



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MINAS

RAFAEL TAVARES LANDIM

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE AURORA-CE**

CRATEÚS

2022

RAFAEL TAVARES LANDIM

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE AURORA-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Rafael Chagas Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva.

CRATEÚS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L246u Landim, Rafael Tavares.
Uso do sensoriamento remoto para avaliação do potencial hidrogeológico do município de Aurora-CE /
Rafael Tavares Landim. – 2022.
83 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús,
Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2022.
Orientação: Prof. Me. Rafael Chagas Silva.
Coorientação: Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva.
1. Água subterrânea. 2. Poços tubulares. 3. Dados georreferenciados. I. Título.

CDD 622

RAFAEL TAVARES LANDIM

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE AURORA-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Rafael Chagas Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Agnaldo Francisco de Freitas Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Larissa Granjeiro Lucena
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a minha mãe, que é o pilar de sustentação da minha família, e para meu pai, que foi mais uma vítima da pandemia do COVID-19, que Deus o tenha.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças e me capacitado para que este objetivo se tornasse realidade.

A minha mãe Marileuza, por ser sempre meu maior exemplo de perseverança, força, superação e determinação. E também a toda minha família; pai, irmão, avós e avôs por serem meus motivos de engrandecimento pessoal e profissional.

Aos meus colegas e a todas as pessoas que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, alguns em especial como: os alunos da segunda turma de Engenharia de Minas da UFC do Campus de Crateús, pela convivência diária e amizade durante o curso.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal como Engenheiro de Minas, em especial ao meu professor orientador Prof. Me. Rafael Chagas Silva que dedicou seu tempo e conhecimento passando-me todas as diretrizes para a realização deste trabalho.

“Sonhar o impossível é fazer milagre, basta acordar, ultrapassar o limite, vencer barreiras e chegar! O sonho é ventre do milagre, a vitória é filha da vida, vida é milagre, basta acreditar”

(Ivone Boechat)

RESUMO

Entende-se por água subterrânea a porção de água que se armazena em qualquer quantidade abaixo da superfície da terra. Essas águas preenchem fraturas, falhas e poros das rochas, formando diversos tipos de aquíferos. Esse recurso é extremamente importante para a segurança hídrica da região onde encontra-se inserido, atuando diretamente no desenvolvimento social e econômico da população local. No Brasil, grande parte das águas subterrâneas são extraídas por poços tubulares (artesianos e semiartesianos), que são, normalmente, distribuídos para o abastecimento doméstico, industrial e agropecuário. Nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro, local onde encontra-se o município de Aurora, devido às chuvas irregulares, períodos de estiagem, o clima e outras características, o uso de água subterrânea torna-se um importante fator para ajudar no combate à seca, principalmente como alternativa para abastecimento humano e animal. Diante disso, o trabalho teve como objetivo avaliar o potencial hidrogeológico do município de Aurora no estado do Ceará por meio de técnicas de sensoriamento remoto. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, a primeira fase da pesquisa compreendeu a construção de um banco de dados georreferenciados, mediante arquivos do IBGE, relativos à geologia e hidrografia do município de Aurora; dados da CPRM, referentes aos poços tubulares cadastrados no SIAGAS; imagens SRTM e MDE dos repositórios digitais da USGS. A partir disso, a segunda fase desenvolveu-se com o processamento desses dados em ambiente SIG, com uso do *software* QGIS, no qual, foi possível gerar mapas temáticos, em que, suas análises permitiram a classificação de forma qualitativa, referente ao potencial de ocorrência de água subterrânea na região estudada. Para tanto, foram selecionados os dois poços de maior vazão cadastrados no SIAGAS para detalhamento, denominados de poços A e B, com vazões específicas de 18,75 m³/h/m e 0,68 m³/h/m. À vista disso, verificou-se que a área de ocorrência do poço A apresentou favorabilidade para ocorrência de água subterrânea em virtude da identificação de um riacho fenda na área que, provavelmente, favoreceu a formação de um aquífero com boa capacidade de acumulação de água subterrânea. Por outro lado, o poço B, situado entre duas falhas de rejeito direcional, registrou uma baixa vazão específica, que, possivelmente, pode estar associada à baixa porosidade secundária do aquífero fissural da área. Dessa forma, a partir dos estudos das áreas, recomenda-se a realização de levantamentos geofísicos como complemento ao estudo da favorabilidade das áreas, sendo estes de grande importância para o sucesso na definição de locais para a perfuração de poços.

Palavras-chave: Água subterrânea; Poços tubulares; Dados georreferenciados.

ABSTRACT

Groundwater is the portion of water that is stored in any quantity below the surface of the earth. These waters fill fractures, faults and pores of rocks, forming different types of aquifers. This resource is extremely important for the water security of the region where it is located, acting directly in the social and economic development of the local population. In Brazil, most of the groundwater is extracted by tube wells (artesian and semi-artesian), which are normally distributed for domestic, industrial and agricultural supply. In the semi-arid regions of northeastern Brazil, where the municipality of Aurora is located, due to irregular rains, dry periods, the climate and other characteristics, the use of groundwater becomes an important factor to help fight drought, mainly as an alternative for human and animal supply. Therefore, the objective of this work was to evaluate the hydrogeological potential of the municipality of Aurora in the state of Ceará through remote sensing techniques. The work was developed in two stages, the first stage of the research comprised the construction of a georeferenced database, using IBGE files, related to the geology and hydrography of the municipality of Aurora; CPRM data, referring to tubular wells registered in SIAGAS; SRTM and MDE images from the USGS digital repositories. From this, the second phase was developed with the processing of these data in a GIS environment, using the QGIS software, in which it was possible to generate thematic maps, in which, their analyzes allowed the classification in a qualitative way, referring to the potential of occurrence of groundwater in the studied region. For this purpose, the two highest flow wells registered in SIAGAS were selected for detailing, called wells A and B, with specific flows of $18.75 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ and $0.68 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. In view of this, it was verified that the area of occurrence of well A presented favorability for the occurrence of groundwater due to the identification of a crevice stream in the area that, probably, favored the formation of an aquifer with good capacity to accumulate groundwater. . On the other hand, well B, located between two directional tailings faults, recorded a low specific flow, which could possibly be associated with low secondary porosity of the fissure aquifer in the area. Thus, from the studies of the areas, it is recommended to carry out geophysical surveys as a complement to the study of the favorability of the areas, which are of great importance for the success in the definition of locations for the drilling of wells.

Keywords: Groundwater; Tubular wells; Georeferenced data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do município de Aurora/CE.....	17
Figura 2 - Mapa dos solos predominantes do município de Aurora/CE.....	18
Figura 3 - Mapa hipsométrico do município de Aurora/CE.....	19
Figura 4 - Mapa da geodiversidade do município de Aurora/CE.....	20
Figura 5 - Mapa dos domínios hidrogeológicos do município de Aurora/CE.....	22
Figura 6 - Mapa das principais hidrografias do município de Aurora/CE.....	23
Figura 7 - Ciclo hidrológico.....	25
Figura 8 - Velocidade de infiltração e infiltração acumulada em função do tempo para solo inicialmente seco e úmido.....	26
Figura 9 - Distribuição vertical da água no solo e subsolo, ilustrando as várias zonas de umidade.....	29
Figura 10 - Representação da Infiltração.....	31
Figura 11 - Tipologia de aquíferos.....	33
Figura 12 – Representação da infiltração para recarga.....	35
Figura 13 - Ilustrações do modelos de estruturas de fluxo e acumulação de água subterrânea: riacho-fenda (A), calha elúvio-aluvionar (B) e bolsões ou câmaras de intemperismo (C).....	37
Figura 14 - Ilustração do perfil de um poço sofrendo bombeamento.....	38
Figura 15 - Estrutura geral de um poço raso comum.....	39
Figura 16 - Estrutura geral de um poço tubular.....	40
Figura 17 - Interação entre a energia e a matéria.....	41
Figura 18 - Resoluções dos sensores.....	44
Figura 19 - Ilustração dos padrões dendrítico (A), subdendrítico (B) e pinado (C).....	47
Figura 20 - Fluxograma metodológico.....	49
Figura 21 - Mapas de distribuição dos poços tubulares no município de Aurora.....	57
Figura 22 - Mapa de declividade topográfica do município de Aurora.....	59
Figura 23 - Estruturas geológicas de Aurora em comparativo com o relevo sombreado (A) e as lineações sobrepostas sobre a geologia disponibilizadas pela CPRM (B).....	61
Figura 24 - Rede de drenagem aurora.....	63
Figura 25 - Mapa da área de análise “Poço A”.....	65
Figura 26 - Mapa da área de análise “Poço B”.....	67
Figura 27 - Mapa de sub-bacia área "A".....	69
Figura 28 - Mapa sub-bacia área "B".....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações dos poços tubulares de maiores vazões.....51

Quadro 2 - Dados gerais dos poços tubulares de maiores vazões.....52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEB	Agência Espacial Brasileira
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPR	Ground Penetrating Radar
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MDE	Modelos Digitais de Elevação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
RADAR	Rádio Detection and Ranging
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SAR	Synthetic Aperture Radar
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
VIB	Velocidade de Infiltração Básica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	ÁREA DE ESTUDO: A REGIÃO DE AURORA-CE	17
3.1	Localização.....	17
3.2	Aspectos Fisiográficos do Município	18
3.3	Geologia.....	19
3.4	Domínios Hidrogeológicos do Município	21
3.5	Águas Superficiais e Bacia Hidrográfica.....	22
4	REVISÃO DA LITERATURA	24
4.1	Hidrogeologia.....	24
4.2	Ciclo Hidrológico.....	24
4.3	Infiltração.....	26
4.4	Bacia Hidrográfica	27
4.4.1	<i>Sub-Bacia e microbacia</i>	28
4.5	Água Subterrânea.....	28
4.6	Água Subterrânea em Terrenos Cristalinos e Sedimentares	30
4.7	Fatores que Intervém na Capacidade de Infiltração	30
4.8	Aquíferos e Aquicludes	33
4.9	Recarga de Aquíferos	35
4.10	Estruturas de Fluxo e Acumulação de Água Subterrânea	36
4.11	Captação de Águas Subterrâneas	37
4.11.1	<i>Poço cacimba</i>	38
4.11.2	<i>Poço artesiano e semi-artesiano</i>	39
4.12	Sensoriamento Remoto	40
4.12.1	<i>Sensores remotos utilizados para gerar as imagens de satélite</i>	42
4.12.2	<i>As imagens de satélite e suas aplicações ambientais</i>	44
4.12.3	<i>Redes de drenagens identificadas no sensoriamento remoto</i>	45
4.13	Modelo Digital de Elevação	47
4.14	SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.....	48
5	METODOLOGIA	49
5.1	Aquisição dos Dados Georreferenciados.....	50

5.2	Processamento e interpretação dos dados.....	50
5.2.1	<i>Mapa de localização dos poços selecionados</i>	51
5.2.2	<i>Mapa de declividade topográfica</i>	52
5.2.3	<i>Mapa de estruturas geológicas e geologia do município</i>	53
5.2.4	<i>Mapa da rede de drenagem</i>	54
5.2.5	<i>Mapas de delimitação das sub-bacias</i>	54
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6.1	Mapa de Localização dos Poços Selecionados	55
6.2	Mapa de Declividade	58
6.3	Mapa de estruturas geológicas e geologia do município.....	60
6.4	Mapa da Rede de Drenagem	62
6.5	Mapas das áreas de análises do poços selecionados	64
6.5.1	<i>Mapas de Delimitação das Sub-bacias</i>	68
7	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Água é fonte de vida e todos os seres vivos, indistintamente, dependem dela para viver. O Brasil é um país privilegiado no que diz respeito à quantidade de água, pois tem a maior reserva de água doce do planeta, resultando em um total de 12% em relação ao resto do mundo. Entretanto, sua distribuição não é uniforme em todo o território nacional. Por exemplo, a Amazônia é uma região que detém a maior bacia fluvial do mundo, possuindo o maior volume d'água de um rio no globo, e sendo considerado um rio essencial para o planeta. Ao mesmo tempo, é também uma das regiões menos habitadas do Brasil (GOMES, 2011).

