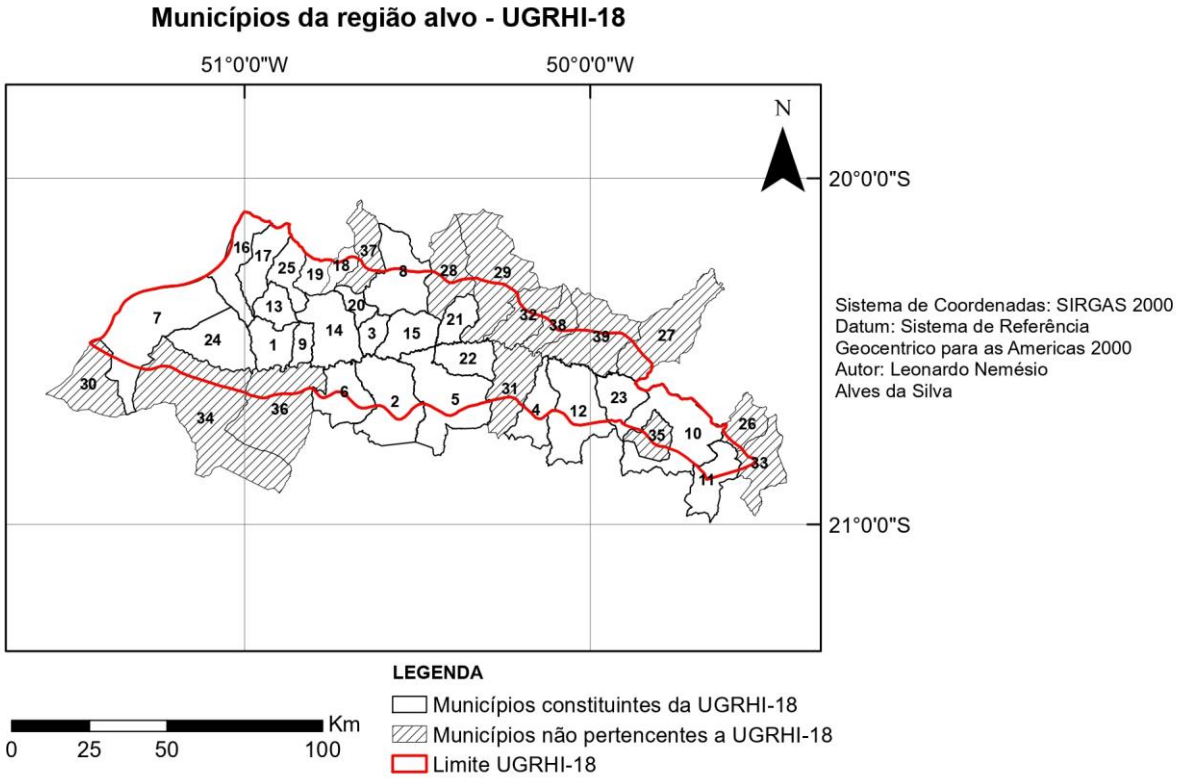

Figura 5: Municípios constituintes da UGRHI-18

Segundo o Sistema Estadual de Análise de Dados-SEADE (2019), a área territorial da Bacia Hidrográfica é de 6.247,3 km², com população total (2019) da UGRHI-18 de 228.574 habitantes, e desse total, 90,2% residindo em áreas urbanas. A bacia envolve os aquíferos livres Serra Geral e Bauru (CETESB, 2016), os rios São José dos Dourados e Paraná, ribeirão Ponte Pensa, Coqueiro e Marimbondo e o reservatório Ilha Solteira (CBH-SJD, 2015).

Em parâmetros hídricos, a vazão média da bacia é de 51m³/s, a vazão mínima é de 12m³/s e a vazão Q95% é de 16m³/s, com reserva explotável de 4m³/s (São Paulo, 2006).

As principais atividades econômicas desenvolvidas no território estão ligadas à pecuária de leite e fruticultura, com aumento da relevância da piscicultura. O setor comercial se concentra nos municípios de Jales e Santa Fé do Sul (CBH-SJD, 2015).

A UGRHI-18 apresenta 449 km² de vegetação remanescente, que representa

6,5% do território total, tendo como principais formações a Floresta Estacional Semidecidual e a Formação Arbórea/Arbustiva em região de Várzea (SÃO PAULO, 2009).

3.2. Geologia regional

3.2.1. *Bacia sedimentar do Paraná*

A área de estudo está inserida no contexto da Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 6), uma ampla região sedimentar localizada na América do Sul, incorporando territórios do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (MILANI *et al,* 2007). Seu formato é ovalado, com eixo de maior extensão Norte-Sul, na qual o contorno é delimitado por limites erosivos relacionados à história geotectônica do continente. Sua área é de aproximadamente 1.500.000 km², na qual 1.100.000 estão presentes em território brasileiro. Sua formação se inicia na Era Paleozóica, cujo embasamento é formado por rochas cristalinas Pré-Cambrianas do Cráton Paranapanema, coberto em sua totalidade por unidades sedimentares e magmáticas, podendo atingir espessura de até 7.000 metros em determinadas porções no Brasil.

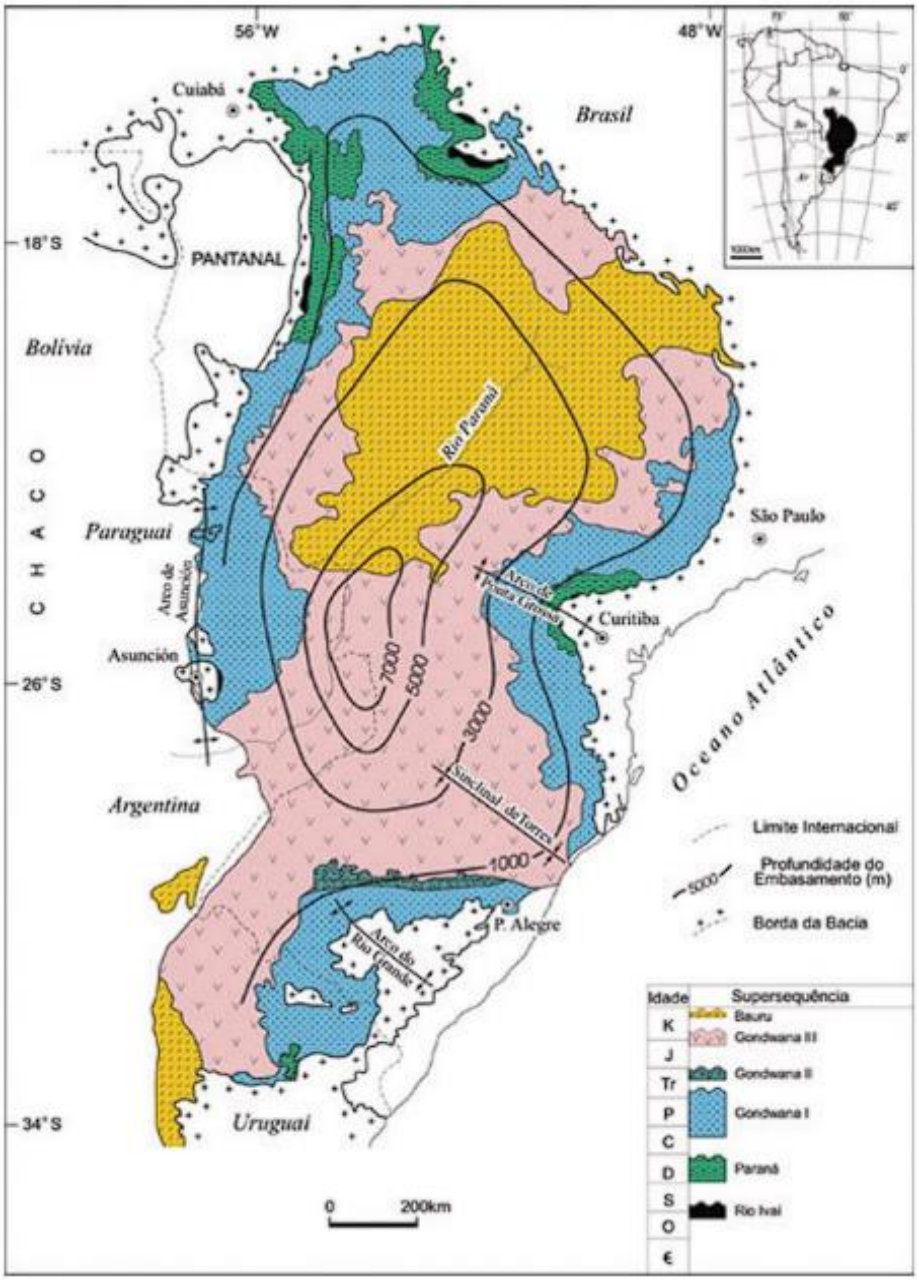

Figura 6: Mapa geológico simplificado da Bacia Sedimentar do Paraná. Fonte: Milani (2004).

A divisão do pacote sedimentar-magmático da Bacia do Paraná foi realizada por Milani *et al*., (2007), resultando em 6 supersequências: Supersequência Rio Ivaí (Grupo Rio Ivaí), Supersequência Paraná (Grupo Paraná), Supersequência Gondwana I (Formação Aquidauana, Grupos Itararé, Guatá, Passa Dois e Formações Pirambóia e Sanga do Cabral), Supersequência Gondwana II (Formação Santa Maria), Supersequência Gondwana III (Formações Botucatu e Serra Geral) e Supersequência Bauru (Grupo Bauru Caiuá).

3.2.2. *O Grupo Bauru*

O Grupo Bauru (Figura 7) data do Cretáceo, posterior aos derrames basálticos da Formação Serra Geral, caracterizando o último evento deposicional da Bacia do Paraná (CPRM, 2012). Existem duas propostas de subdivisões para o Grupo Bauru, elaboradas por Soares *et al.,* (1980) e Fernandes (1992). A classificação proposta por Soares *et al*., (1980) subdivide o Grupo em 4 unidades distintas, as classificando como: Formação Caiuá; Formação Santo Anastácio; Formação Adamantina e Formação Marília. Contrapondo esta classificação, Fernandes (1992) estabelece fácies cronorrelatas, subdividindo a "Sequência Neocretácea Suprabasáltica" no Grupos Caiuá e Bauru.

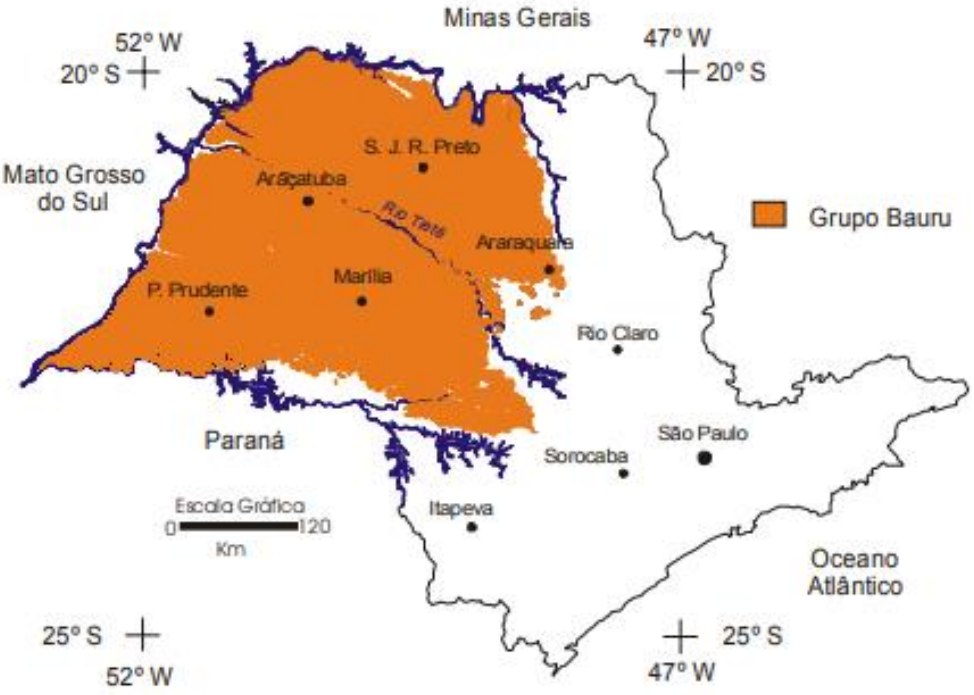

Figura 7: Localização do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Fonte: Silva (2003).

O trabalho desenvolvido utilizou a classificação proposta por Soares *et al.,* (1980) (Figura 8) devido a sua relevância e citação em outros projetos relacionados ao tema.

A Formação Caiuá apresenta afloramentos restritos à região do Pontal do Paranapanema no Estado de São Paulo, com ocorrências extensas no Estado do Paraná (Apresenta a maior espessura conhecida da formação a Noroeste do Estado, com aproximadamente 200 metros) e Mato Grosso do Sul. Tem como principal característica sua uniformidade litológica, descrita por arenitos de granulometria muito fina a média e presença de estratificações cruzadas, com mineralogia de quartzo, feldspato, calcedônia e opacos. A homogeneidade textural e as estratificações cruzadas sugerem um ambiente deposicional eólico para a Formação.

A Formação Santo Anastácio ocorre em superfície, em uma faixa estreita, no flanco norte do Rio Paranapanema e em subsuperfície a Oeste dos municípios de Pirapozinho, Paraguaçu Paulista e Osvaldo Cruz. Através de características litológicas e ausência de conteúdo fossilífero, foi designado um ambiente de deposição fluvial meandrante a retilíneo de baixa profundidade. Apresenta arenitos de seleção moderada a ruim, com granulometria fina a média e grão subarredondados a arredondados envoltos por uma película limonitica. O quartzo é o mineral predominante, com ocorrências de feldspatos, calcedônia e opacos (SOARES *et al.,* 1980).

A Formação Adamantina representa a maior unidade distribuída em superfície pelo Estado de São Paulo, aflorando nas regiões da bacia do Rio Turvo (Norte) e Bacia do Rio São José dos Dourados e baixo Tietê (Norte-Ocidental), e também a Sudoeste do Estado. Através das diferentes fácies deposicionais, concluiu-se que a deposição da Formação ocorreu através de um extenso sistema fluvial meandrante, em que os arenitos com estratificação cruzada gradando para maciços/plano-paralelos representam depósitos de barra de pontal e níveis lamiticos e pelíticos representam depósitos de planícies de inundação. As litofácies são caracterizadas por bancos de arenitos finos a muito finos, em alternância com sequências de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos. A unidade apresenta ocorrências de seixos de argilitos, cimento carbonático e nódulos carbonáticos (SOARES *et al.,* 1980).