Segundo Souza (2015), as regiões semiáridas representam aproximadamente 17,7% do globo. No Brasil, essa região é de 982.563 km², representando cerca de 11,5% do território nacional. Ela é caracterizada por apresentar a caatinga como vegetação nativa, além de grande irregularidade climática, fator que dificulta o abastecimento hídrico, tornando-se um desafio para os governos e também para a sociedade.

No embasamento cristalino, onde a maior parte do semiárido brasileiro está inserido, a escassez de água torna-se mais evidente, pois o solo da depressão sertaneja é raso, pedregoso e de baixa drenagem, o que afeta ainda mais a qualidade e quantidade do abastecimento dos reservatórios em sub superfície, denominados de aquíferos (PINHEIRO, 2018). Assim, a disponibilidade de água no solo é o fator primário de controle do fluxo hidrológico, o que fica mais complexo quando é adicionado chuvas irregulares, períodos de estiagem, o clima e as mudanças de uso da terra (SOUZA, 2015).

A perfuração de poços tubulares no semiárido brasileiro mostra-se como uma alternativa viável para suprir a demanda por água nos municípios afetados pelas secas. Assim, para obter sucesso na prospecção de água subterrânea de uma determinada área, é fundamental a análise de dados georreferenciados, possibilitando a interpretação, previsão e apresentação de dados espaciais, cuja localização é conhecida. A partir do sistema de informação geográfica (SIG) é possível gerar novos mapas por meio da interação de outras bases cartográficas.

A integração das técnicas de sensoriamento remoto com a tecnologia dos SIG permite manipular as funções representantes dos processos naturais, em diversas regiões de uma maneira simples, eficiente, com economia de tempo e recursos. Com isso, pode-se perceber o quanto é importante desenvolver e aprimorar metodologias para o

mapeamento de áreas com potencial para ocorrência de aquíferos no sertão cearense (FREITAS, 1998).

Inserido na região semiárida, o município de Aurora, pertencente à mesorregião do sul cearense, enfrenta, anualmente, longos períodos de estiagem que corroboram para a escassez hídrica local (POMPÊO, 1999). De acordo com a empresa de consultoria ambiental Mcrit (2017), Aurora esteve entre os 12 municípios da bacia do Salgado que decretaram situação de emergência, em decorrência das secas e estiagens severas que assolaram o sul do estado entre os anos 2011 a 2017. Com isso, a convivência com a seca tornou-se uma ação cotidiana da população. Nessa circunstância, o uso da água subterrânea captada por poços tubulares mostra-se como uma alternativa viável para suprir essas comunidades que sofrem com a falta de água (NEVES, 2017).

O Decreto municipal 301101/2017, referente a situação de emergência vivenciada por todo o município afetado pela seca, apresentou as dificuldades que a população enfrenta com a escassez de água, como dificuldade para consumo humano e animal, desde o ano de 2011 (AURORA, 2017). Diante disso, tem-se estudado a possibilidade do uso de água subterrânea no abastecimento público do município. Desta maneira, considerando a problemática apresentada em relação à importância da prospecção hidrogeológica como uma alternativa no combate à seca, este trabalho apresenta uma alternativa, o uso de água subterrânea, gerando um estudo que pode contribuir para avaliação do potencial hidrogeológico do município.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo avaliar o potencial hidrogeológico do município de Aurora-CE por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

2.2 Objetivos Específicos

Procura-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Mapear estruturas geológicas com uso do modelo digital de elevação.
- Delimitar a rede de drenagem e as principais bacias hidrográficas no município.
- Identificar zonas favoráveis à ocorrência de água subterrânea.

3 ÁREA DE ESTUDO: A REGIÃO DE AURORA-CE

3.1 Localização

Aurora é um município do estado do Ceará que possui uma extensão de 885,870 km² e, segundo dados do IBGE de 2010, uma população estimada de 24.566 habitantes. A sede municipal está localizada nas coordenadas geográficas: Latitude: 6° 56' 33" Sul, Longitude: 38° 58' 03" Oeste e altitude de 283 m. O município está inserido na mesorregião do sul cearense, microrregião de Barro e região político-administrativa do Cariri.

Aurora situa-se a 460,80 km da capital Fortaleza, com acesso por meio da BR-116 e das rodovias estaduais CE-153 e 288 (IBGE, 2020; IPECE, 2012). A área está limitada pelos municípios de Lavras da Mangabeira, Ipaumirim, Caririaguá, Missão Velha, Milagres, Barro e com o Estado da Paraíba, visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização do município de Aurora/CE



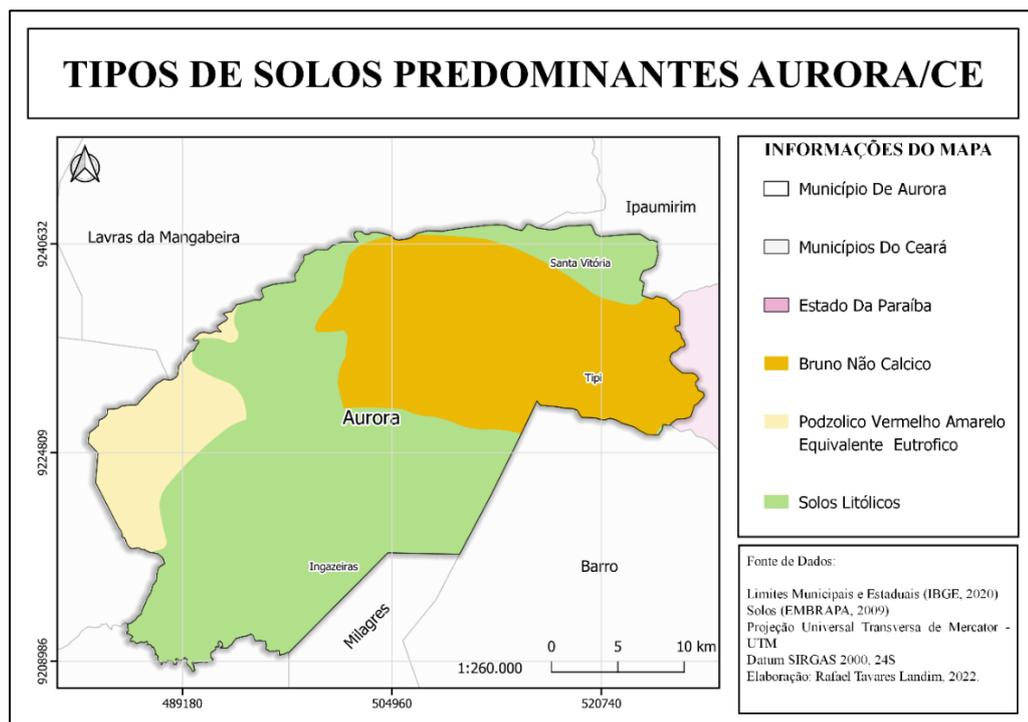
Fonte: Autor, 2022.

3.2 Aspectos Fisiográficos do Município

Em virtude da localização geográfica, o município de Aurora apresenta clima tropical quente semiárido, com pluviosidade média anual de 884,9 mm, com concentrações de chuvas geralmente, entre os meses de Fevereiro a Abril, e temperaturas médias variando entre 26°C a 28°C. O clima contribui para uma vegetação diversificada, apresentando domínios de caatinga arbustiva, típicas do sertão e porções de floresta caducifólia espinhosa (IPECE, 2012).

Os solos com mais destaques dividem-se em: bruno não cálcico, podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico e solos litólicos (Figura 2). Bruno não cálcico é uma classe de solos moderadamente profundo a rasos, e frequentemente, apresentam descontinuidade quanto à natureza do seu material originário, entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. Já a classe de podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico, possui em sua maioria perfis superiores a 150cm, com textura, normalmente, arenosa ou média, no horizonte A e argilosa ou média no B, frequentemente cascalhenta ou com cascalho. Por fim, a classe dos solos litólicos que são caracterizados por serem pouco desenvolvidos, rasos, possuindo apenas um horizonte A assente sobre a rocha (FUNCEME, 2014).

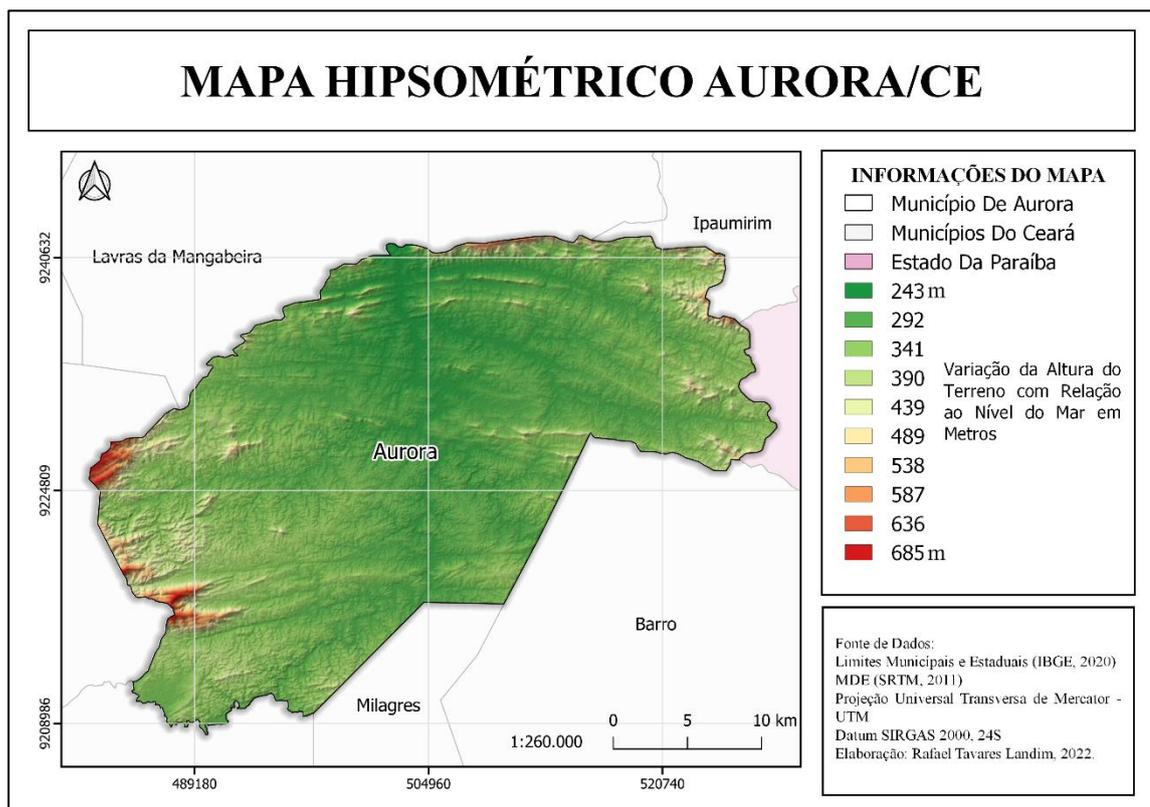
Figura 2 - Mapa dos solos predominantes do município de Aurora/CE



Fonte: Autor, 2022.

O relevo predominante na região é classificado como suave e pouco dissecado e faz parte da depressão sertaneja, situada a leste da chapada do Araripe. As principais elevações são serras como: Várzea Grande, Serrote, Tarrafa e Brandão. Possuem altitudes próximas de 300-400 metros em relação ao nível do mar. Por outro lado, no limite oeste do território (Figura 3), encontram-se maciços residuais com elevações acima dos 500 metros (CPRM, 1998).

Figura 3 - Mapa hipsométrico do município de Aurora/CE



Fonte: Autor, 2022.

3.3 Geologia

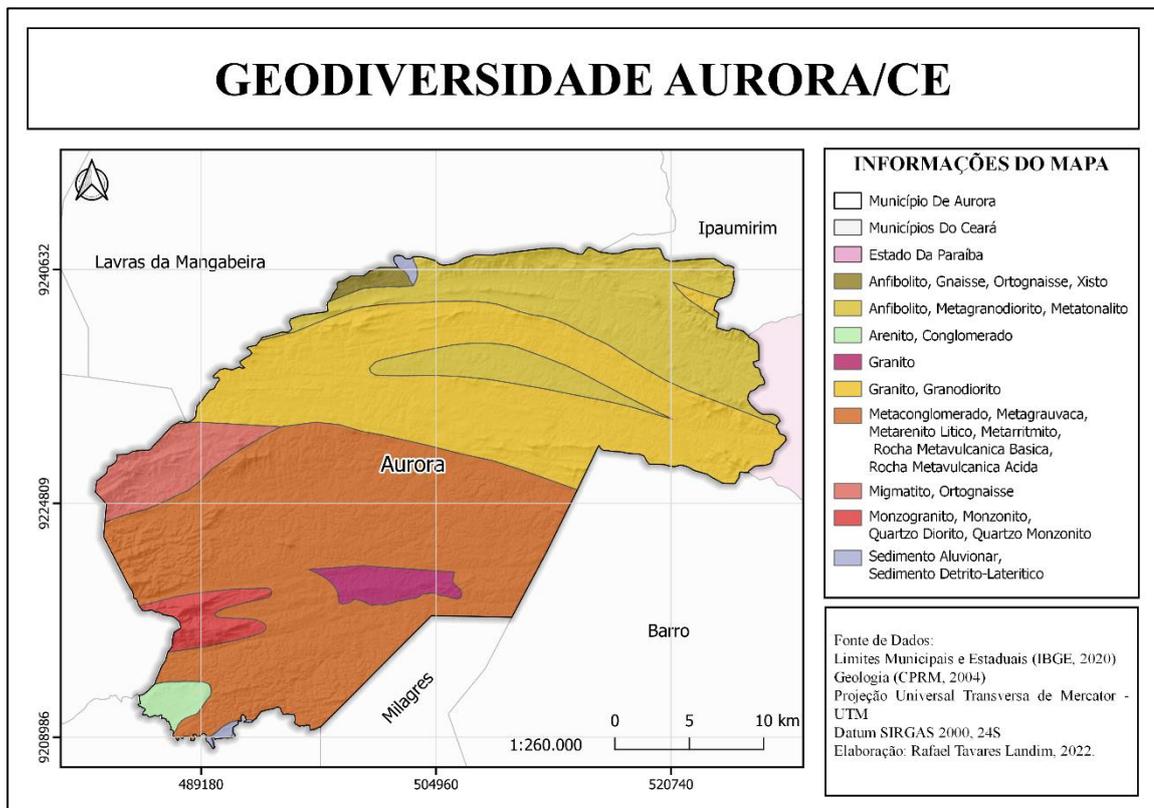
O município de Aurora apresenta aspectos geológico onde predominam rochas do embasamento cristalino pré-cambriano (Figura 4), representadas por gnaisses e migmatitos diversos, xistos, filitos, quartzitos e metacalcários, além de rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica. Ocorrem também coberturas aluvionares, de idade quaternária, formadas por areias, siltes, argilas e

cascalhos, que se distribuem ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município (CPRM, 1998).

Um estudo feito na sub-bacia hidrográfica do açude cachoeira, bacia que compõe grande parte do território municipal, relatou a presença de granitóides, granitos e granodioritos de granulação grossa e porfíricos, associados a dioritos e fases intermediárias de misturas com monzogranitos subordinados. A presença de ortognaisses tonalito-granodiorito no local também foi relatada, incluindo espessas lentes de rochas metaultramáficas, metabásicas, calcissilicáticas, e formações ferríferas, relacionadas ao complexo granjeiro (COGERH, 2011).

Na parte que constata-se as rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, repousam depósitos sedimentares que apresenta uma diversificação litológica caracterizada por sequências alternadas de arenitos, siltitos, calcários, argilitos e folhelhos, com coberturas de idade terciária, constituídas de areia, argilas e cascalhos. As quaternárias (aluviais) são formadas por areias, siltes, argilas e cascalhos que se distribuem ao longo dos principais cursos d'água que drenam a bacia (COGERH, 2011).

Figura 4 - Mapa da geodiversidade do município de Aurora/CE



Fonte: Autor, 2022.

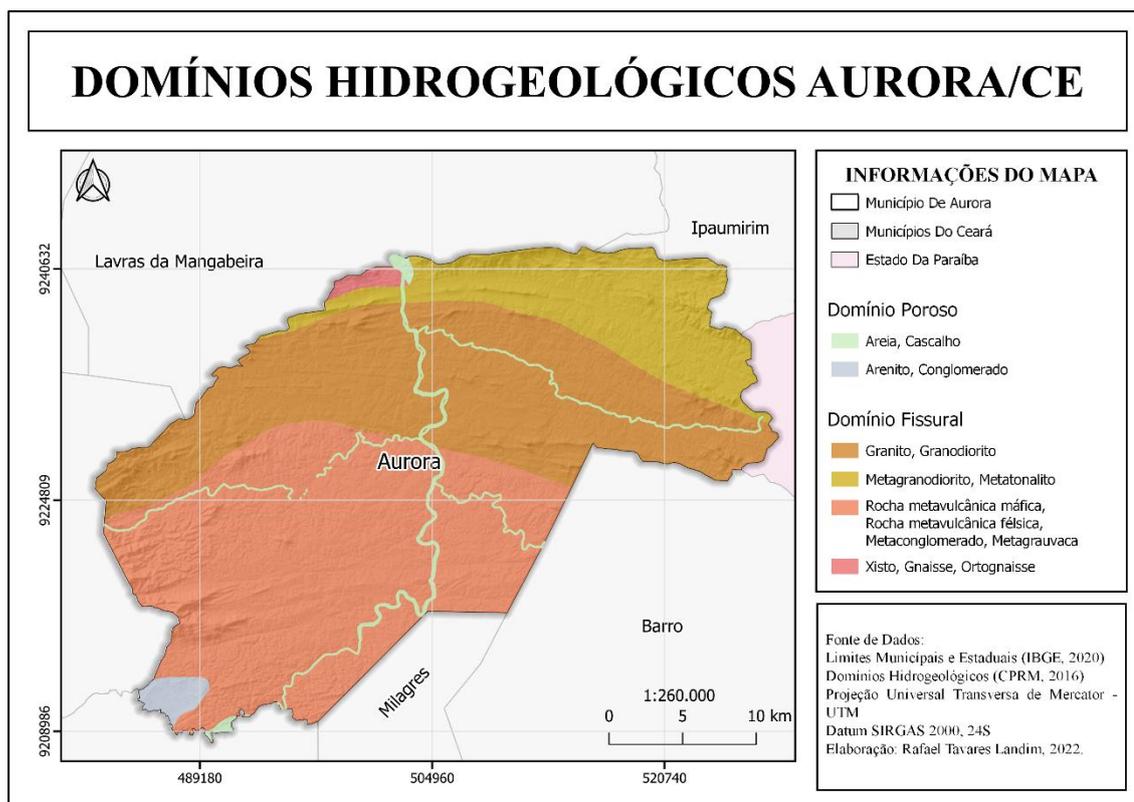
3.4 Domínios Hidrogeológicos do Município

No município de Aurora ocorrem dois domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas e depósitos aluvionares (Figura 5). As rochas cristalinas ocupam a maior parte do território do município e estão associadas à formação de aquíferos fissurais. A ausência de porosidade primária nestes tipos de rochas, condiciona a ocorrência de água subterrânea no interior das fraturas que são classificadas como porosidade secundária.

Neste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços tubulares são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido, é na maior parte das vezes, salinizada. Estas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (CPRM, 1998).

Já os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que encontram-se margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, possuindo uma relativa importância do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas (CPRM, 1998).