A Formação Marília ocorre na porção Leste do Planalto Ocidental, com extensão para Oeste. Apresenta espessura máxima na cidade de Marília, com 160 metros, e através dos indícios mineralógicos, texturais, estruturais e geometria dos corpos, é inferido uma origem de sedimentação da Formação através de correntes de

alta energia, com deposição rápida, que inviabilizou a formação de estruturas. Em termos litológicos, apresenta dois arenitos distintos. Um conjunto apresenta arenitos de granulometria fina a média, esfericidade majoritariamente baixa, arredondamento moderado a ruim, mal selecionados, com arenitos muito finos subordinados e níveis de seixos. O outro conjunto é composto por arenitos de granulometria grossa a conglomerática, apresentando grão finos, grânulos dispersos e níveis de seixos, grãos subangulares de má seleção e baixa esfericidade (SOARES *et al.,* 1980).

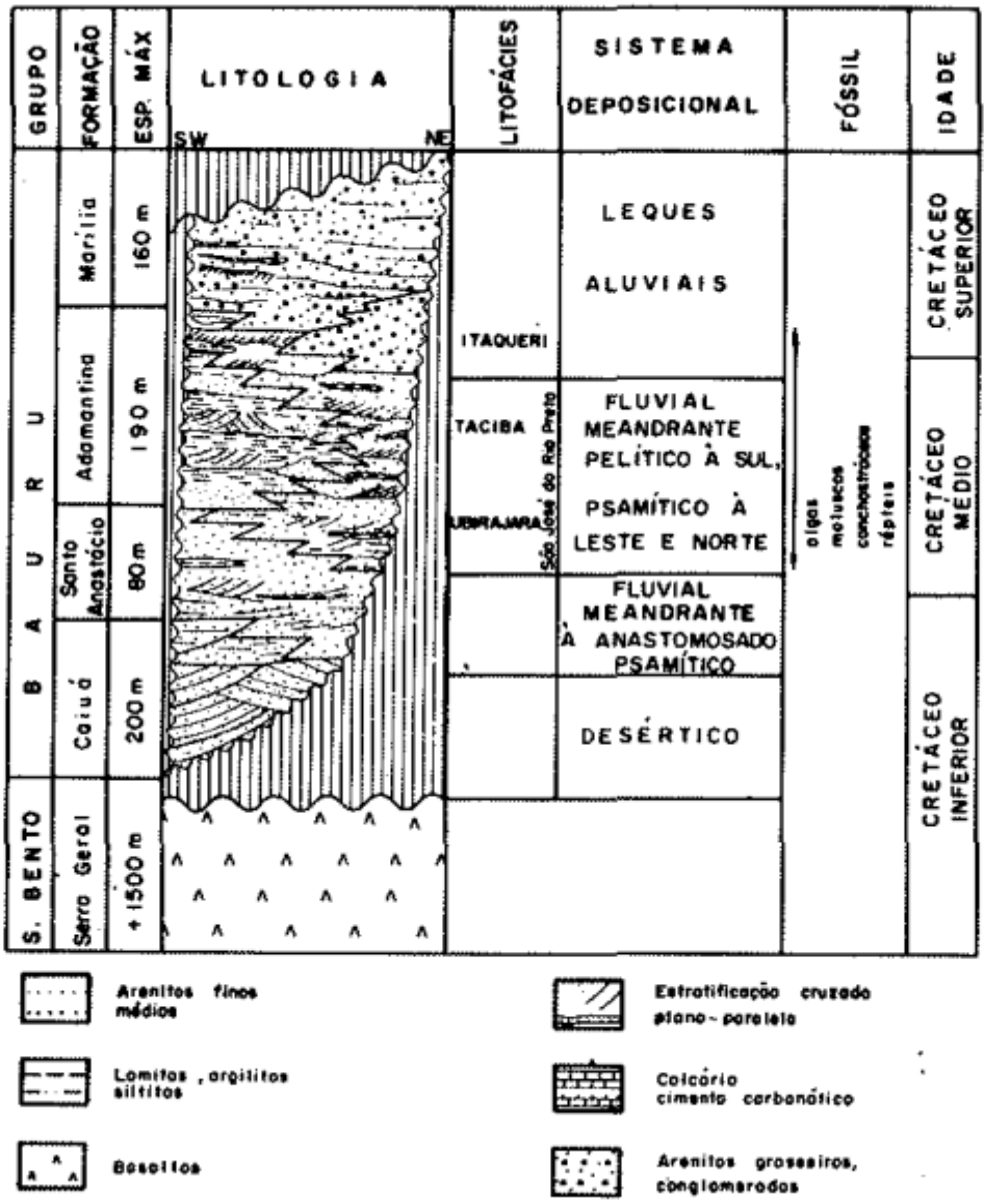

Figura 8: Quadro estratigráfico do Grupo Bauru. Fonte: Soares et al., (1980).

3.3. Caracterização hidrogeológica

O Sistema Aquífero Bauru (SAB) (Figura 9), está presente em 5 Estados brasileiros: São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás, abrangendo uma área total de 370.000 km² (CPRM, 2012). No Estado de São Paulo, o Aquífero Bauru apresenta 117.000 km² de área aflorante (Figura 7), correspondendo a 47% do território do Estado (DAEE, 1990). Através de estudos realizados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, o aquífero Bauru foi subdividido em duas unidades hidroestratigráficas: Bauru Médio/Superior, representado pelas Formações Adamantina e Marília; Bauru inferior/Caiuá representado pelas Formações Caiuá e Santo Anastácio (DAEE, 1979b).

Figura 9: Área de exposição do Sistema Aquífero Bauru nos estados de Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. Adaptado de: CPRM (2012).

A unidade Bauru Médio/Superior apresenta característica contínua e não uniforme, extensão regional e porosidade granular. Ocorre majoritariamente livre, com ocorrências locais confinado. Em termos de litofácies, apresenta sequências de arenitos finos, alternando com níveis lamiticos e siltosos na base e arenitos grosseiros, com presença de nódulos e cimento calcífero no topo. A permeabilidade, em comparação com a unidade Bauru inferior/Caiuá, é baixa, e apresenta vazão média dos poços exploráveis de 8m³/h (DAEE, 2005ª).

A unidade Bauru inferior/Caiuá apresenta um caráter contínuo e uniforme, ocorrendo majoritariamente livre, com ocorrências locais confinadas, através da região Sudoeste do Estado de São Paulo. Sua permeabilidade, decorrente da porosidade granular, é alta, implicando em poços de vazão média de 30m³/h (DAEE, 2005a).

Através dos parâmetros de espessura saturada, potenciometria, potencialidade e dados de 1099 poços cadastrados no DAEE, foi confeccionado o "Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo" (DAEE, 2005a), cujas conclusões pertinentes foram:

- A espessura saturada média do aquífero é de 75 metros;
- A unidade aquífera Bauru inferior/Caiuá apresenta valores de transmissividade superiores a 200m²/dia (IRATANI *et al*., 2000), em comparação com a unidade Bauru Médio/Superior, com valor de transmissividade média inferior a 50 m²/dia;
- As capacidades específicas da unidade Bauru Inferior/Caiuá são superiores a 1,6 m³/h/m, em detrimento aos parâmetros da unidade Bauru Médio/Superior com média inferior a 0,57m³/h/m;
- A porosidade efetiva da unidade Bauru Inferior/Caiuá é de 10 a 15%, enquanto a da unidade Bauru Médio/Superior é de 5% (DAEE, 1979b).

As águas do Aquífero Bauru foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas, com pH neutro a levemente básico e baixa salinidade (CAMPOS, 1993).

3.4. Aspectos geomorfológicos e pedológicos

O relevo da região alvo é levemente ondulado, com predominância de colinas amplas e médias, evidenciando uma forte imposição estrutural, cujo controle ocorre por camadas sub-horizontais de baixo caimento para Oeste, formando uma plataforma estrutural extensa e significativamente suavizada (IPT, 1981 b).

No aspecto topográfico, a UGRHI-18 apresenta cota máxima de 570m na região de Neves Paulista, e cota mínima de aproximadamente 300m na confluência

do Rio São José dos Dourados com o Rio Paraná a oeste da bacia.

A bacia apresenta cinco tipos de solos:

- Latossolo Roxo: Horizonte B latossólico em perfil frequentemente profundo, com dissolução do teor de argila conforme o aumento da profundidade;
- Latossolo Vermelho Escuro: Apresenta grande profundidade, com baixa diferenciação de horizontes e origem de material diversa. Tais características resultam em solos heterogêneos em aspectos texturais, consistência e propriedades químicas;
- Podzólico Vermelho Escuro: Solos minerais profundos não hidromórficos, com horizonte B textural. Apresenta similaridade ao latossolo por singela diferenciação entre os horizontes A e B;
- Podzólico Vermelho Amarelo: Solos com alto desenvolvimento, bem drenados e normalmente ácidos. Quando apresentam caráter eutrófico, possuem fertilidade natural média a alta;
- Solos Litólicos: Apresentam baixa espessura e desenvolvimento, com 20 a 40 cm de profundidade.

3.5. Aspectos hidrometeorológicos

A classificação climática da UGRHI 18, segundo Setzer (1996) baseado em Köeppen, são:

- Clima Aw: Tropical úmido com estiagem no inverno, com pluviometria inferior a 30mm no período seco e temperatura média superior a 22ºC no mês mais quente é superior a 18ºC no mês mais frio;
- Clima Cwa: Quente e úmido, com inverno seco. A pluviometria é inferior a 30mm no mês mais seco e as temperaturas médias nos meses mais quentes e frios são, respectivamente, superior a 22ºC e inferior a 18ºC. Esse clima compreende os municípios de Neves Paulista e Monte Aprazível a leste da Bacia.

A classificação Pluviométrica da região, com base em Sant'anna Neto (1995), apresenta média anual de 1.300mm e 1.500mm, com maior concentração de chuvas

nas estações da primavera-verão. O período mais chuvoso ocorre de outubro a março e o mais seco de abril a setembro.

4. METODOLOGIA

A metodologia consiste em ranquear os municípios inseridos no contexto do SAB através de aspectos econômicos, hidrogeológicos, geológicos, hidroclimatológicos e hidroquímicos, a fim de aferir pontuações que posteriormente serão utilizadas para classificar as áreas com maior/menor favorabilidade de implantação de projetos industriais de águas minerais.

4.1. Modelo de prospecção e aquisição de dados

O Modelo de prospecção hidrogeológica (Figura 10) utilizado para estabelecer alvos exploratórios de água mineral na UGRHI-18 adaptado de Saraiva (2020). A metodologia atribui pontuações conforme os parâmetros econômicos, hidrogeológicos, geológicos e hidroquímicos dos municípios, a fim de avaliar e ranquear os locais mais favoráveis para a implantação e desenvolvimento de projetos de água mineral. Para tal objetivo, os parâmetros analisados foram divididos em duas etapas: Avaliação preliminar e Refinamento.

A Avaliação preliminar consistiu na categorização dos municípios constituintes da UGRHI-18 (municípios com sede em outras unidades de gerenciamento de recursos hídricos ou com apenas parcela de território na região alvo não foram analisados) com base nos parâmetros econômicos (Log 7 X População + 3X Renda Per Capita), hidrogeológicos (Capacidade Específica e Densidade de Poços) e geológicos (Espessura de Aquífero). Os fatores geológicos e hidrogeológicos apresentaram maior peso na classificação devido a sua correlação com a disponibilidade do minério.

Os dados referentes aos aspectos econômicos foram obtidos através dos bancos de dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), assim como no Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil. Os aspectos hidrogeológicos e geológicos foram adquiridos através dos bancos de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e da Agência Nacional de Mineração (ANM). Os aspectos Hidroclimáticos para a região de interesse não foram localizados, resultando na exclusão da recarga no ranqueamento preliminar.

A partir da análise dos bancos de dados adquiridos, os dados pertinentes foram catalogados e individualizados conforme os parâmetros requeridos. Caso o município apresentasse mais de um valor para o parâmetro, foi realizada uma média para representar a totalidade do local. Ao final, os municípios foram ranqueados para cada parâmetro, e através da separação em quartis estatísticos, categorizados em “ótimo”, “bom” e “regular”, cada qual com uma pontuação específica, variando de parâmetro para parâmetro, culminando no somatório das pontuações (Figura 10).

A etapa de Refinamento utilizou os parâmetros hidroquímicos para aferir pontuações aos municípios, com objetivo de definir o grau de mineralização das águas, o risco a contaminação humana e vulnerabilidade do aquífero (através da concentração de nitrato) e a caracterização do elemento explorável como bem mineral (concentração de fluoreto com base nas especificações explícitas no Código de Águas Minerais). Os parâmetros de concentração de nitrato e fluoreto apresentam caráter excludente aos municípios que compreendem intervalos médios superiores aos estipulados, a fim de garantir a segurança ao consumo humano e a caracterização como bem mineral comercializável.

A partir da análise dos dados prévios, os parâmetros foram classificados e individualizados conforme os intervalos hidroquímicos requeridos. Caso o município apresentasse mais de um valor para o parâmetro, foi realizada uma média para representar a totalidade do local. Os municípios que não dispuseram de dados hidroquímicos não foram avaliados nesta etapa; caso um município apresentasse médias de concentrações de fluoreto e/ou nitrato acima das determinadas pela metodologia, seriam caracterizados como “Não aceitáveis para fim de potencial exploratório”. Ao final, os municípios foram ranqueados para cada parâmetro, e através da separação em quartis estatísticos, categorizados em “ótimo”, “bom”, “regular” ,”sem dados” (caso o município não apresentasse dados hidroquímicos suficientes) e “não aceitáveis” (caso as médias do parâmetros ultrapassassem o limite estipulado), cada qual com a mesma pontuação específica, variando de parâmetro para parâmetro, culminando no somatório das pontuações (Figura 10).

Ao final das etapas, os municípios com dados suficientes para o ranqueamento na etapa de Refinamento e que não foram categorizados como “Não aceitáveis para fim de potencial exploratório” tiveram suas pontuações somadas e comparadas. Os

locais que apresentaram pontuações iguais ou superiores ao 3° Quartil estatístico foram classificados como potenciais alvos exploratórios.