Figura 5 - Mapa dos domínios hidrogeológicos do município de Aurora/CE



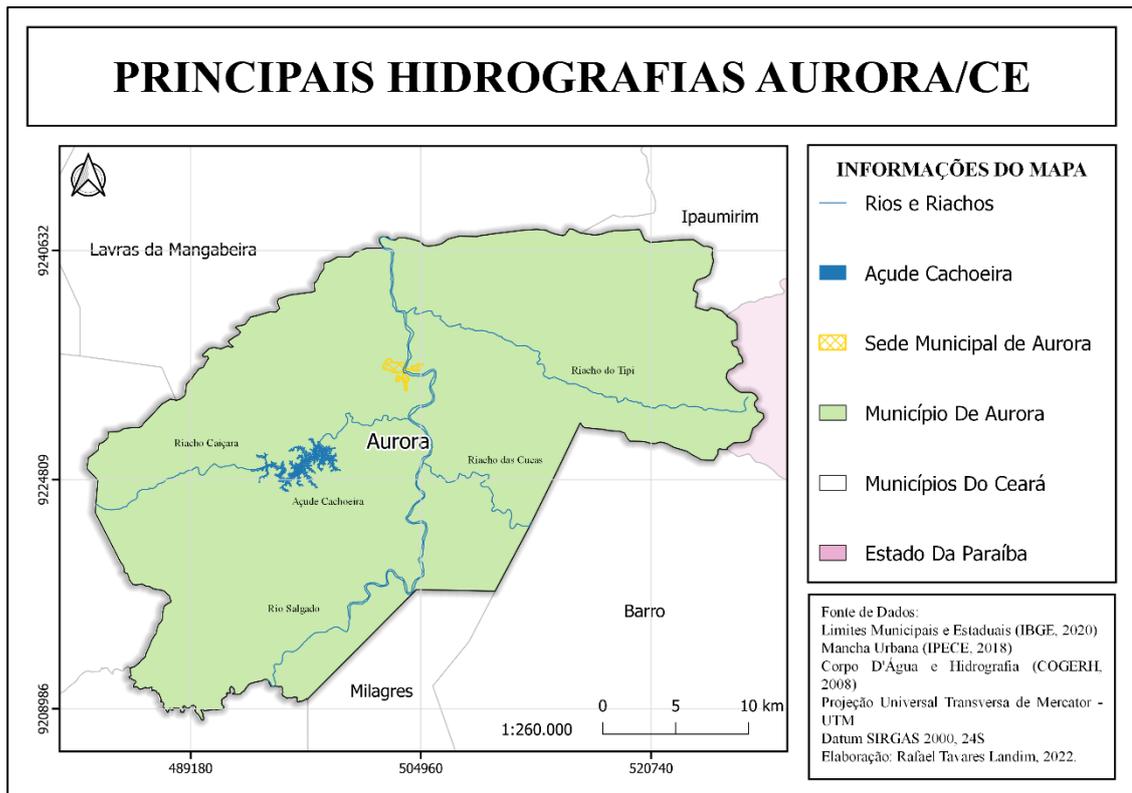
Fonte: Autor, 2022.

3.5 Águas Superficiais e Bacia Hidrográfica

O território do município está situado na bacia hidrográfica do rio Salgado, que drena uma área de 135,44 km². O rio Salgado nasce na região montanhosa da Serra do Araripe no município do Crato, no estado do Ceará, e segue no sentido sul-norte até encontrar o rio Jaguaribe, próximo à cidade de Icó.

O território municipal possui o Açude Cachoeira como principal reservatório que abastece a população aurorense, no qual represa o Riacho Caiçara e possui capacidade para armazenar 34.330.000 m³ de água (COGERH, 2011). As zonas de drenagens superficiais são formadas pelo rio Salgado e pelos riachos da Jitirana, do Pau Branco, do Tipi, dos Cuncas, do Caiçara, do Juiz, Olho d'Água, do Jenipapeiro e do Jenipapeiro de Cima, este último faz limite com o município de Missão Velha (CPRM, 1998).

Figura 6 - Mapa das principais hidrografias do município de Aurora/CE



Fonte: Autor, 2022.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Hidrogeologia

Segundo Filho (2008), o termo hidrogeologia foi criado pelo francês Jean-Baptiste de Lamarck em 1802, usado para descrever o papel da água na morfologia da superfície terrestre. Porém em 1877 o inglês Joseph Lucas introduziu o conceito de hidrogeologia como ramo da geologia que estuda a água subterrânea. Contudo, durante muito tempo permaneceu ignorado por muitos estudiosos da água subterrânea com formação em engenharia, que sempre preferiram tratá-lo como um ramo da hidrologia.

A hidrogeologia, nos últimos 150 anos, vem tendo crescente abrangência interdisciplinar e cada vez mais se consolida como uma ciência ambiental, assumindo, por isso, importância decisiva, principalmente porque trata-se de um bem vital para a humanidade, a água. (FEITOSA, 2008)

4.2 Ciclo Hidrológico

Conforme Karmann (2000), partindo de um volume total de água relativamente constante no Sistema Terra, torna-se possível acompanhar o ciclo hidrológico, iniciando com o fenômeno da precipitação meteórica, que representa a condensação de gotículas a partir do vapor de água presente na atmosfera, o que dá origem às chuvas. Assim, quando o vapor de água é transformado em cristais de gelo e, por aglutinação, se formam em tamanho e peso suficientes para gerar precipitação em forma de granizo ou neve, responsável pela geração e manutenção do importante reservatório representado pelas geleiras nas calotas polares e nos cumes de montanhas.

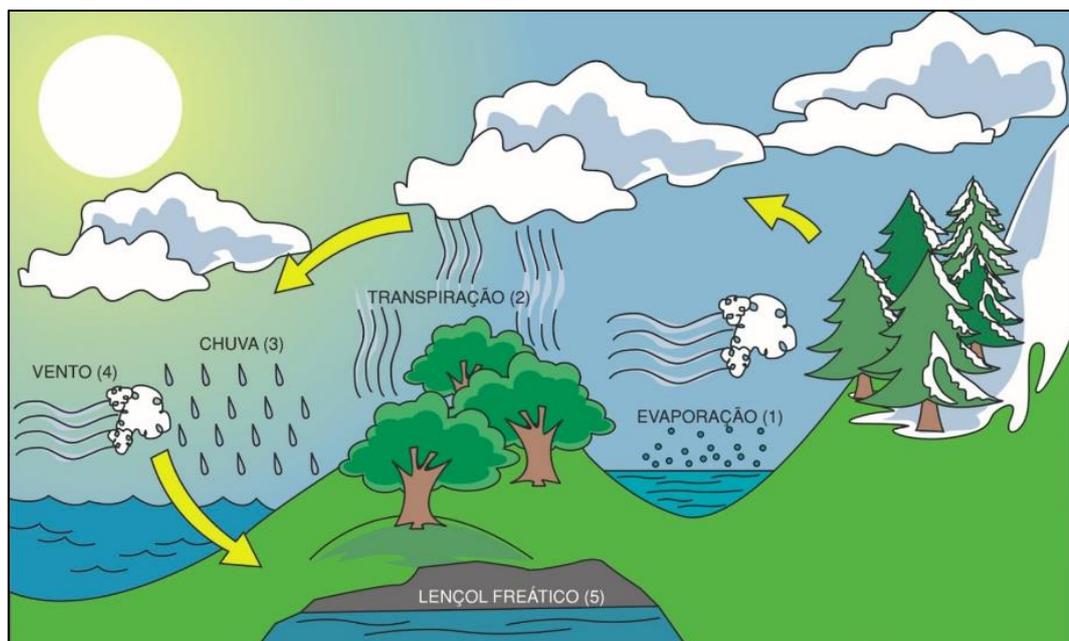
Parte da precipitação retorna para a atmosfera por evaporação direta durante seu percurso em direção a superfície terrestre. Esta fração evaporada na atmosfera soma-se ao vapor de água formado sobre o solo e aquele liberado pela atividade biológica de organismos, principalmente as plantas, através da respiração, esta soma de processos é

denominada evapotranspiração, na qual a evaporação direta é causada pela radiação solar e vento (KARMANN, 2000).

Assim, seguindo o princípio, uma vez que a água condensada atinge o solo, dois possíveis caminhos podem ser seguidos pela gotícula de água. O primeiro é a infiltração que depende principalmente das características do material de cobertura da superfície. A água de infiltração, guiada pela força gravitacional, tende a preencher os vazios no subsolo, seguindo em profundidade, onde abastece o corpo de água subterrânea. O segundo caminho ocorre quando a capacidade de absorção de água pela superfície é superada e o excesso de água inicia o escoamento superficial, impulsionado pela gravidade para zonas mais baixas. Este escoamento inicia-se por meio de pequenos filetes de água, efêmeros e disseminados pela superfície do solo, que convergem para os córregos e rios, constituindo a rede de drenagem. O escoamento superficial, com raras exceções, têm como destino final os oceanos (KARMANN, 2000).

Consoante a Karmann (2000), durante o trajeto geral do escoamento superficial nas áreas emersas, e principalmente na superfície dos oceanos, ocorre a evaporação, realimentando o vapor de água atmosférico, completando assim o ciclo hidrológico, como representado na Figura 7. Estima-se que os oceanos contribuem com 85% do total anual evaporado e os continentes com 15% por evapotranspiração.

Figura 7 - Ciclo hidrológico



Fonte: SAAE, 2015.

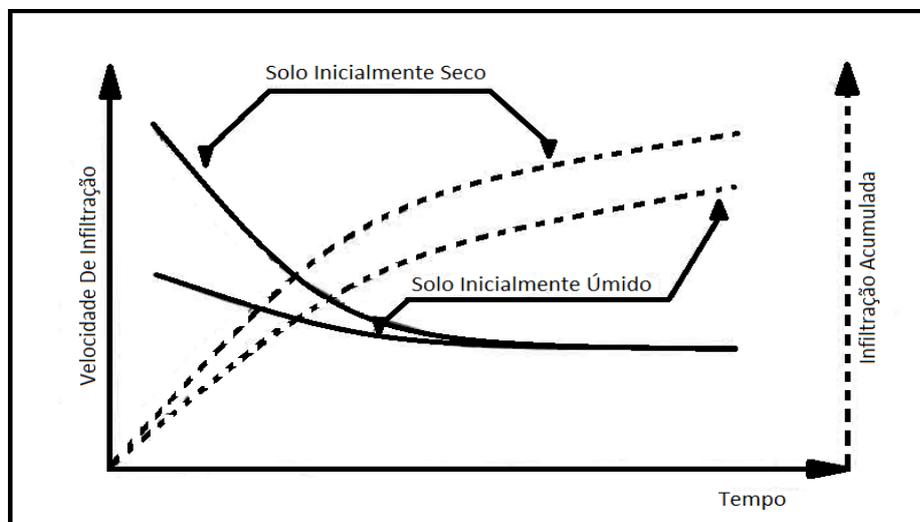
4.3 Infiltração

A infiltração é a designação dada ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. É um processo de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, que é o componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações. Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atinge um “alto” teor de umidade, enquanto que as camadas inferiores apresentam-se ainda com “baixos” teores de umidade. Há, então, uma tendência de um movimento descendente da água provocando sua passagem para as camadas inferiores, dando origem ao fenômeno que recebe o nome de redistribuição (CARVALHO & SILVA, 2006).

A taxa de infiltração da água no solo é alta no início do processo de infiltração, particularmente quando o solo está inicialmente muito seco, mas tende a decrescer com o tempo, aproximando-se assintoticamente de um valor constante, denominado a taxa de velocidade de infiltração básica (VIB) (CARVALHO & SILVA, 2006).

Um solo bastante úmido terá, inicialmente, uma menor taxa de infiltração devido a um menor gradiente hidráulico (menor diferença no potencial matricial da água no solo), e mais rapidamente a taxa de infiltração se tornará constante. A Figura 8, representa a variação da taxa de infiltração e da infiltração acumulada, para um mesmo solo sob duas condições iniciais de umidade, isto é, úmido e seco (CARVALHO & SILVA, 2006).

Figura 8 - Velocidade de infiltração e infiltração acumulada em função do tempo para solo inicialmente seco e úmido.



Fonte: Carvalho e Silva, 2006.

4.4 Bacia Hidrográfica

O conceito de Bacia Hidrográfica tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental. Na perspectiva de um estudo hidrológico, esse conceito envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes representando a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água, e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. Embora, tecnicamente, o conceito implícito no termo seja preciso, pode existir variações no foco principal, conforme a percepção dos técnicos que o utilizam em seus estudos (SCHIAVETTI & CAMARGO, 2002)

Assim, as definições propostas para bacia hidrográfica assemelham-se ao conceito dado por Barrella (2001), sendo definido como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios. Esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano (BARRELLA, 2001).

Lima e Zakia (2000) acrescentam ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica uma abordagem sistêmica. Para esses autores as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia por meio do deflúvio, que são descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico.

4.4.1 Sub-Bacia e microbacia

Sub-Bacias são áreas de drenagem dos afluentes do curso d'água principal. Para definir sua área, os autores utilizaram diferentes unidades de medida. Segundo Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km². Por outro lado, Santana (2003) descreveu que as bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos.

Dentro dessas subdivisões da bacia, aparece também na literatura o termo microbacia. Uma série de conceitos são aplicados na definição de microbacias, podendo ser adotados critérios como unidades de medida, hidrológicos e ecológicos. Para Santana (2003), o termo microbacia, embora difundido em nível nacional, constitui uma denominação empírica, sugerindo o autor a sua substituição por sub-bacia hidrográfica.

Já para Faustino (1996), a microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 km².

A subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias) permite a pontuação de problemas difusos, facilitando a identificação de focos de degradação de recursos naturais e a origem desses processos (FERNANDES & SILVA, 1994).

4.5 Água Subterrânea

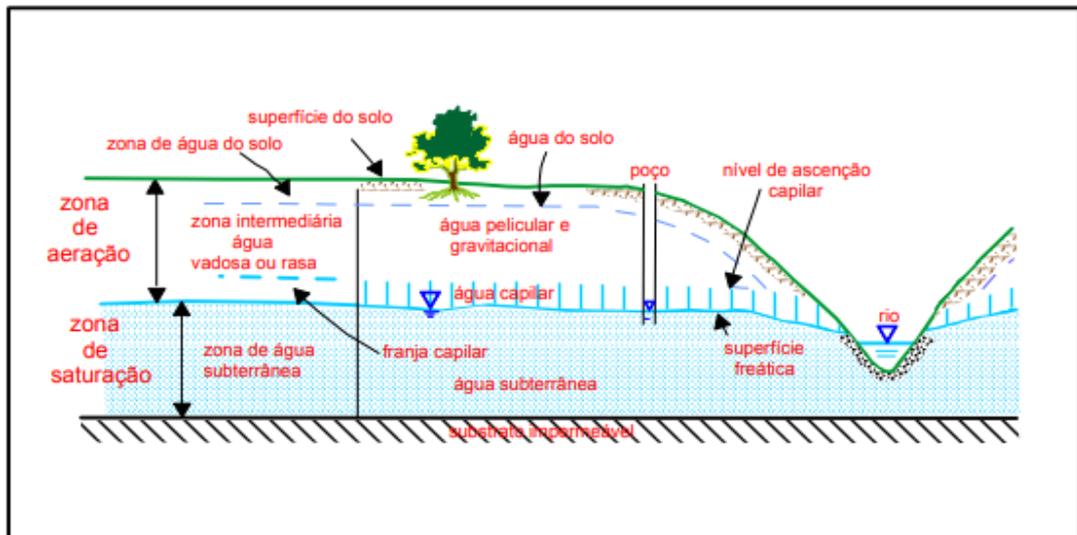
Conforme Todd (1980), a ocorrência da água no subsolo pode ser dividida em duas zonas bem marcadas: zona não saturada ou de aeração e zona de saturação, Figura 9.

- A zona de aeração é constituída por interstícios parcialmente ocupados por água e ar em que ocorre a chamada água vadosa ou suspensa, que em geral pode ser subdividida em zona de água do solo, zona intermediária e zona capilar. A zona

intermediária faz a conexão entre a superfície do solo e a zona próxima ao nível freático, em consequência disto, esta zona permeia a água em movimento vertical descendente. Assim, ocorre a extensão da zona capilar do nível da água no sentido ascendente até o limite da subida capilar, no qual, sua espessura também pode variar de acordo com a textura do solo (TODD, 1973).

- A zona de saturação ocorre quando todos os interstícios estão ocupados por água. Todd (1973), classificou esta zona em três categorias: água higroscópica, absorvida do ar sob a forma de películas na superfície das partículas do solo; água capilar, película contínua em volta das partículas do solo; e água gravitacional que corresponde à água do solo em excesso, drenada sob a influência da gravidade. A zona de saturação contém água subterrânea sob pressão maior que a atmosférica, preenchendo todos os interstícios das rochas. Desta maneira a porosidade na rocha pode representar uma medida direta da água contida por unidade de volume. No entanto, a água contida nesses poros não pode ser totalmente removida do subsolo por drenagem ou bombeamento, devido às forças de tensão molecular e superficial que retém uma determinada porção da água no local.

Figura 9 - Distribuição vertical da água no solo e subsolo, ilustrando as várias zonas de umidade.



Fonte: Feitosa, 1997.

4.6 Água Subterrânea em Terrenos Cristalinos e Sedimentares

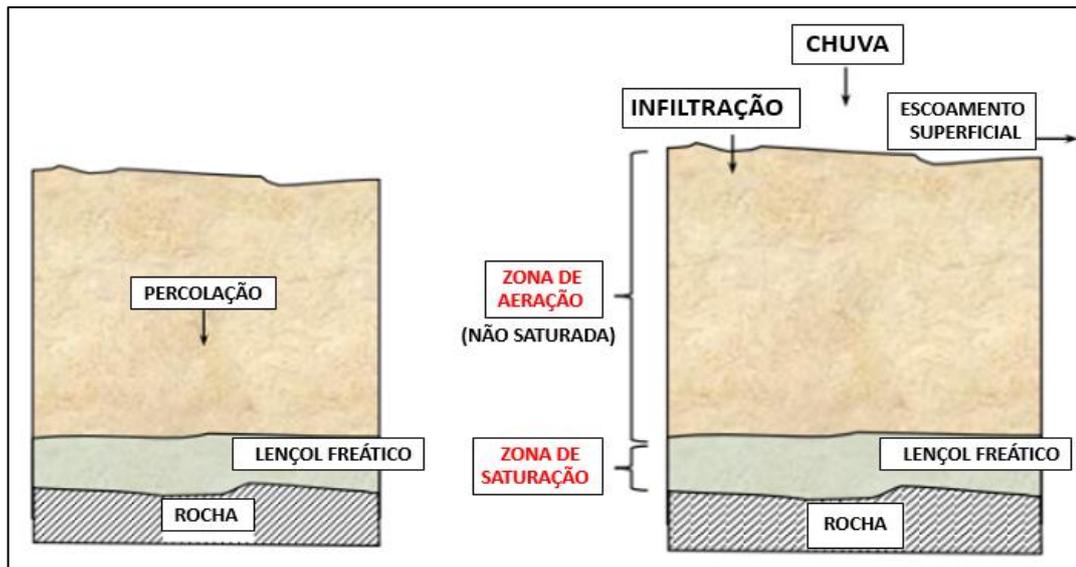
Segundo Feitosa (2018), o Nordeste brasileiro possui dois grandes domínios principais para ocorrência de águas subterrâneas: rochas cristalinas e rochas sedimentares intergranulares. Em rochas cristalinas, em que praticamente não existe porosidade primária, a água se acumula nos espaços vazios gerados por ações geológicas posteriores representadas por descontinuidades materializadas por falhas e juntas, formando reservatórios subterrâneos descontínuos e irregulares, que podem apresentar de baixo a alto potencial de ocorrência de água subterrânea, em função de suas dimensões e características. Neste domínio, a qualidade da água está intimamente associada ao clima, apresentando, em geral, condições de salinidade elevada nas regiões semiáridas.

Já os aquíferos porosos ocorrem nas chamadas rochas sedimentares e constituem os mais importantes aquíferos pelo grande volume de água que armazenam e por sua ocorrência em grandes áreas. As rochas sedimentares e os sedimentos não consolidados são constituídos de grãos minerais em que a água percola e permanece, temporariamente, armazenada nos vazios entre os grãos. A porosidade, neste caso, é do tipo granular e o aquífero é classificado como granular. Como a porosidade está intimamente ligada ao tipo de rocha, o aquífero é, muitas vezes, denominado de aquífero sedimentar (IRATINE, 2014).

4.7 Fatores que Intervém na Capacidade de Infiltração

A fração da água que sofre infiltração, acompanha seu caminho pelo subsolo onde a força gravitacional e as características do material presente irão controlar o armazenamento e o movimento das águas, Figura 10. Assim, alguns fatores podem interferir na interação da água com o solo e o subsolo (KARMANN, 2000).

Figura 10 - Representação da Infiltração.



Fonte: Borma e Renno, 2017.