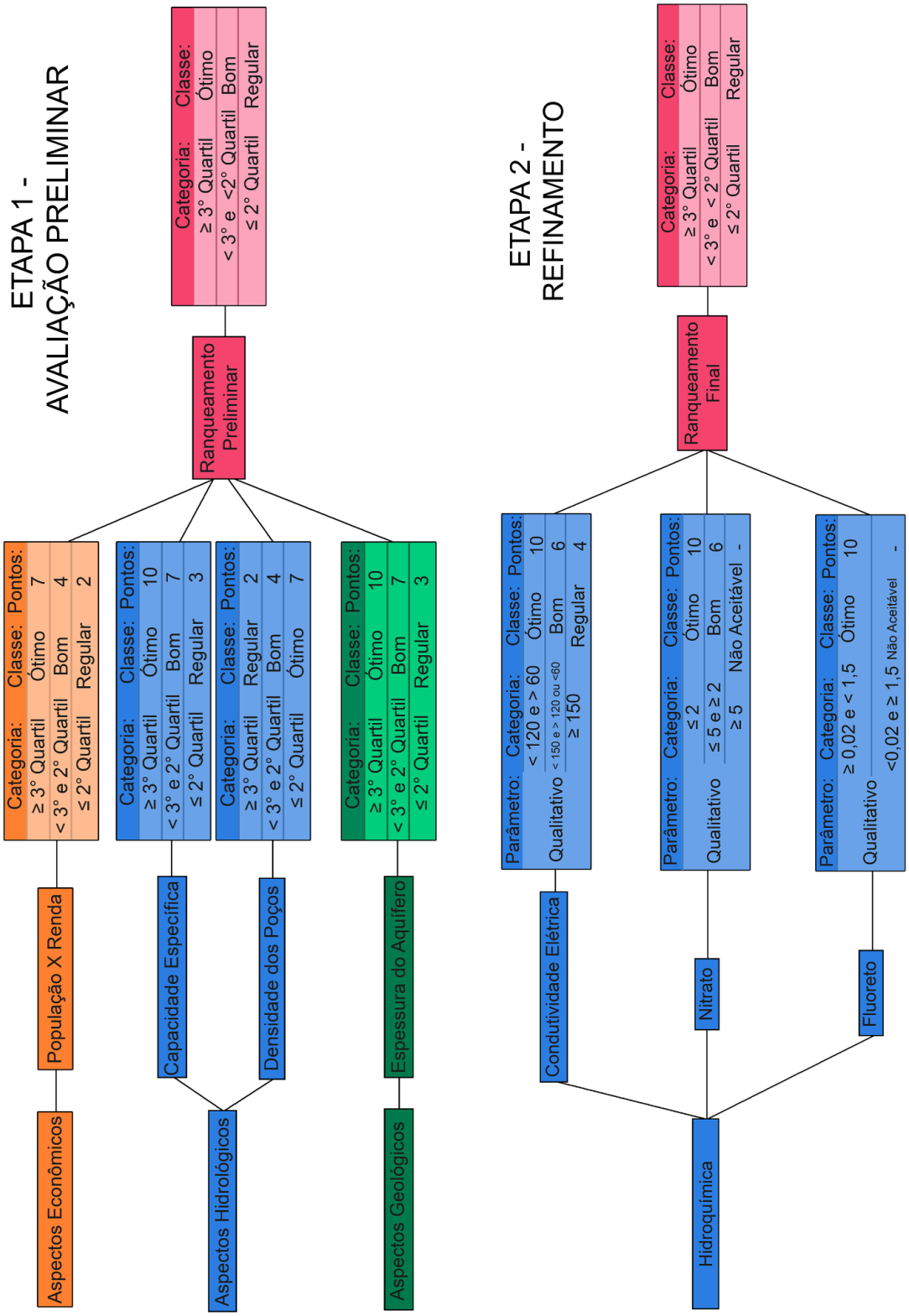

Figura 10: Critérios Exploratórios para caracterização e categorização de áreas favoráveis à implementação de projetos de águas minerais. Modificado de: Saraiva (2020).

Para o auxílio durante a execução da metodologia, foi utilizado o programa ARCMAP 10.5 para espacialização dos resultados e entendimento geográfico dos dados obtidos.

4.2. Avaliação preliminar

A avaliação preliminar teve por objetivo estabelecer um ranqueamento preliminar, utilizando parâmetros econômicos, geológicos e hidroclimatológicos acerca dos municípios que compõem a UGRHI-18.

4.2.1. *Aspectos econômicos*

A importância do aspecto econômico está relacionada ao fato do valor comercial atribuído ao produto ser baixo. Dessa forma, a distância do mercado consumidor é relevante para a prosperidade de um empreendimento de águas envasadas.

Para a viabilidade econômica de um município, dois parâmetros são relevantes: o tamanho do mercado consumidor e a renda per capita do município que potencialmente receberá um projeto industrial de água envasada. Essa relação é expressa por:

$$Parâmetro\ Econômico = (7x\ População + 3x\ Renda\ per\ capita)\ /10$$

Equação 1

4.2.2. *Aspectos hidrogeológicos e geológicos*

A aquisição de dados hidrogeológicos e geológicos ocorrem através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e bibliografia (QUEIROZ, 2015), possibilitando a extração de informações referentes a capacidade específica, densidade de poços, espessura de aquífero e espessura das formações geológicas sobrepostas.

4.2.2.1. *Capacidade específica*

A expressão matemática que descreve esse parâmetro é: *qs* = *Q/s*, onde "*qs*" é capacidade específica, "*Q*" expressa a descarga do aquífero e "*s*" expressa o rebaixamento (*s* = Nível Dinâmico – Nível Estático). O resultado é obtido na unidade $m^3/h/m$.

Este parâmetro apresenta maior peso no ranqueamento devido a importância da disponibilidade do minério em campanhas de prospecção.

4.2.2.2. *Densidade de poços*

Este parâmetro expressa o número de poços tubulares profundos por uma determinada área. Permite a identificação de potenciais riscos de superexploração, competição ou conflitos por este bem mineral. O parâmetro será expresso em Poços/100 km^2.

4.2.2.3. *Espessura de aquífero*

Parâmetro que expressa a profundidade do pacote de reservatório de água. Apresenta maior peso no ranqueamento por estar correlacionado a disponibilidade do mineral na atividade exploratória.

4.2.2.4. *Grau de confinamento do aquífero*

Indica a espessura das camadas sobrepostas a unidade hidrogeológica. A caracterização do Sistema Aquífero Bauru, como um aquífero majoritariamente livre, resulta na dispensa desse parâmetro no ranqueamento de municípios.

4.3. Etapa de refinamento

Esta etapa considera os parâmetros de condutividade elétrica, nitrato e fluoreto para atribuição de valores de ranqueamento. As amostras de águas subterrâneas analisadas e disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) serão utilizadas para avaliação do perfil hidroquímico e de qualidade.

Para a aplicação da metodologia na área alvo, apenas poços tubulares que apresentarem os parâmetros citados anteriormente serão considerados na etapa de refinamento.

4.3.1. *Condutividade elétrica*

Parâmetro que expressa a facilidade da água em conduzir corrente elétrica, relacionado ao teor de sais dissolvidos em forma de íons (corresponde a sua mineralização). A baixa mineralização resulta em sabor/gosto específico mais favorável ao consumidor, implicando em uma faixa ideal de 60 a 120 µS/cm como "ótimo" para a prospecção do recurso.

4.3.2. *Nitrato*

Parâmetro que indica a exposição das águas subterrâneas a atividades antrópicas, através do contato com águas superficiais contaminadas com fertilizantes nitrogenados ou esgoto humano depositado em fossas sépticas. A presença desse íon em concentrações anômalas pode indicar a contaminação das águas subterrâneas, inviabilizando sua exploração e consumo.

Para o modelo de prospecção, locais que apresentarem valores de nitrato superior a 5,0mg/L serão descartados e valores inferiores a 2 mg/L serão considerados "ótimos".

4.3.3. *Fluoreto*

Parâmetro que expressa a quantidade do íon fluoreto na amostra, que apresenta caráter benéfico à saúde humana em pequenas concentrações. Dessa forma, valores de 0,02 a 1,50 mg/L são considerados aceitáveis, sendo este último valor limitante de riscos à saúde humana. Valores maiores ou menores que esse intervalo serão considerados como "não aceitáveis", excluindo potenciais alvos do ranqueamento.

5. RESULTADOS DA PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA NA UGRHI-18, BACIA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS

Foram analisados dados de 828 poços tubulares profundos, contidos nos 25 municípios que constituem a UGRHI-18.

5.1. Avaliação preliminar

Os dados e análises referentes aos parâmetros “aspectos econômicos, densidade de poços, capacidade específica e espessura de aquífero” serão demonstrados e discutidos de forma individual a seguir. Os parâmetros “Espessura de Basalto” e “Recarga” foram desconsiderados na análise por, respectivamente, se tratar de um parâmetro correlacionado a natureza do aquífero (o SAB se configura como um aquífero majoritariamente livre) e pela ausência de dados prévios sobre a recarga nos municípios alvos da prospecção mineral.

5.1.1. *Aspectos econômicos*

Foram considerados a população dos 25 municípios constituintes da UGRHI-18 estimada em 2021 e sua respectiva renda per capita mensal, co-relacionados na seguinte ponderação (sem unidade específica):

Parâmetro Econômico = Log. (7X População) + (3X Renda per capita)/10

Equação 2

O município de Jales obteve o maior potencial econômico da região alvo, seguido por Santa Fé do Sul, Sebastianópolis do Sul, Ilha Solteira, Monte Aprazível, Nhandeara e Suzanápolis, com os respectivos valores de 1,86; 1,82; 1,80; 1,50; 1,48; 1,29 e 1,26.

Os municípios que apresentaram os piores resultados foram São Francisco, São João de Iracema, Nova Canaã Paulista, Marinópolis, Santana da Ponte Pensa e Santa Salete, com os respectivos valores de 0,64; 0,60; 0,60; 0,59; 0,59 e 0,58.

Foram considerado “ótimos” 7 municípios com valores superiores a 1,26 (3° quartil), recebendo a pontuação de 7; “bons” representados por 6 municípios (valores entre 0,9 e 1,26), recebendo a pontuação de 4; 12 municípios recebendo a caracterização de “regular” (valores inferiores a 0,90), obtendo 2 pontos.

A Figura 11 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

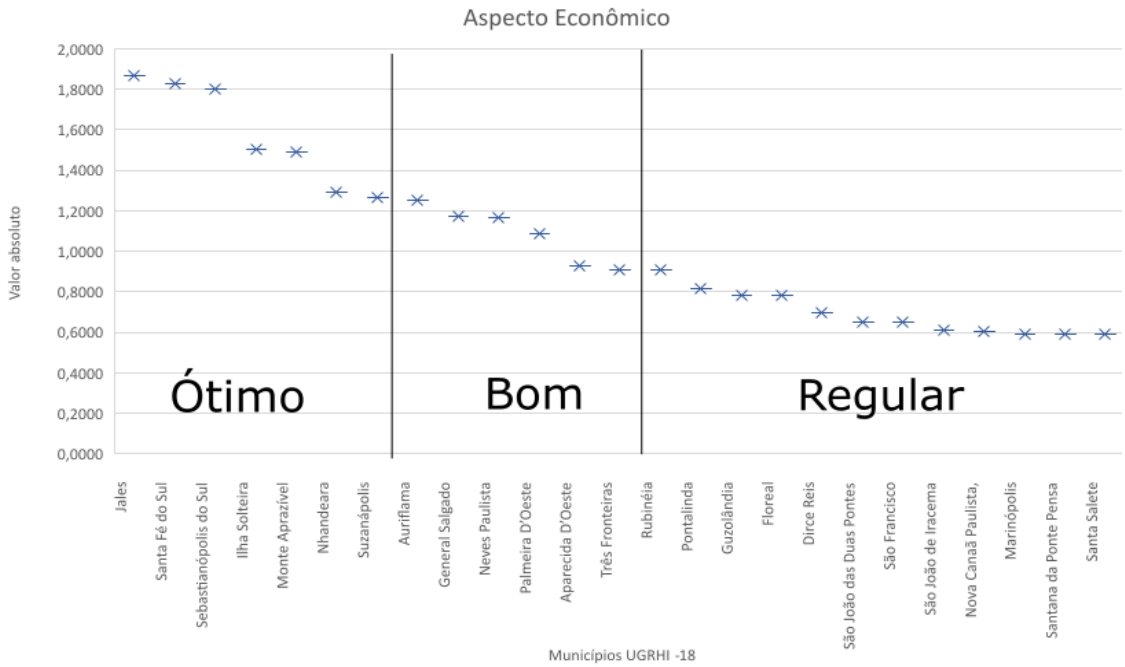

Figura 11: Favorabilidade econômica dentre os municípios alvos.

A Figura 12 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base no parâmetro de aspecto econômico.

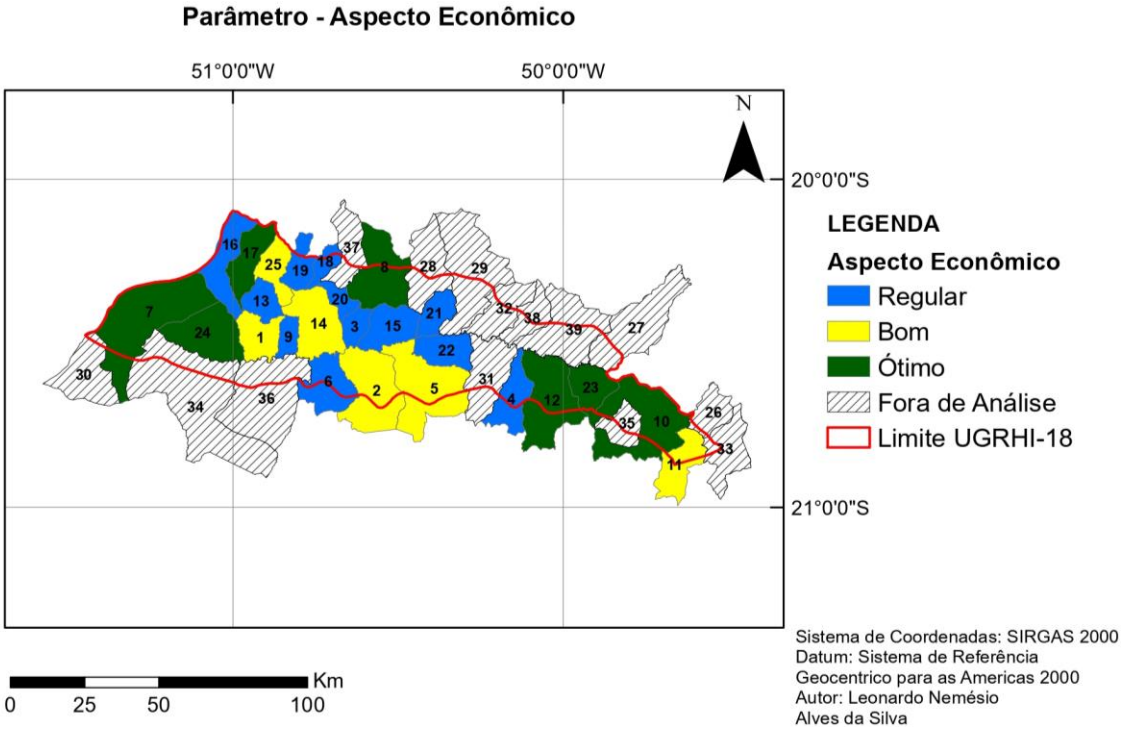

Figura 12: Mapa de categorização do parâmetro “Aspecto Econômico” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.1.2. *Aspectos hidrogeológicos e geológicos*

Os dados utilizados para análise foram obtidos através do banco de dados do SIAGAS para os 25 municípios alvos, resultando na investigação de 828 poços tubulares profundos (Figura 13).