- Influência da cobertura de sedimentos, solos e rochas na infiltração da água no subsolo: A infiltração é favorecida pela presença de materiais porosos e permeáveis, como solos e sedimentos arenosos. Rochas expostas, muito fraturadas ou porosas também permitem a infiltração de águas superficiais. Entretanto, materiais argilosos e rochas cristalinas pouco fraturadas, por exemplo corpos ígneos plutônicos e rochas metamórficas como granitos e gnaisses, dificultam as infiltrações da água no subsolo. Além disso, as coberturas de solo (material inconsolidado) exerce um importante papel no controle da infiltração, pois retém temporariamente parte da água de infiltração que posteriormente é liberada lentamente para a rocha subjacente. Assim, a quantidade de água transmitida pelo solo depende de uma característica importante, chamada de capacidade de campo, correspondente ao volume de água absorvido pelo solo, antes de atingir a saturação, e que não sofrerá movimento para níveis inferiores. Este parâmetro influencia diretamente a infiltração, pois representa um volume de água que participa do solo mas que não contribui com a recarga da água subterrânea, sendo aproveitada somente pela vegetação (KARMANN, 2000).
- Cobertura vegetal: Consoante a Karmann (2000), em áreas vegetadas a infiltração é favorecida pelas raízes que abrem caminho para que a água possa permear no solo. A cobertura florestal também é responsável por exercer importante função no retardamento de parte da água que atinge o solo, através

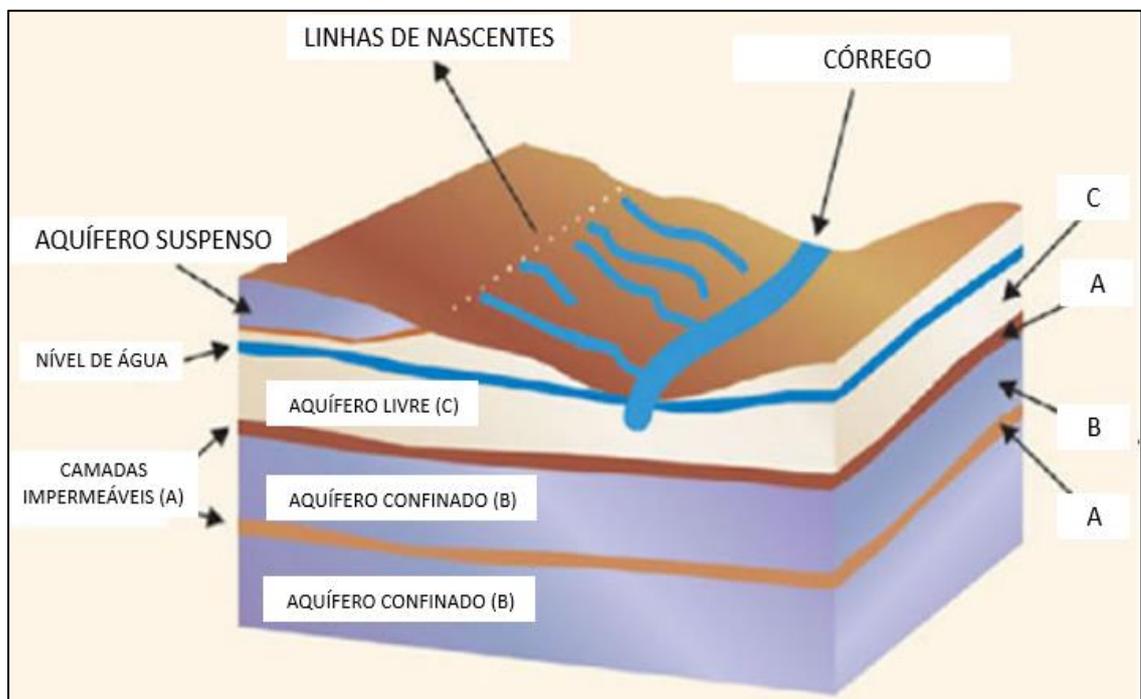
da interceptação, sendo o excesso lentamente liberado para a superfície do solo por gotejamento. Por outro lado, nos ambientes densamente florestados, cerca de 1/3 da precipitação interceptada sofre evaporação antes de atingir o solo, devido a vários obstáculos que a gotícula de água encontrará no caminho ao solo.

- Topografia: De modo geral, declives acentuados favorecem o escoamento superficial, diminuindo a infiltração da água no subsolo. Superfícies suavemente onduladas favorecem o escoamento superficial da água de forma lenta, aumentando a possibilidade de infiltração. Assim, em terrenos de topografia suave, o tempo de interação da água com o solo tende a aumentar, o que corrobora para uma maior infiltração (KARMANN, 2000).
- Precipitação: Seguindo o pensamento de Karmann (2000), o modo como o total da precipitação é distribuído ao longo do ano é um fator decisivo no volume de recarga da água subterrânea, válido para qualquer tipo de terreno. Chuvas regularmente distribuídas ao longo do tempo promoverão uma infiltração maior pois, desta maneira, a velocidade de infiltração acompanha o volume de precipitação. Entretanto, chuvas torrenciais favorecem o escoamento superficial direto, pois a taxa de infiltração é inferior ao grande volume de água precipitada em curto intervalo de tempo.
- Ocupação do solo: O avanço da urbanização e a devastação da vegetação influenciam significativamente na quantidade de água infiltrada em adensamentos populacionais e zonas de intenso uso agropecuário. Em áreas urbanas, as construções e a pavimentação impedem a infiltração, obstruindo o contato da água com o solo, e conseqüentemente causando efeitos catastróficos devido ao aumento do escoamento superficial e redução na recarga da água subterrânea. Nas áreas rurais, a infiltração sofre redução pelo desmatamento, em geral, pela exposição de vertentes por meio de plantações sem terraceamento e pela compactação dos solos, no qual diminui os espaços entre os grãos, causado pelo pisoteamento de animais, como em extensivas áreas de criação de gado (KARMANN, 2000).

4.8 Aquíferos e Aquicludes

Aquíferos são unidades rochosas ou de sedimentos, porosas e permeáveis, que armazenam e transmitem volumes significativos de água subterrânea passível de ser explorada pela sociedade, Figura 11. O estudo dos aquíferos visando a exploração e proteção da água subterrânea constitui um dos objetivos mais importantes da hidrogeologia (FEITOSA, 1997; KARMANN, 2000).

Figura 11 - Tipologia de aquíferos.



Fonte: Adaptado de Júnior e Caetano, 2010.

Em oposição ao termo aquífero, utiliza-se o termo aquíclude para definir unidades geológicas que, apesar de saturadas e com grandes quantidades de água absorvida lentamente, são incapazes de transmitir um volume significativo de água com velocidade suficiente para abastecer poços ou nascentes, por serem rochas relativamente impermeáveis (KARMANN, 2000).

Os termos aquífero e aquítarde são usados para exprimir comparativamente a capacidade de produção de água por unidades rochosas, onde a unidade com produção de água corresponde ao aquífero e a menos produtiva ao aquítarde. Por exemplo, na sequência de estratos intercalados de arenitos e siltitos, os siltitos, menos permeáveis que os arenitos, correspondem ao aquítarde. Em uma outra sequência, formada de siltitos e

argilitos, a unidade siltosa pode representar o aquífero, portanto, o aquitarde corresponde à camada ou unidade geológica relativamente menos permeável numa determinada sequência estratigráfica (KARMANN, 2000).

Bons aquíferos são os materiais com média a alta condutividade hidráulica, como sedimentos inconsolidados (por exemplo, cascalhos e areias), rochas sedimentares (por exemplo, arenitos, conglomerados e alguns calcários), além de rochas vulcânicas, plutônicas e metamórficas com alto grau de faturamento (KARMANN, 2000).

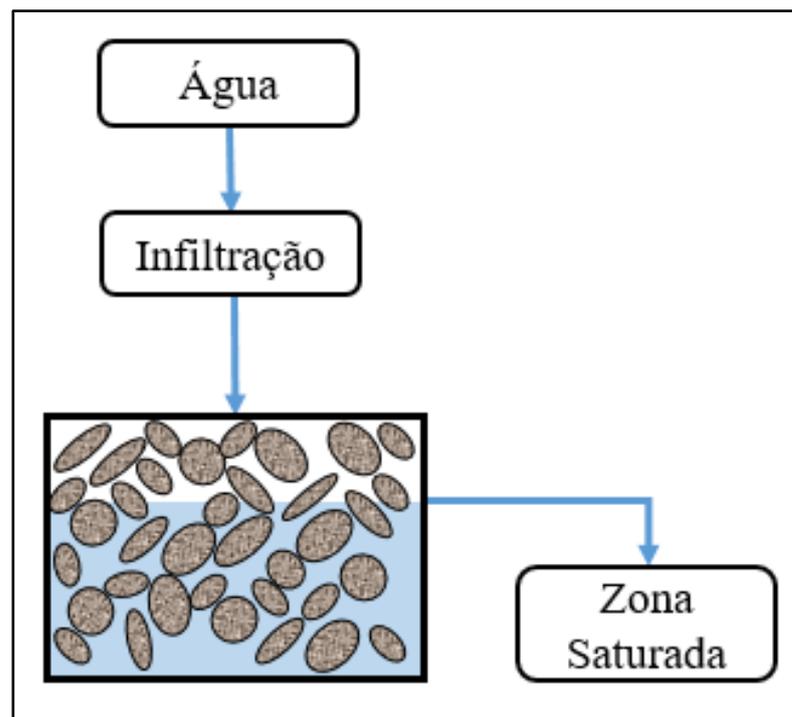
- **Aquíferos Livres:** Conhecido também como freático ou não confinado, é aquele cujo limite superior é uma superfície freática, onde os poros se encontram apenas sob pressão atmosférica conforme observado na Figura 6. Os aquíferos livres podem atuar como área de recarga em aquíferos confinados, pois a infiltração da água da chuva promove a saturação nas zonas permeáveis, o que favorece a percolação em zonas menos permeáveis. Assim como os aquíferos confinados, os aquíferos livres também podem ser classificados como drenantes, quando possuem base semipermeável, ou não drenantes, quando possuem base impermeável (FEITOSA, 2008).
- **Aquíferos Suspensos:** É um caso especial de aquífero livre que se forma sobre uma camada impermeável ou semipermeável que possui extensão limitada e situa-se entre uma zona freática regional e o nível do terreno. Dessa forma, estes aquíferos podem existir em caráter temporário, à medida que a água dos poros é drenada para um lençol freático adjacente (FEITOSA, 2008).
- **Aquíferos Confinados:** A Figura 11 mostra a representação de aquíferos confinados, ou sob pressão, no qual a pressão da água no topo é maior que a pressão atmosférica. Subdivide-se em dois tipos: aquífero confinado não drenante e confinado drenante. Aquífero confinado não drenante ocorre em camadas limítrofes e impermeáveis, sendo uma superior e outra inferior. Nestes casos, o nível da água subterrânea fica acima da base da camada confinante superior, sendo que esta superfície pode estar abaixo ou acima do nível do solo. Caso a superfície esteja acima do solo, o poço tubular perfurado recebe o nome de jorrante ou surgente. Um aquífero confinado drenante é aquele no qual uma das camadas limítrofes é semipermeável, o que permite a entrada ou a saída de fluxos pelo topo ou pela base a partir de drenagens ascendentes ou descendentes (FEITOSA, 2008).

4.9 Recarga de Aquíferos

Estudos envolvendo a recarga de aquíferos mostram-se fundamentais à hidrogeologia e permitem realizar estimativas do volume dos recursos hídricos subterrâneos e calcular sua disponibilidade para usos, em especial em zonas de conflitos de interesse. Significa também, implicações no balanço hídrico geral dos sistemas aquíferos, especialmente nos aquíferos freáticos pouco profundos (PARALTA *et al.*, 2003).

A definição do termo recarga de águas subterrâneas pode apresentar certa semelhança com a definição de infiltração. Porém, conforme apresentado na seção 4.3, a infiltração ocorre quando a água percola da superfície para a zona não saturada e a recarga corresponde a uma parcela desta infiltração que realmente atinge o nível da água, ou seja, é a quantidade de água que entra na zona saturada (CARIA, 2012).

Figura 12 – Representação da infiltração para recarga



Fonte: Adaptado Caria, 2012.

Segundo Paralta *et al.* (2003), a recarga pode ser estimada por meio de métodos diretos e indiretos. Os diretos são efetuados a partir dos métodos do balanço hídrico (formulação empírica), modelos físicos, como o balanço entre águas superficiais e subterrâneas (descarga e recarga), modelos de circulação da zona vadosa (modelos determinísticos), e por meio de traçadores químicos, bacteriológicos, orgânicos ou isotópicos.

Já os métodos indiretos, por sua vez, compreendem o estudo da oscilação piezométrica, em que variações positivas correspondem à recarga, e a aplicação da Lei de Darcy (Estima o fluxo a partir de gradientes da carga e da condutividade hidráulica. A recarga é estimada quando a condutividade hidráulica de duas seções do aquífero são conhecidas, bem como sua área e cargas hidráulicas.), porém, requerem o conhecimento de parâmetros hidrogeológicos básicos como, o coeficiente de armazenamento, o coeficiente de recessão e a condutividade hidráulica.

4.10 Estruturas de Fluxo e Acumulação de Água Subterrânea

De acordo com Silva (2004), na literatura, são propostos alguns modelos de estruturas de fluxo e armazenamento de água subterrânea em terrenos cristalinos no nordeste brasileiro, nomeados em modelo riacho-fenda, calha elúvio-aluvionar e bolsões ou câmaras de intemperismo (Figura 13). Esses modelos são extremamente importante para estudos hidrogeológicos.

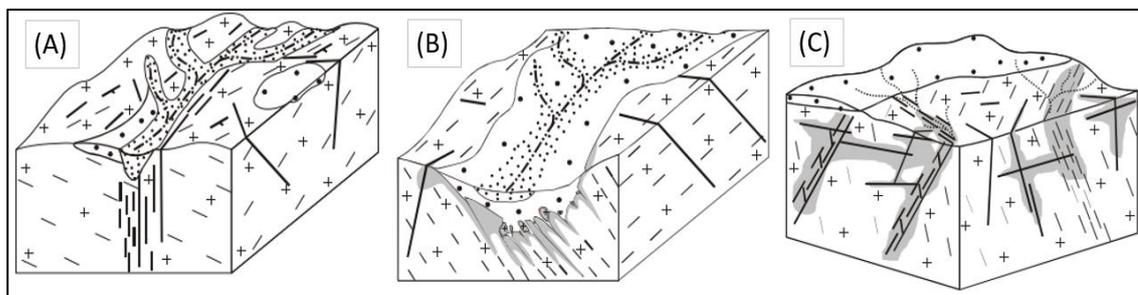
O modelo Riacho-Fenda caracteriza-se por trechos retilíneos de riachos que coincidem com zonas fortemente fraturadas, permitindo que as fraturas sejam periodicamente recarregadas pela drenagem. “Cotovelos” e trechos retilíneos de riachos constituem aspectos favoráveis, sendo diagnósticos do modelo quando subsidiados por intenso fraturamento nos afloramentos, compatível com a orientação da drenagem. Neste modelo, são enfatizados os locais mais densamente fraturados para locações de poços, particularmente os pontos de interseção de drenagens (SIQUEIRA, 1967).

Para o modelo Calha Elúvio-Aluvionar, a drenagem não evidencia controle por fraturas aflorantes. A drenagem flui sobre uma calha de aluviões antigos, utilizando-os para recarregar as discontinuidades no substrato capeado. Deste modo, os aspectos característicos desse do modelo são: seção espessa de aluviões e regolito ao longo de drenagens retilíneas ou curvilíneas, a ausência de relação direta com zonas fraturadas, e sua ocorrência em zonas topograficamente rebaixadas (SILVA, 2004)

Já o modelo Bolsões ou Câmaras de Intemperismo está baseado em processos de intemperismo diferencial acentuado, controlados por fraturas, litologias e tensões neotectônicas. O modelo se caracteriza pelo aumento da permo-porosidade das rochas na zona intemperizada, que pode se conectar a outras através de fraturas ou outros tipos de

descontinuidades. Este modelo, provavelmente é o de maior potencial para obter locações aptas a abastecer comunidades e vilas de maior porte (SILVA, 2004).

Figura 13 - Ilustrações do modelos de estruturas de fluxo e acumulação de água subterrânea: riacho-fenda (A), calha elúvio-aluvionar (B) e bolsões ou câmaras de intemperismo (C).



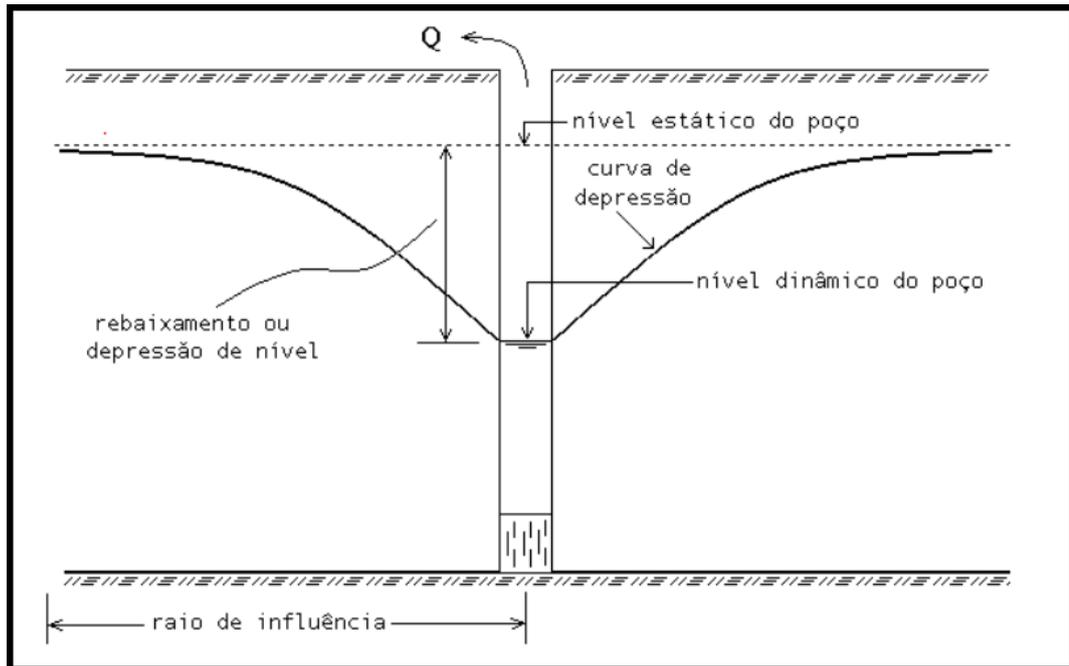
Fonte: Silva, 2004.

4.11 Captação de Águas Subterrâneas

De acordo com Junior (2007), a captação feita por meio de poços pode ser realizada com o aproveitamento do aquífero freático, que representa a primeira unidade litológica ou de sedimentos que armazena água e ao ser perfurada mantém o nível freático sujeito à pressão atmosférica, ou com o aproveitamento do aquífero artesiano, onde a pressão da água é superior à atmosférica por se encontrar confinada entre camadas impermeáveis. De acordo com o aquífero que se utiliza como fonte de suprimento, o poço é então denominado freático ou artesiano.

Por meio da Figura 14, Junior (2007), apresentou um poço submetido a ação de um bombeamento com uma vazão constante. É possível notar que na vizinhança do poço, o nível d'água do lençol freático apresenta-se rebaixado. A primeira quantidade de água retirada por meio do bombeamento é proveniente do armazenamento existente no aquífero em volta do poço. À medida que o bombeamento prossegue, uma quantidade maior de água deriva de regiões cada vez mais afastadas, formando depressões no nível d'água do aquífero que constituem o cone de depressão. Assim, a profundidade de um poço de captação varia de acordo com a situação do aquífero em relação à superfície do solo.

Figura 14 - Ilustração do perfil de um poço sofrendo bombeamento.

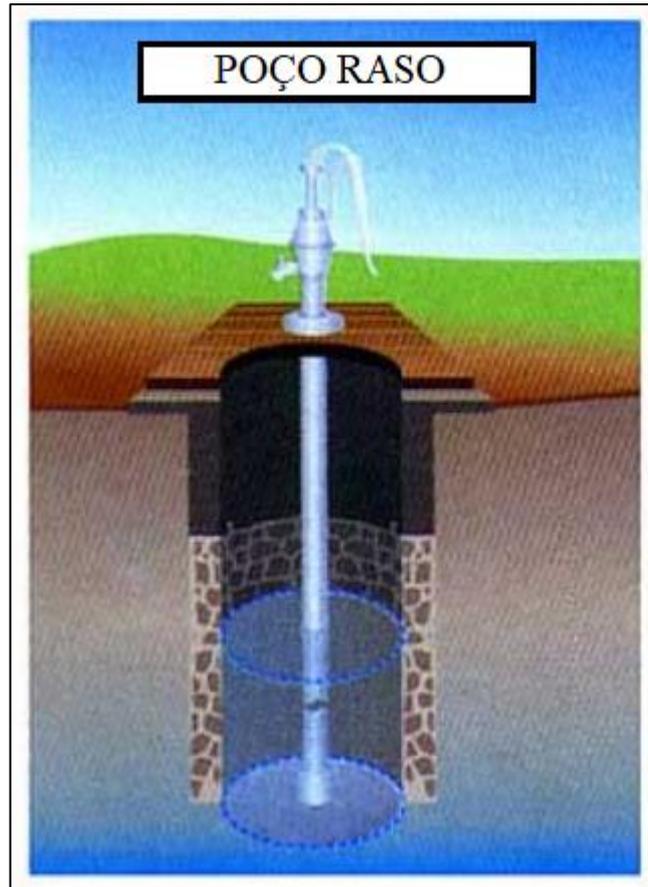


Fonte: Junior, 2007.