Para a padronização da análise, poços que não apresentaram informações suficientes para a categorização, como descrição geológica, perfil construtivo e parâmetros hidrodinâmicos, foram descartados da investigação. Dessa forma, o espaço amostral foi reduzido para 403 poços. Todos os municípios manifestaram pelo menos 3 poços tubulares profundos com informações pertinentes para análise dos parâmetros hidrogeológicos e geológicos.

Por se tratar de um modelo prospectivo em escala regional, foram utilizadas médias dos parâmetros prospectivos para maior representatividade (quando disponível mais de um dado por região)

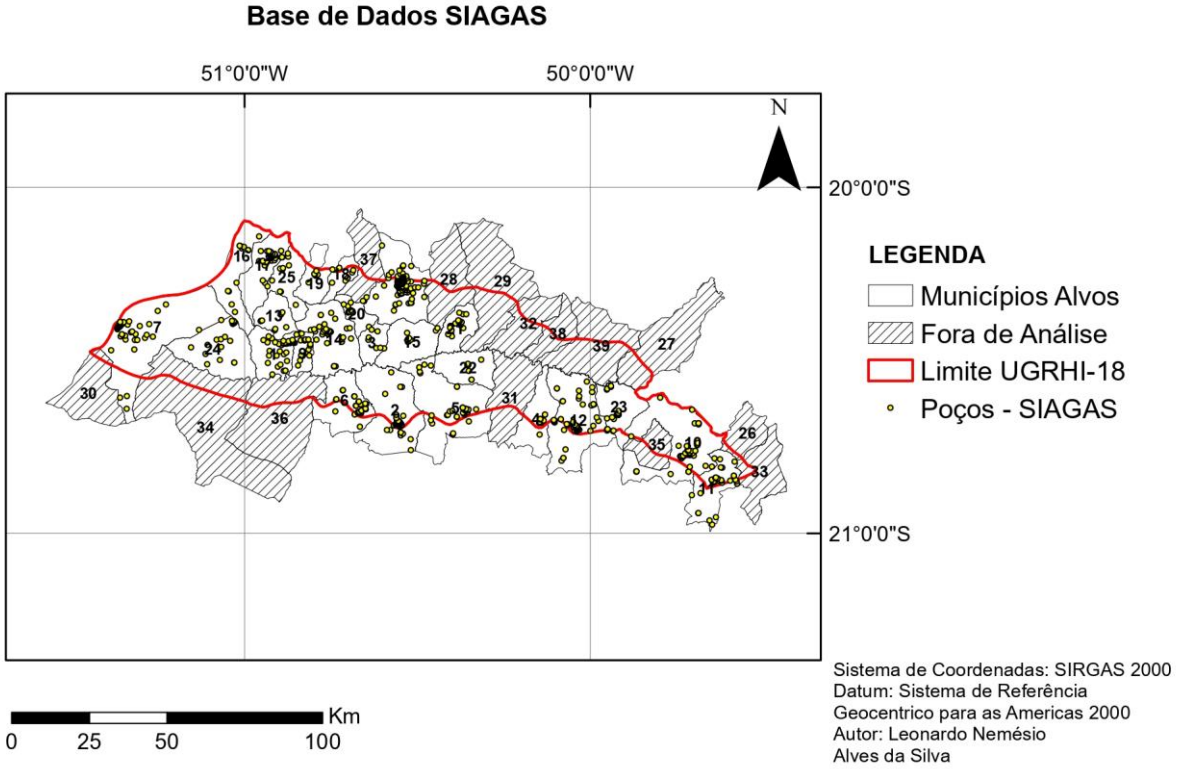

Figura 13: Mapa de localização e distribuição dos poços adquiridos através da base de dados SIAGAS, totalizando 828 investigados e categorizados.

5.1.2.1. *Capacidade específica*

Os valores de Capacidade Específica, expressos em m³/h/m, receberam pesos superiores no ranqueamento preliminar por indicar a disponibilidade do minério na campanha prospectiva.

O município de Ilha Solteira obteve a maior capacidade específica da região alvo, seguido por Nova Canaã Paulista, Suzanápolis e Neves Paulista com os respectivos valores de .3,26; 0,88; 0,70 e 0,63.

Os municípios que apresentaram os piores resultados foram Santana da Ponte Pensa, São João de Iracema e Três Fronteiras, com os respectivos valores de 0,08; 0,075 e 0,01.

Foram considerado “ótimos” 7 municípios com valores superiores a 0,38 (3° quartil), recebendo a pontuação de 10; “bons” representados por 6 municípios (valores entre 0,23 e 0,38), recebendo a pontuação de 7; 12 municípios recebendo a caracterização de “regular” (pontuação inferior a 0,23), obtendo 3 pontos.

A Figura 14 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

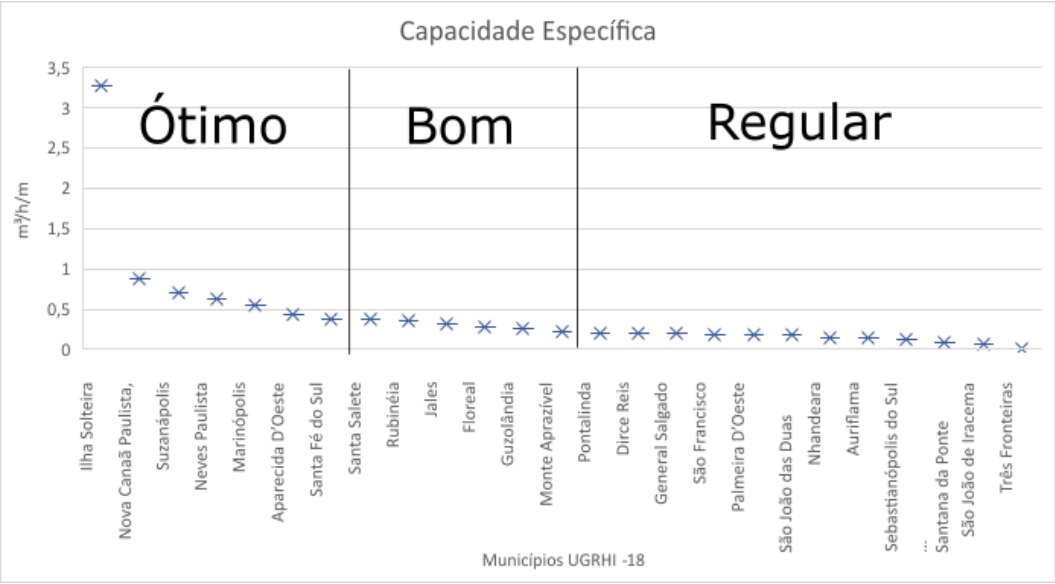

Figura 14: Capacidade Específica dentre os municípios alvos.

A Figura 15 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base no parâmetro de Capacidade Específica. É perceptível a favorabilidade dos municípios aos extremos Leste e Oeste da região alvo, em detrimento a porção central do local cuja favorabilidade ao parâmetro analisado é menor.

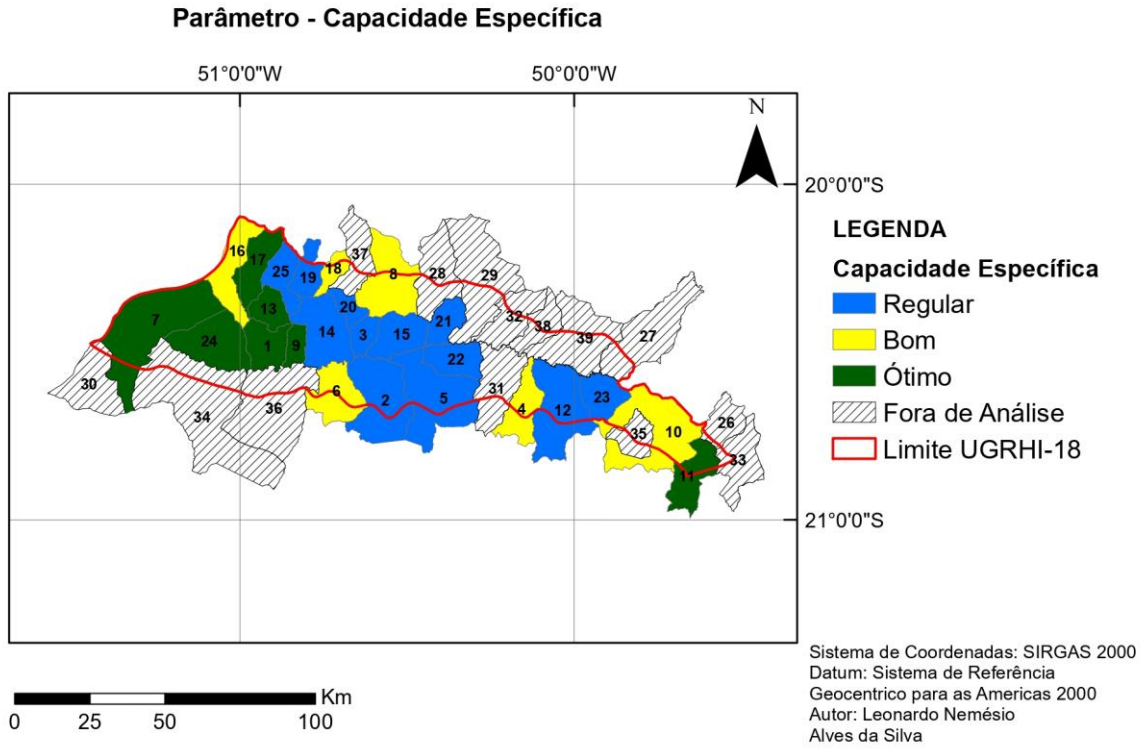

Figura 15: Mapa de categorização do parâmetro “Capacidade Específica” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.1.2.2. *Densidade de poços*

O município de Pontalinda obteve a menor densidade de poços/100km² da região alvo, seguido por São João de Iracema, Rubinéia, Suzanápolis e Floreal com os respectivos valores de 4,3; 4,48; 4,94; 6,35 e 6,9.

Os municípios que apresentaram os piores resultados foram Jales, Aparecida D’Oeste, Marinópolis e Santa Fé do Sul, com os respectivos valores de 38,86; 38; 25,71 e 19,85.

Foram considerado “ótimos” 7 municípios com valores inferiores ou igual a 8 (2° quartil), recebendo a pontuação de 7; “bons” representados por 6 municípios (valores entre 8 e 11,91), recebendo a pontuação de 4; 12 municípios recebendo a

caracterização de “regular” (pontuação superior a 11,91), obtendo 2 pontos.A Figura 16 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

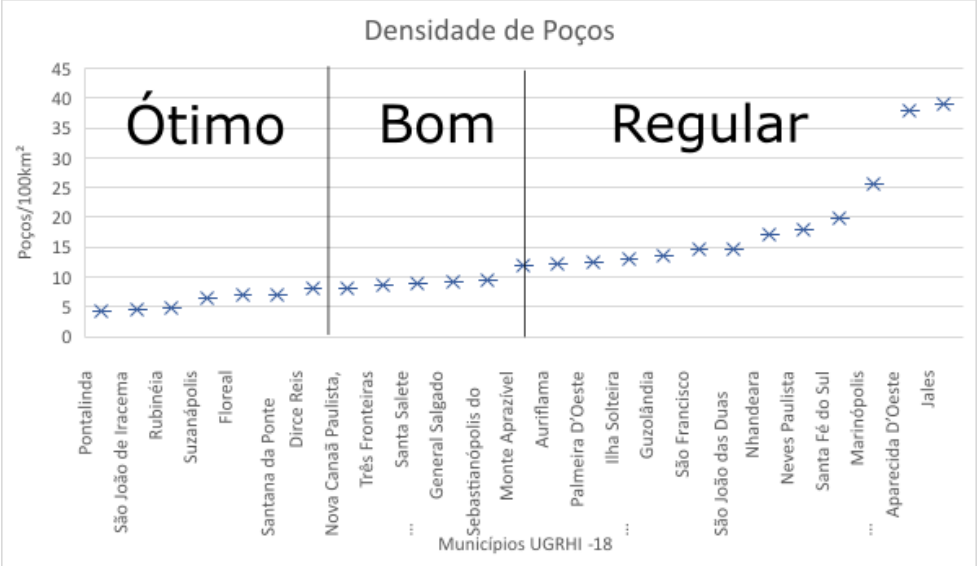

Figura 16: Densidade de Poços/100km² dentre os municípios alvos.

A figura 17 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base no parâmetro de densidade de poços/100km²

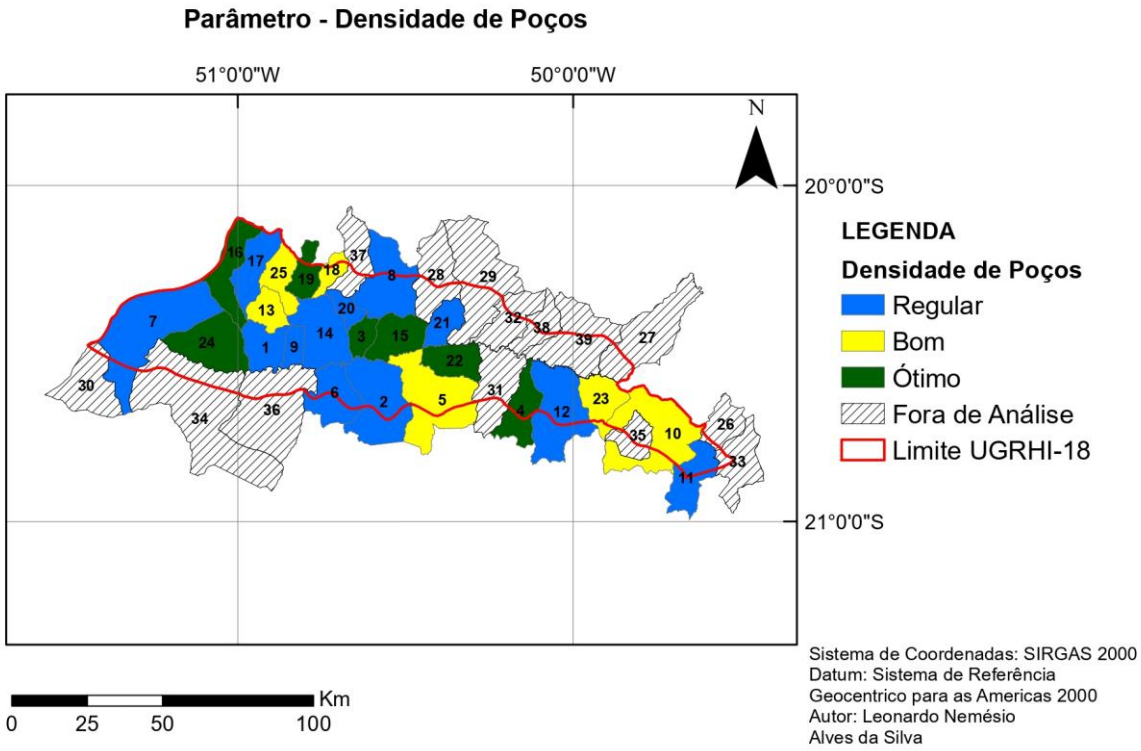

Figura 17: Mapa de categorização do parâmetro “Densidade de Poços/100km²” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.1.2.3. *Espessura de aquífero*

O parâmetro de Espessura de Aquífero (expresso em metros), assim como o parâmetro de Capacidade específica, por indicarem a disponibilidade do minério para exploração, recebeu um peso maior na categorização preliminar.

O município de Rubinéia obteve a maior espessura de Aquífero da região alvo, seguido por General Salgado, Marinópolis e Auriflama com os respectivos valores de 150; 142,5; 129 e 123.

Os municípios que apresentaram os piores resultados foram Ilha Solteira, Sebastianópolis do Sul e Três Fronteiras, com os respectivos valores de 65,45; 60,5 e 40.

Foram considerado “ótimos” 7 municípios com valores superiores a 113 (3° quartil), recebendo a pontuação de 10; “bons” representados por 6 municípios (valores entre 100 e 113), recebendo a pontuação de 7; 12 municípios recebendo a caracterização de “regular” (valores inferiores a 100), obtendo 3 pontos.

A Figura 18 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

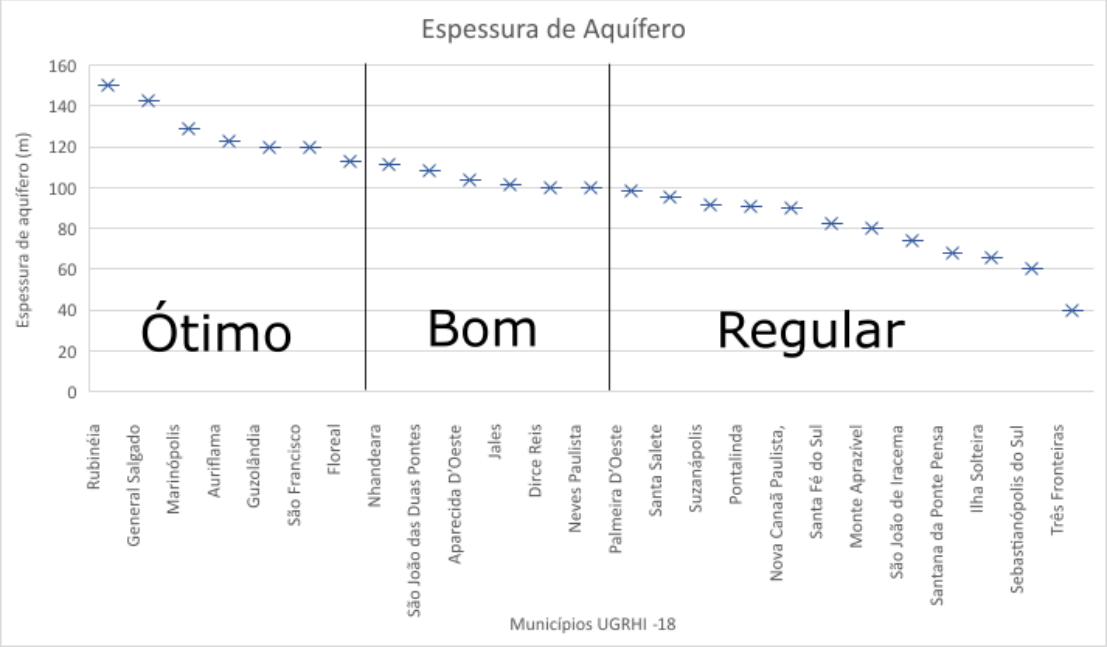

Figura 18: Espessura de Aquífero dentre os municípios alvos.

A figura 19 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base no parâmetro de Espessura de Aquífero. É perceptível a favorabilidade dos municípios centrais da região alvo, em detrimento dos extremos Leste e Oeste.

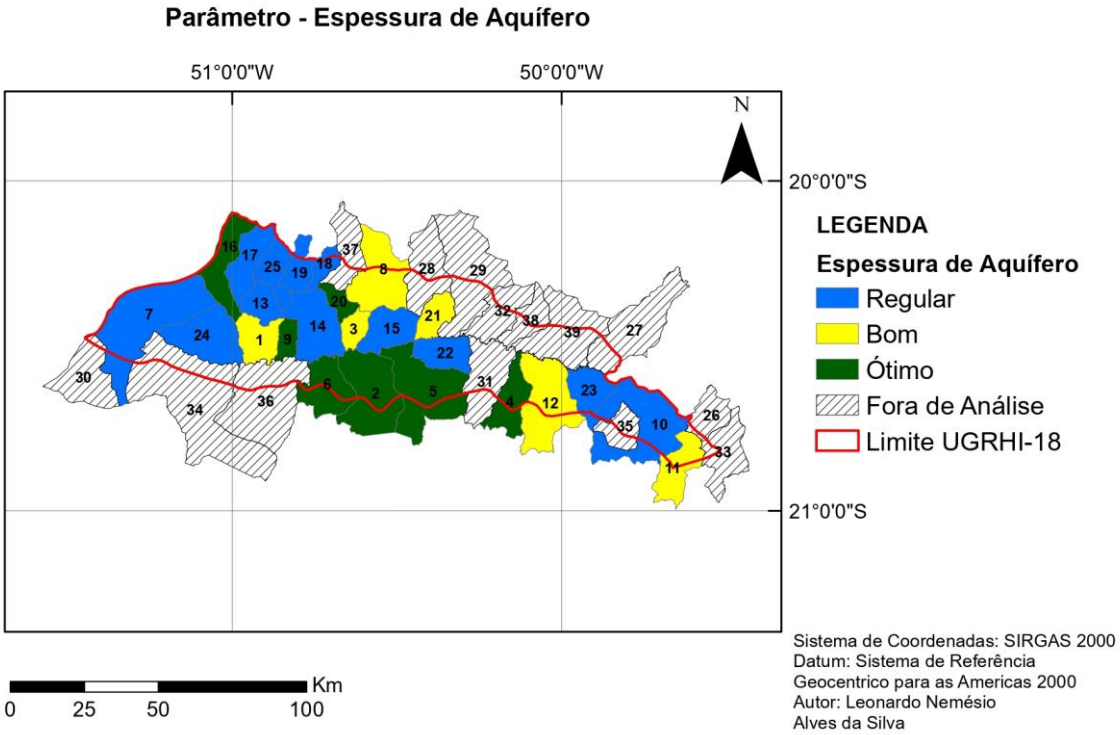

Figura 19: Mapa de categorização do parâmetro “Espessura de Aquífero” nos municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.1.3. *Categorização preliminar*

O município de Suzanápolis apresentou a maior classificação na avaliação preliminar de potenciais alvos exploratórios, seguido de Floreal, Rubinéia e Marinópolis com as respectivas pontuações de 27; 26; 26 e 24.

Em contrapartida, os municípios de Palmeira D’Oeste, Três Fronteiras, São João das Duas Pontes apresentaram as menores pontuações da categorização preliminar, com as respectivas pontuações de 12; 14 e 14.

Foram considerados “ótimos” 7 municípios com valores superiores a 23 (3° quartil); “bons” representados por 6 municípios (valores entre 19 e 23); 12 municípios recebendo a caracterização de “regular” (valores inferiores a 19).

A Figura 20 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

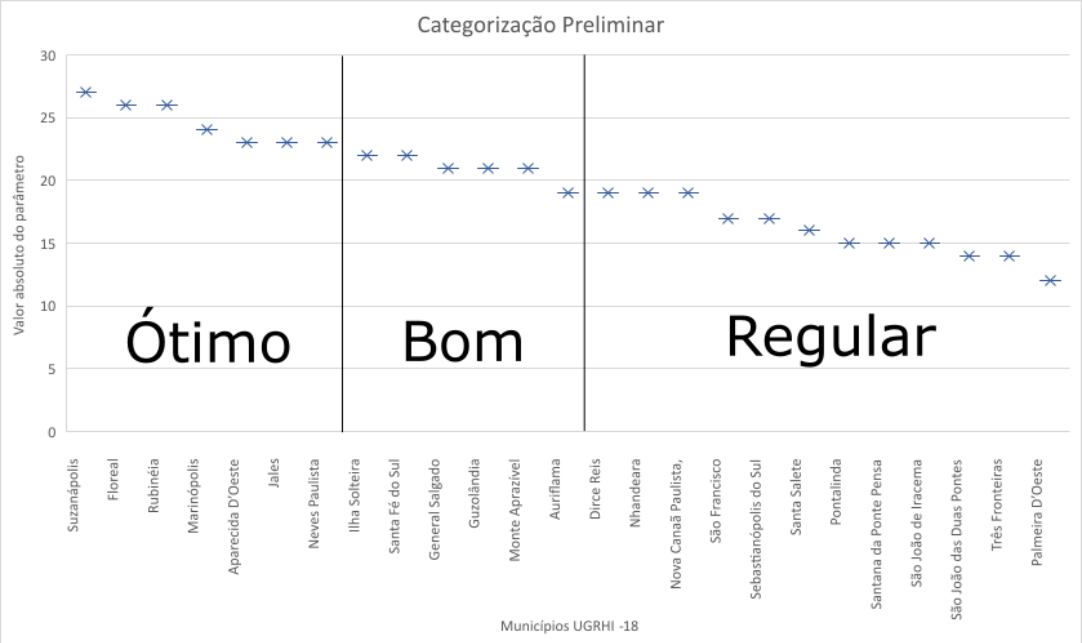

Figura 20: Categorização Preliminar dentre municípios alvos.

A figura 21 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base na categorização preliminar.

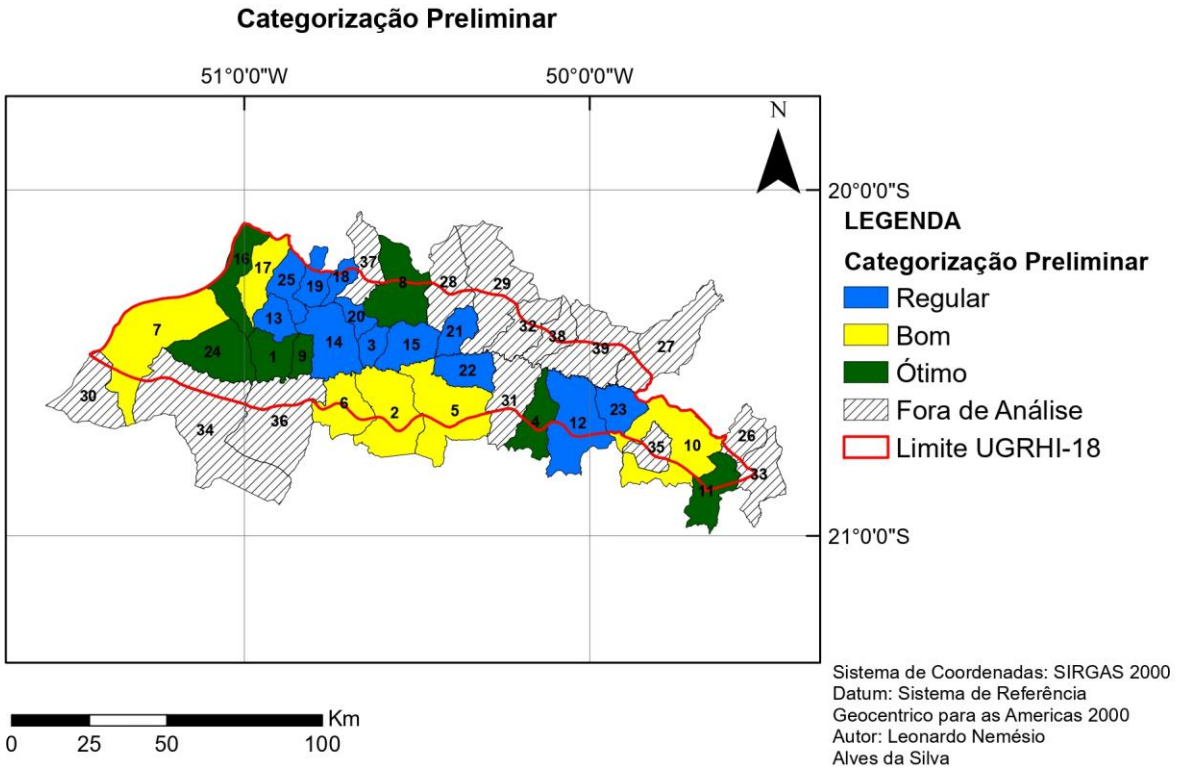

Figura 21: Mapa de Categorização Preliminar dentre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.2. Refinamento

Para esta etapa, foram utilizados os dados de poços tubulares profundos contidos no SIAGAS que apresentassem os parâmetros hidroquímicos completos (Condutividade Elétrica, Nitrato e Fluoreto). Apenas 13 municípios apresentaram os 3 parâmetros em conjunto, em detrimento do restante que apresentava nenhum ou apenas parte dos dados necessários para o ranqueamento. Dessa forma, somente os locais com informações suficientes foram avaliados e categorizados nesta etapa.

Por se tratar de um modelo prospectivo em escala regional, foram utilizadas médias dos parâmetros prospectivos para maior representatividade (quando disponível mais de um dado por região).

Os dados e análises referentes aos parâmetros “Condutividade Elétrica, Nitrato e Fluoreto” serão demonstrados e discutidos de forma individual a seguir.

5.2.1. *Condutividade elétrica*

O intervalo considerado “ótimo” para o parâmetro Condutividade elétrica reside entre 60 e 120 µS/cm, atribuindo ao município a pontuação de 10. Valores entre 120 a 150 ou inferiores a 60 µS/cm, categorizados como “bom”, receberam a pontuação de 6. Valores excedentes 150 µS/cm, classificados como regulares, foram pontuados com 4.

Na região alvo, apenas 13 municípios apresentaram dados hidroquímicos suficientes para a etapa de refinamento. Dentre os municípios, Jales foi o único a apresentar caráter “ótimo” neste parâmetro, apresentando valor de 117,7. Os municípios de Nhandeara, São João de Iracema e Auriflama foram caracterizados como “bom”, apresentando os valores respectivos de 43,71; 0,33 e 0,25. Os demais municípios apresentaram valores superiores a 150µS/cm, classificando-os como “regulares”.

A Figura 22 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

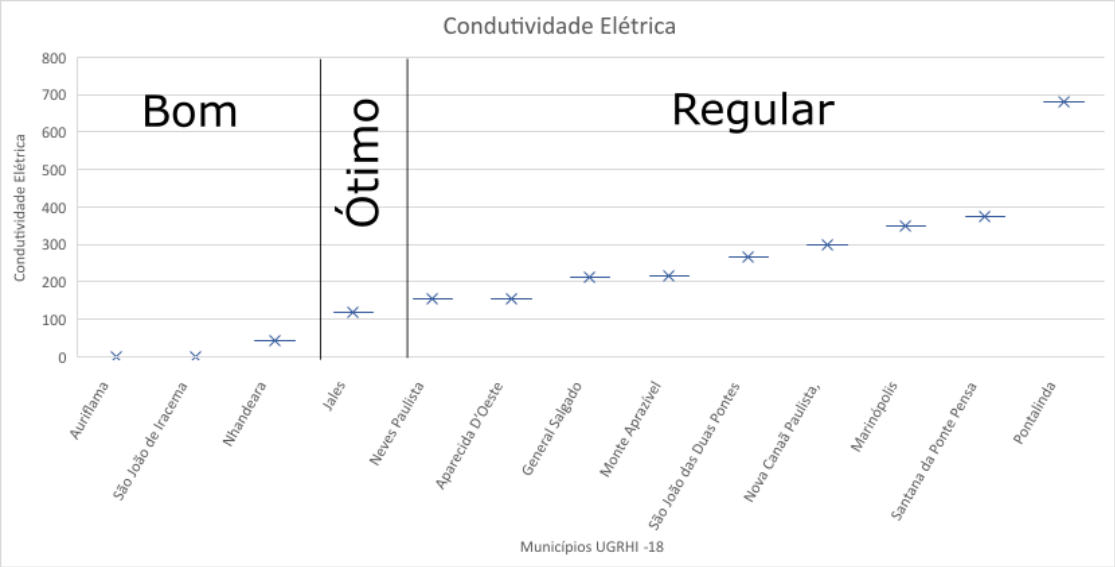

Figura 22: Parâmetro de Condutividade Elétrica entre os municípios alvos.

A figura 23 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base no parâmetro de Condutividade Elétrica. É perceptível a maior favorabilidade na porção central da região alvo de análise.

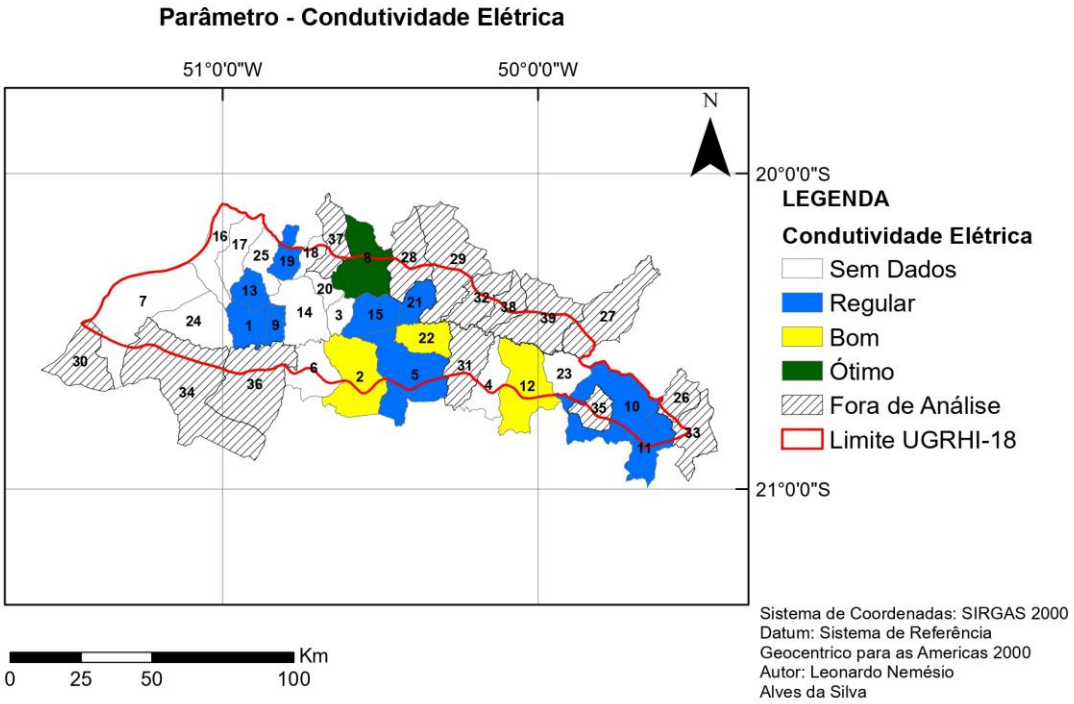

Figura 23: Mapa do parâmetro Condutividade Elétrica entre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.2.2. *Nitrato*

O intervalo considerado “ótimo” para este parâmetro reside em concentrações inferiores a 2 mg/l, atribuindo uma pontuação de 10 para o município. Concentrações contidas no intervalo 2 a 5 mg/l foram consideradas “bom”, atribuindo uma pontuação de 6. Valores excedentes a 5 mg/l são considerados “não aceitáveis” para o viés de exploração e comercialização de água mineral envasada.

Os municípios de São João das Duas Pontes e Pontalinda obtiveram o caráter “ótimo”, apresentando valores de 1,05 e 0,745, respectivamente. Apenas 6 municípios receberam o caráter “bom”, com valores de 2,8 a 4,825 mg/l (Nova Canaã Paulista e Nhandeara). O restante dos municípios foram classificados como “não aceitável”, resultando em suas exclusões do processo de ranqueamento.

A Figura 25 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

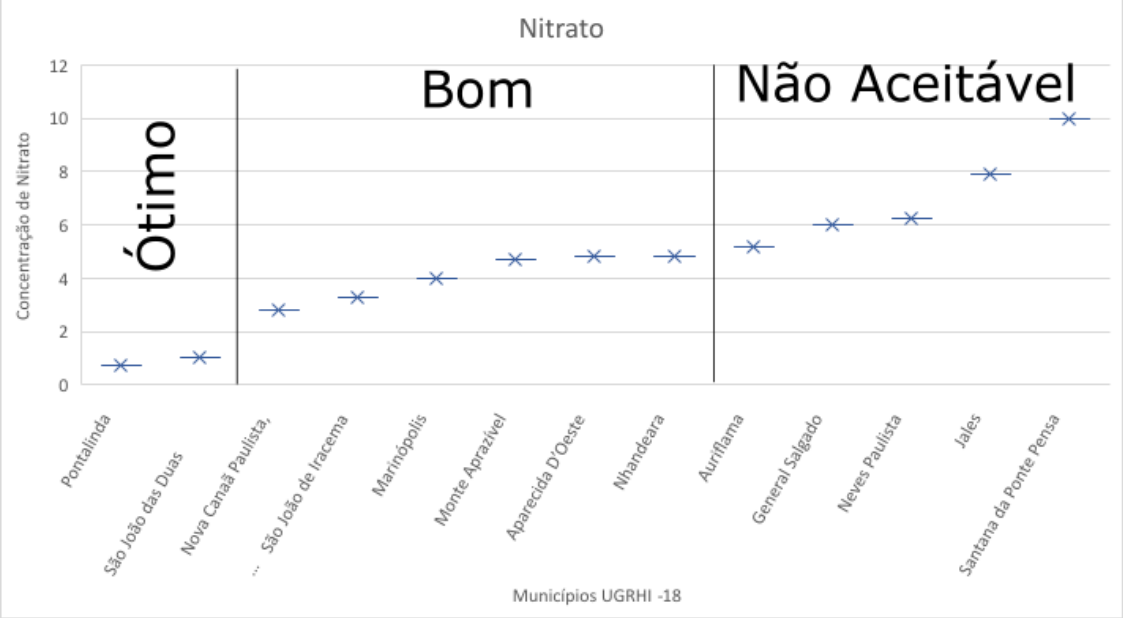

Figura 24: Parâmetro Nitrato entre os municípios alvos.

A figura 25 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base no parâmetro de Nitrato. Os municípios na porção central da região alvo apresentam maior potencialidade no parâmetro analisado.

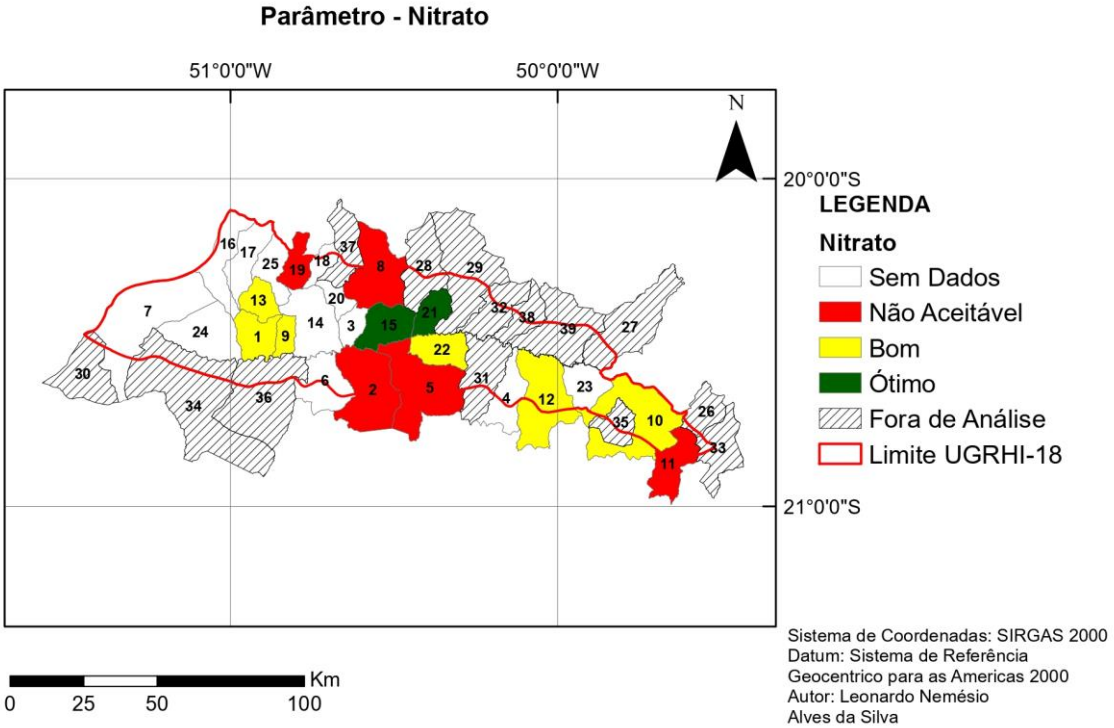

Figura 25: Mapa do parâmetro Nitrato entre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.2.3. *Fluoreto*

O intervalo considerado “ótimo” para este parâmetro reside em concentrações entre 0,02mg/L a 1,50 mg/L, atribuindo uma pontuação de 10 para o município.Valores fora desse intervalo categorizam o município como “não aceitável”. Na Região Alvo do estudo, todos os municípios com dados suficientes para serem avaliados na etapa de refinamento apresentaram o caráter “ótimo” para este parâmetro, com exceção de São João das Duas Pontes e Monte Aprazível, que apresentaram valores de 0,06 e 0,035 respectivamente, categorizando como “não aceitável" .

A Figura 26 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

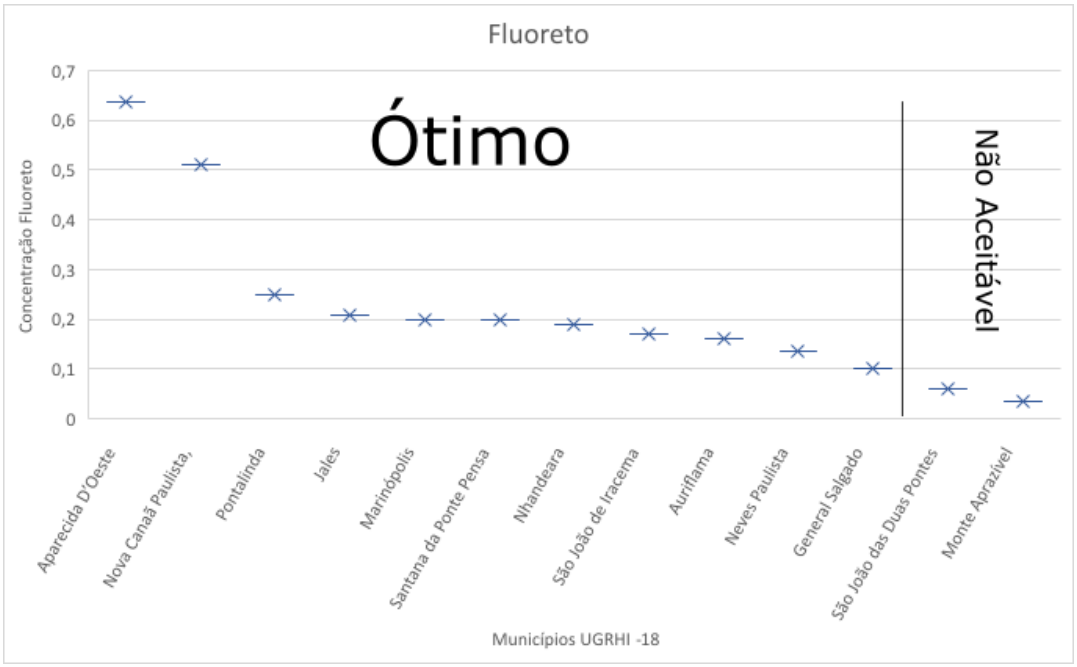

Figura 26: Parâmetro Fluoreto entre os municípios alvos.

A figura 27 ilustra a distribuição espacial dos municípios com base no parâmetro de Fluoreto. Os municípios na porção central e Leste da região alvo apresentam maior potencialidade no parâmetro analisado.

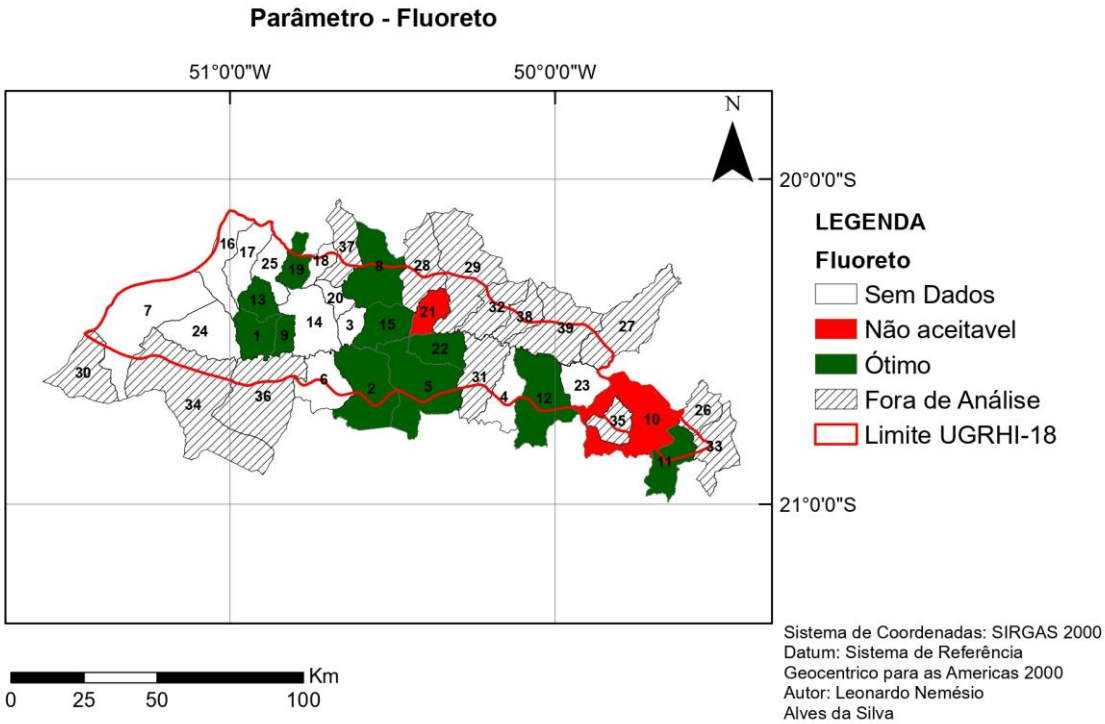

Figura 27: Mapa do parâmetro Fluoreto entre municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.3. Refinamento hidroquímico - Categorização

Os municípios de Pontalinda, Nhandeara e São João de Iracema apresentaram maior potencial hidroquímico para viabilização de projetos de águas minerais, obtendo caráter “ótimo” (3° quartil). Os municípios de Aparecida D’Oeste, Marinópolis e Nova Canaã Paulista obtiveram a classificação “bom”, enquanto os municípios de Auriflama, General Salgado, Jales, Neves Paulista, Santana da Ponte Pensa, Monte Aprazível e São João das Duas Pontes foram considerados “não aceitáveis para fim de potencial exploratório”.

A Figura 28 apresenta os dados em conjunto dos municípios alvos.

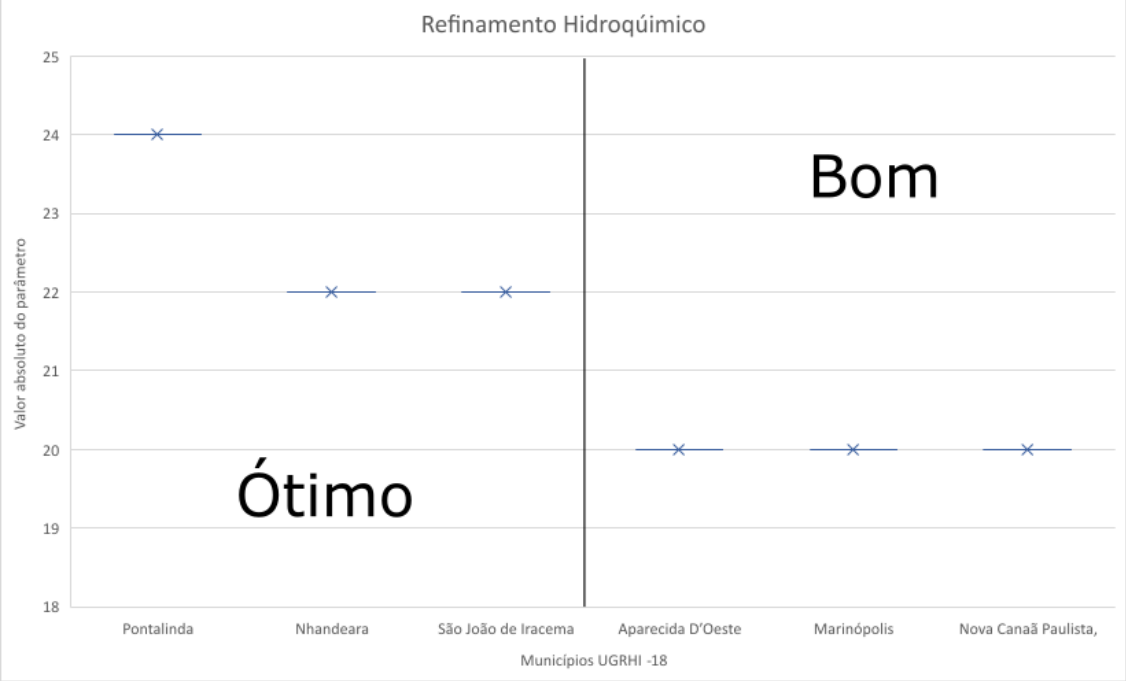

Figura 28: Refinamento Hidroquímico dentre os municípios.

A figura 29 apresenta a categorização e classificação dos 13 municípios avaliados quanto à favorabilidade hidroquímica. Os municípios favoráveis à prospecção de água mineral encontram-se concentrados na porção central para Leste da região alvo segundo a avaliação hidroquímica.

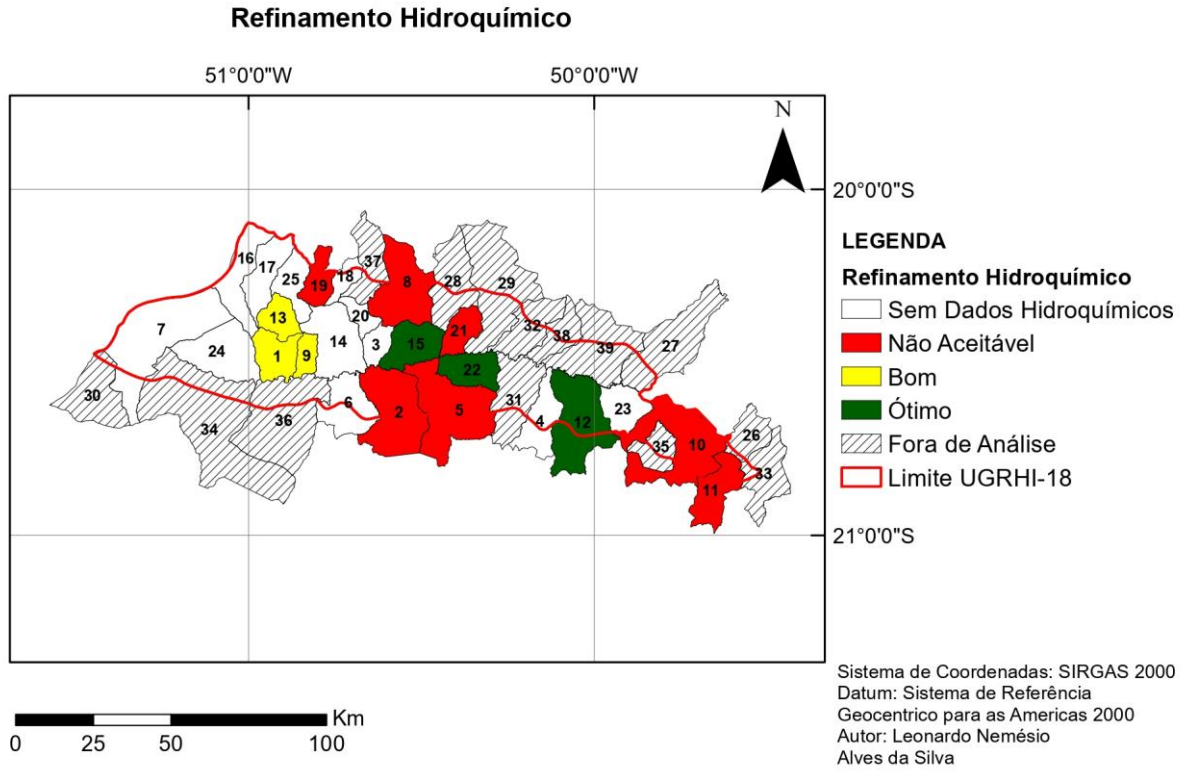

Figura 29: Mapa de Categorização Hidroquímica entre os municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

5.4. Ranqueamento final e definição de alvos exploratórios

Para realizar o ranqueamento final de potenciais alvos exploratórios, apenas os municípios que dispuseram de todos os parâmetros hidroquímicos foram considerados. Dessa forma, esta avaliação ocorreu com apenas 13 dos 25 municípios constituintes da UGRHI-18.

Apenas 6 municípios apresentaram dados hidroquímicos satisfatórios para a realização de uma possível prospecção de água mineral, enquanto 7 cidades foram categorizadas como “não aceitáveis para fim de potencial exploratório”.

A maior pontuação foi atingida por Marinópolis, Aparecida D’Oeste e Nhandeara, com pontuações de 44, 43 e 41 (3ºQuartil), foram categorizados como “ótimo”, representando os locais com maior favorabilidade e potencial viabilização de projetos de água mineral.

Os municípios de Nova Canaã Paulista e Pontalinda apresentaram pontuações de 39 e 39 (<3ºQuartil e >2ºQuartil), categorizados como “bom”. O Município de São

João de Iracema recebeu a pontuação de 37 (<2ºQuartil), recebendo a categoria “regular”.

A figura 30 expressa os resultados obtidos com o ranqueamento final

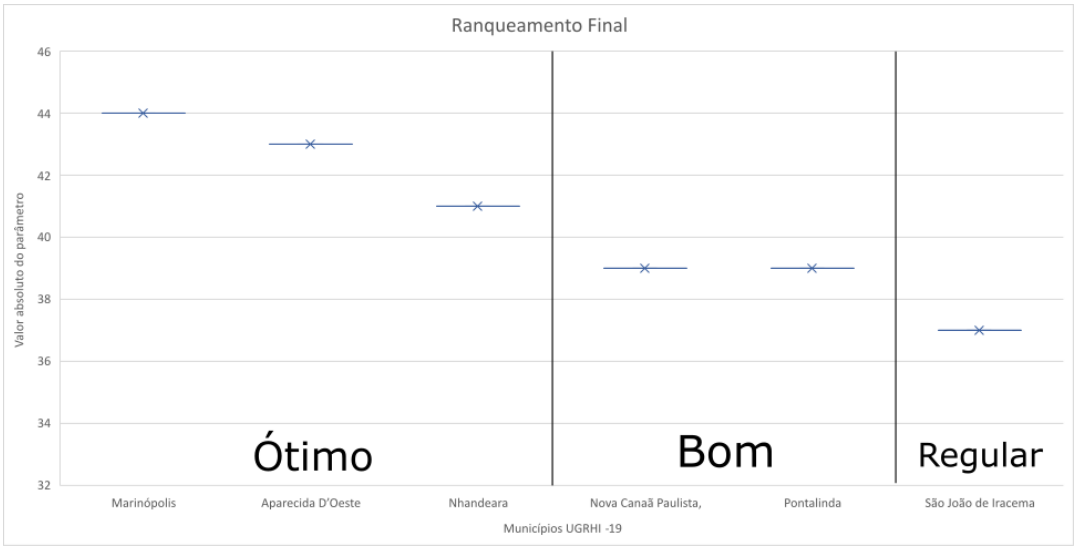

Figura 30: Ranqueamento final entre os municípios favoráveis à implementação de projetos de exploração de água mineral.

A Figura 31 apresenta a caracterização e distribuição espacial dos municípios favoráveis à prospecção e instalação de projetos de exploração de água mineral.Os municípios favoráveis aos projetos de prospecção estão localizados na porção Centro-Oeste e Centro-Leste da região alvo.

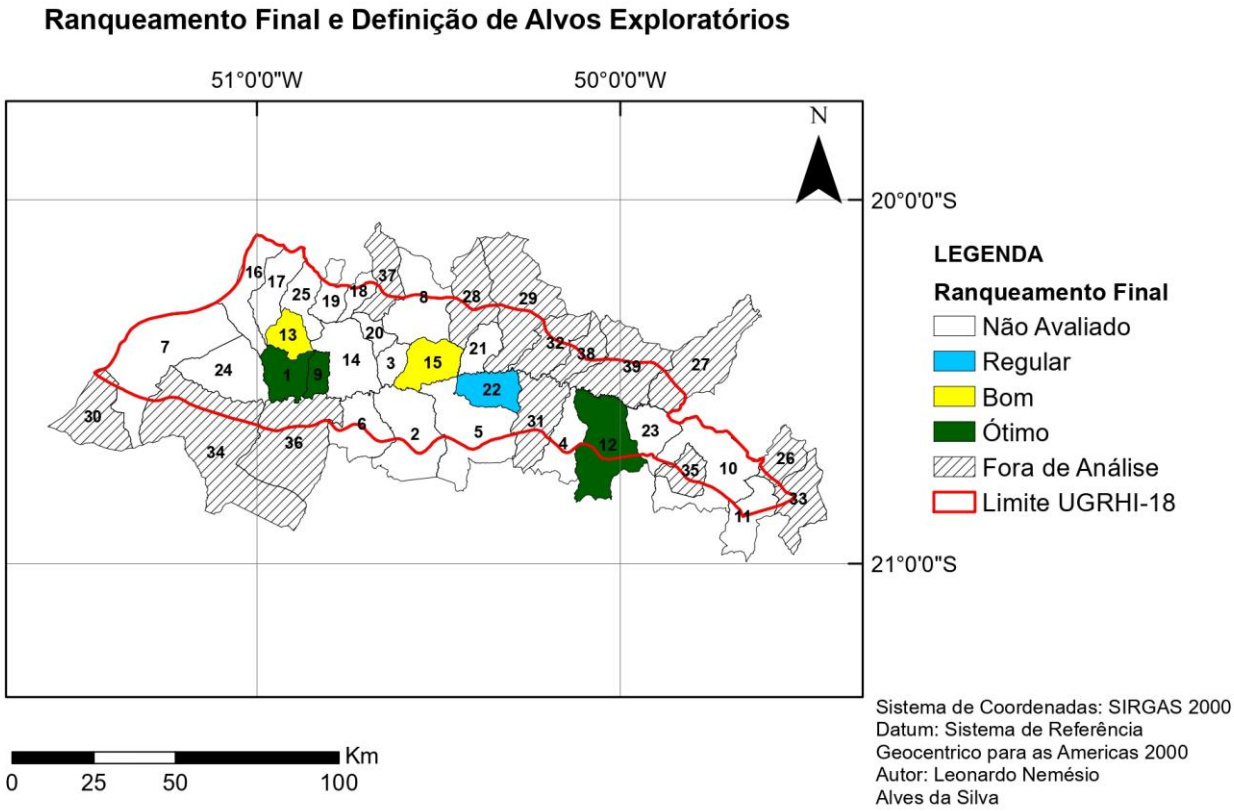

Figura 31: Mapa de Ranqueamento Final e Definição de Potenciais Alvos Exploratórios entre os municípios constituintes da UGRHI-18 para prospecção de águas minerais.

6. DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia de prospecção utilizada levou em consideração parâmetros econômicos, hidrogeológicos, geológicos e hidroquímicos para avaliar e ranquear os municípios mais favoráveis para a implantação e desenvolvimento de projetos de água mineral. Para tal objetivo, os parâmetros analisados foram divididos em duas etapas: Avaliação preliminar e Refinamento.

A Avaliação preliminar consistiu na categorização dos municípios da UGRHI-18 com base nos parâmetros econômicos (População X Renda Per Capita), hidrogeológicos (Capacidade Específica e Densidade de Poços) e geológicos (Espessura de Aquífero). Esta etapa apresentou a exclusão de dois parâmetros propostos por Saraiva (2020), sendo eles “Grau de Confinamento” e “Recarga”. O Parâmetro Grau de Confinamento foi descartado devido ao caráter majoritariamente livre do Sistema Aquífero Bauru. O parâmetro recarga foi descartado pela ausência de dados prévios sobre o mesmo no contexto da região alvo, inviabilizando sua utilização como critério avaliativo. Os fatores geológicos e hidrogeológicos apresentaram maior peso na classificação devido a sua correlação com a disponibilidade do minério.

A partir da avaliação preliminar, 7 municípios foram considerados “ótimos” para a implementação de projetos de prospecção de água mineral. Suas distribuições pela região alvo ocorrem pelas porções Leste e Oeste. É possível observar uma relação inversa entre os parâmetros “Espessura de Aquífero” e “Capacidade Específica”, cujo primeiro apresenta maiores valores na porção central da região (média de 123 metros de espessura) e capacidade específica média de 0,16 $m^3/h/m$, enquanto nos extremos Leste e Oeste a espessura de aquífero média é de 70 metros e a capacidade específica é de 0,63 $m^3/h/m$.

Os municípios que apresentaram maiores pontuações no quesito “Aspecto Econômico” também apresentaram, em sua maioria, menores pontuações no parâmetro “Densidade de Poços/100km^2” (Parâmetro com pontuação inversa ao valor), com destaque para Jales, Santa Fé do Sul e Nhandeara, evidenciando a

importância do abastecimento de águas subterrâneas para municípios com relevante densidade populacional e alta renda per capita.

A etapa preliminar evidenciou a limitação do banco de dados acerca de poços tubulares profundos. No início do processo, foram adquiridos dados referentes a 828 poços tubulares na região alvo e, a partir da padronização adotada, poços com ausência de dados geológicos, perfil construtivo e testes hidrodinâmicos (parâmetros essenciais para a aplicabilidade da metodologia de prospecção) foram desconsiderados no ranqueamento preliminar. Dessa forma, o conjunto de elementos foi reduzido em aproximadamente 52% (828 poços cadastrados para 403 poços aptos à análise).

A etapa de Refinamento utilizou os parâmetros hidroquímicos Condutividade Elétrica, Concentração de Nitrato e Concentração de Fluoreto para aferir pontuações aos municípios, com objetivo de definir a mineralização das águas, o risco a contaminação humana e vulnerabilidade do aquífero (através da concentração de Nitrato) e a caracterização do elemento explorável como bem mineral (Concentração de Fluoreto com base nas especificações explícitas no Código de Águas minerais). Os parâmetros de concentração de Nitrato e Fluoreto apresentaram caráter excludente aos municípios que compreendiam intervalos médios superiores aos estipulados, a fim de garantir a segurança ao consumo humano e a caracterização como bem mineral comercializável.

Os municípios que não dispuseram de dados hidroquímicos não foram avaliados nesta etapa, reduzindo o espaço amostral de 25 cidades para 13. É destacado as cidades de Jales e Neves Paulista, que receberam caráter “ótimo” na avaliação preliminar e foram excluídas da etapa de refinamento por ausência de dados hidroquímicos.

Ao final da avaliação dos parâmetros, apenas 6 municípios apresentaram dados hidroquímicos satisfatórios, enquanto 7 municípios foram caracterizados como “Não aceitáveis para fim de potencial exploratório". As cidades de Pontalinda, Nhandeara e São João de Iracema obtiveram a classificação “ótimo” nesta etapa.

Para o ranqueamento final, foram somadas as pontuações de ambas etapas. O conjunto de elementos inicial de 25 cidades foi reduzido para 6, descartando 19

potenciais alvos da região (que não tiveram seus parâmetros somados e válidos para o ranqueamento final).

7. CONCLUSÃO

Os municípios de Marinópolis, Aparecida D'Oeste e Nhandeara obtiveram a categorização "ótimo" e foram selecionados como alvos prioritários em uma possível campanha de prospecção mineral na Bacia de São José dos Dourados.

O modelo de prospecção utilizado demonstrou-se válido para aplicação no contexto de um aquífero livre. No entanto, a limitação no banco de dados da região acerca de parâmetros de recarga e análises hidroquímicas dos municípios tornaram o resultado final restritivo, excluindo municípios com classificação "ótimo" da etapa de refinamento. Dessa forma, reforça-se a necessidade de verificar a disponibilidade de dados na região alvo para a utilização do método.

Após a elaboração de materiais de análise, como gráficos e mapas, e a determinação de potenciais alvos de prospecção de água mineral, reforça-se a necessidade de estudos locais, como a perfuração de poços exploratórios, análises químicas dos poços existentes e geofísica local, a fim de aferir maior segurança na instalação de projetos de instalação de água mineral.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM SCHLOSSER, C. **Global Water Budgets–Fundamental Theory and Mechanisms**. Encyclopedia of Hydrological Sciences, [*S. l.*], p. 1-5, 15 abr. 2006.

BORGHETTI, Nadia Rita Boscardin. **Aqüífero Guarani:** A verdadeira integração dos países do Mercosul. 1. ed. Curitiba: Ed. dos Autores, 2004. 214 p. ISBN 8590438511, 9788590438519.

BRAGA, Antonio Celso de Oliveira. **Geofísica Aplicada: Métodos Geoelétricos em Hidrogeologia**. 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Texto, 2016. 160 p. ISBN 978-8579751912.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Sumário Mineral 2018** – Ano base 2017. Disponível em: http://www.anm.gov.br/

BRASIL. **Decreto-Lei no 7.841, de 8 de agosto de 1945**. Código de Águas Minerais. Brasília, Brasil. 1945

CAMPOS, H. C. N. S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo.** PhD Thesis. IGC - Universidade de São Paulo, São Paulo, 177p.1993.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2013-2015**. 311p. São Paulo: CETESB, 2016.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná**. Belo Horizonte: CPRM. (Volume 14), 2012.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Documentos produzidos pelo CBH-SJD (UGRHI 18)**. São José do Rio Preto: CBH-SJD, 2020

COOPERATIVA DE SERVICOS E PESQUISAS TECNOLOGICAS E INDUSTRIAIS (CPTI) & INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (IPT). **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São José os Dourados (UGRHI 18) - Complementação para atendimento da Deliberação CRH 62**. CBH-SJD, 2008 e 2009

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). **Estudo de Águas Subterrâneas - Regiões Administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília**. São Paulo: v.1 e 2. 1979b.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). **Plano estadual de recursos hídricos: Primeiro plano do Estado** - Síntese. São Paulo, 1990.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). **Síntese dos Planos de Bacia - Plano Estadual de Recursos Hídricos**. São Paulo: DAEE/Consórcio JMR ENGECORPS (Relatório nº 1/2005). 2005.

ANM (Agência Nacional de Mineração). Sumário Mineral - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2015**, v. 35, 2015

ANM (Agência Nacional de Mineração). **Anuário Mineral Estadual - São Paulo 2015 - ano base 2014**. Brasília, 2016.

FERNANDES, Luiz Alberto. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. Orientador: Armando Márcio Coimbra. 1992. 129 f. Dissertação de Mestrado (Pós Graduação em Geologia Sedimentar) - Mestrando, São Paulo, 1992.

GESICKI, A. L. D.; SINDICO, F. **Gestão Das Águas Minerais No Brasil - Panorama Legal Atual E Perspectivas Futuras**. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, n. 2, p. 69–88, 2013. Disponível em: http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0100-929X.20130010

GONÇALVES, V. G.; GIAMPÁ, C. E. Q.. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 3, p. 4-4, 2006.

HEALY, R. W. **Estimating Groundwater Recharge**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 245 p. ISBN 9781139491396.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1981b. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000.** São Paulo. 2v. (IPT.Monografias, 6. Publicação, 1 184)

IRITANI, Mara Akie; ODA, Geraldo Hideo; KAKAZU, Marisa Chieme; CAMPOS, José Eduardo; FERREIRA, Luciana Martin Rodrigues; SILVEIRA, Elcio Linhares; DE AZEVEDO, Anna Artemísia Barracco. **Zoneamento das Características Hidrodinâmicas (Transmissividade e Capacidade Específica) do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo – Brasil**. 1stJoint World Congress on Groundwater, [*S. l.*], p. 1-14, 11 set. 2000. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24014

IRITANI, Mara Akie; EZAKI, Sibele**. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2008

LICHT, O. A. B. **Geoquímica Multielementar na gestão ambiental identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à Prospecção Mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil**. Orientador: André Virmond Lima Bittencourt. 2001. 209 p. Tese de Doutorado (Doutorado em em Geologia, Área de Concentração - Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra) - Doutorando Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu**

relacionamento com a geodinâmica Fanerozoica do Gondwana Sul-Ocidental. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 255p, 1997

MILANI, E. J., MELO, J. H. G., SOUZA, P. A., FERNANDES, L. A., FRANÇA, A. B.

.**Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências Petrobras, 15 (2)

MILANI, E .J.. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná**. In: MANTESSO NETO V, BARTORELLI A, CARNEIRO C. D. R. AND BRITO NEVES BB (Orgs), Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, p. 265-279, 2004

QUEIROZ, E.T. – **Diagnóstico das Águas Minerais e Potáveis de Mesa do Brasil. Brasília, DF**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Diretoria de Fiscalização da Atividade Minerária, Brasília p. 1-26, 2015.

QUINTAS, M.C.L, MANTOVANI M.S.M. & ZÁLAN. **Contribuição ao estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências, v. 29, n. 2, p. 217-226, 1997.

REIS, M. M. **Potencial Hidrotermal das Águas Hipertermais do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo**. Orientador: KIANG, Chang Hung. 2011. 129 f. Dissertação de Mestrado (Geociências e Meio Ambiente - IGCE) - Mestrando, Rio Claro, 2011.

RODWAN JR., J. G. – **Bottled Water 2019: Significant, but Slower, Growth for Bottled Water in 2018, in Bottled Water Reporter**. IBWA, International Bottled Water Association, 2019. Disponível em: https://www.bottledwater.org/

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência de pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. 1995. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SARAIVA, Giancarlo Pinto. **Prospecção hidrogeológica como ferramenta para a favorabilidade de projetos de águas minerais envasadas**. Orientador: GASTMANS, Didier. 2021. 73 f. Dissertação de Mestrado (Pós graduação Geociências e Meio Ambiente) - Mestrando, Rio Claro, 2020.

SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004-2007**. Resumo. São Paulo, 2006.

SEADE. **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Informações dos Municípios Paulistas** – IMP. 2019.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. 1996.

SILVA, Flavio de Paula e. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do grupo Bauru no estado de São Paulo**. 2003. xiv, 167 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/103040>.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J., SOMBREIRO NETO, A.F. **Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo: SBG, p. 177-185, 1980.

STRADIOTO, Marcia Regina; TERAMOTO, Elias Hideo; CHANG, Hung Kiang. **Nitrato em Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 1-12, 2019.