4.11.1 Poço cacimba

São classificados como poços de grandes diâmetros (1 metro ou mais), escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto, Figura 15. Atravessam o lençol freático e possuem geralmente profundidades na ordem de até 20 metros (CARDOSO, 2016).

Figura 15 - Estrutura geral de um poço raso comum.



Fonte: Costa, 2018.

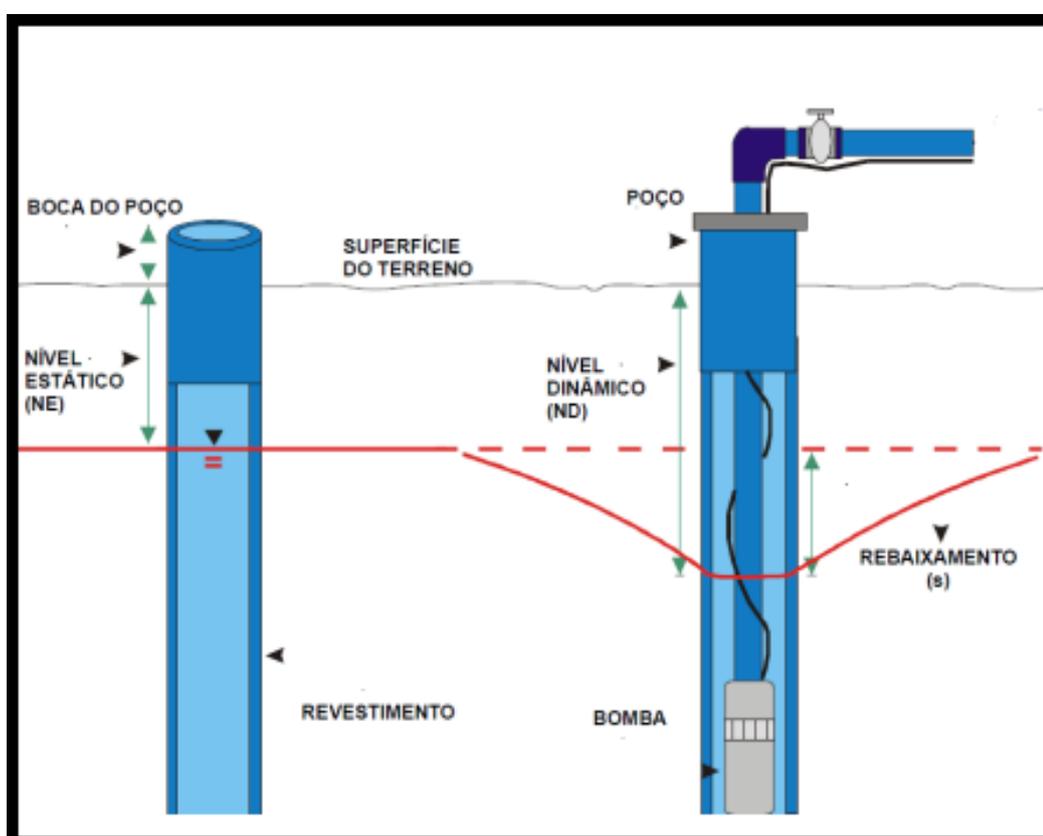
4.11.2 Poço artesiano e semi-artesiano

De acordo com Karmann (2000), em determinadas situações geológicas, aquíferos confinados originam o fenômeno do artesianismo, responsável por poços jorrantes, chamados de artesianos. Neste caso, a água penetra no aquífero confinado em direção a profundidades crescentes, onde sofre a pressão hidrostática crescente da coluna de água entre a zona de recarga e um ponto em profundidade. Quando um poço perfura esse aquífero, a água sobe, pressionada por esta pressão hidrostática, jorrando naturalmente.

A formação deste tipo de aquífero requer as seguintes condições: uma sequência de estratos inclinados, onde pelo menos um estrato permeável encontre-se entre estratos impermeáveis, e uma situação geométrica em que o estrato permeável intercepte a superfície, permitindo a recarga de água nesta camada (KARMANN, 2000).

Ao ser perfurado, o aquífero permite a ascensão da água pelo princípio dos vasos comunicantes, e a água jorra na tentativa de atingir a altura da zona de recarga. A altura do nível da água no poço corresponde ao nível potenciométrico da zona freática; em três dimensões, o conjunto de vários e níveis potenciométricos definem a superfície potenciométrica da água. Devido à perda de carga hidráulica ao longo do fluxo há um rebaixamento no nível d'água no poço em relação ao nível d'água da zona de recarga (Figura 16). Este desnível cresce conforme aumenta a distância da área de recarga (KARMANN, 2000).

Figura 16 - Estrutura geral de um poço tubular.



Fonte: Cardoso, 2016.

4.12 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto pode ser definido como a técnica de aquisição de informações sobre objetos, também denominados de alvos, sem que haja contato físico com os mesmos. Em geral, são sensores embarcados em VANTs (Veículos aéreos não tripulados), aeronaves e satélites. A aquisição de informações é possível devido às

interações entre a energia eletromagnética e os objetos (EMBRAPA, 2018). Uma definição mais elaborada e com mais rigor de sensoriamento remoto é dada por Menezes e Júnior (1995) como uma medida de troca energética resultante da interação da radiação eletromagnética de um determinado comprimento de onda com os objetos da superfície terrestre.

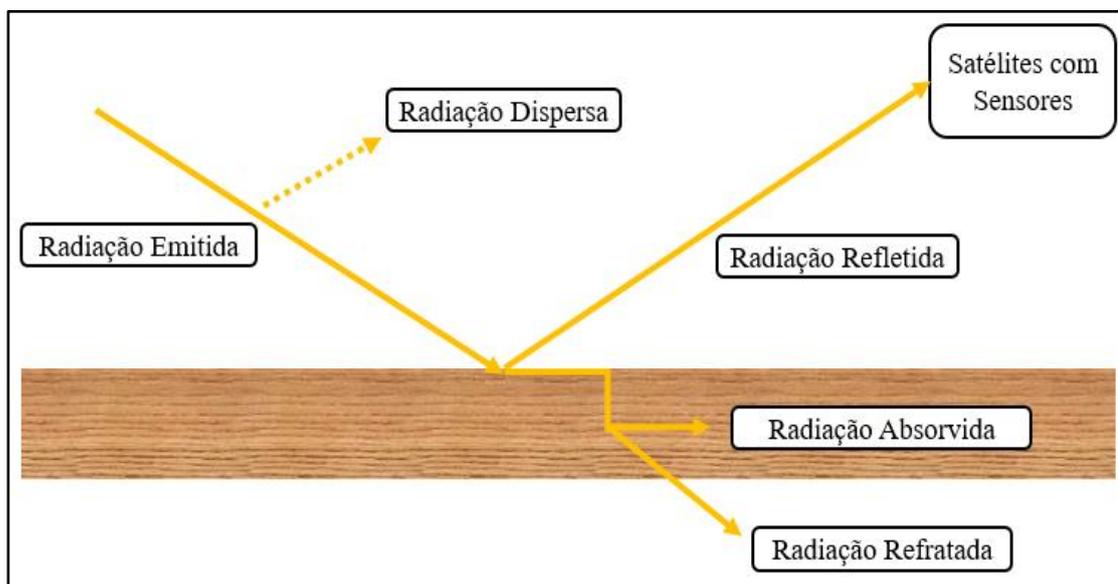
O conceito básico envolvido nesta definição, é que a radiação eletromagnética proveniente de um alvo vai conter informações sobre o mesmo, relativas às suas propriedades espaciais (tamanho, forma, estrutura e textura) e suas propriedades espectrais (reflectância, absortância, transmitância e emitância) (FREITAS, 1998).

A energia eletromagnética proveniente do sol ao atingir a superfície de um alvo interage com a mesma por meios de troca de energia, que resultará em uma absorção, reflectância e/ou transmitância de parte desta energia incidente. O sensor como não está em contato físico direto com o alvo, poderá registrar apenas a componente da radiação eletromagnética refletida (FREITAS, 1998).

As interações entre a energia e a matéria (alvo) podem ocorrer das seguintes maneiras (Figura 17) (FREITAS, 1998):

- A radiação é transmitida (refratada)
- A radiação é absorvida (transformação em calor)
- A radiação é dispersa (espalhamento atmosférico)
- A radiação é refletida
- A radiação é emitida

Figura 17 - Interação entre a energia e a matéria.



Fonte: Adaptado de Freitas, 1998.

A radiação refletida é, geralmente, a mais utilizada dentro do estudo de sensoriamento remoto. Dentro do espectro eletromagnético, o espectro óptico da energia solar refletida pelos objetos da superfície terrestre varia em função do comprimento de onda em (FREITAS, 1998):

- Visível (0,38 a 0,72 μm)
- Infravermelho próximo (0,72 a 1,3 μm)
- Infravermelho médio (1,3 a 3,0 μm)
- Termal (7,0 e 15,0 μm)

Assim, quando a radiação interage com um objeto pode ser refletida, absorvida ou mesmo transmitida. Em geral, a parte absorvida é transformada em calor ou em algum outro tipo de energia, e a parte refletida se espalha pelo espaço. O fator que mede a capacidade de um objeto de refletir a energia radiante indica a sua reflectância, enquanto que a capacidade de absorver energia radiante é indicada pela sua absorptância. Da mesma forma, a capacidade de transmitir energia radiante é indicada pela sua transmitância (CARVALHO & ARAÚJO, 2009).

A reflectância de um objeto para cada tipo de radiação que compõe o espectro eletromagnético pode ser medida, e através dessa medição pode-se observar que um mesmo objeto apresenta comportamento diferente para cada comprimento de onda. A intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética nos diversos comprimentos de onda é denominado assinatura espectral, e depende das propriedades do objeto (CARVALHO & ARAÚJO, 2009).

4.12.1 Sensores remotos utilizados para gerar as imagens de satélite

Os sensores remotos são equipamentos que captam e registram a energia refletida ou emitida pelos alvos na superfície da Terra. Um exemplo típico de sensor remoto são os nossos olhos, pois através da propagação das ondas eletromagnéticas que incidem sobre eles, recebemos informações sobre objetos à distância. Os primeiros sensores remotos a serem construídos tomaram como base o mecanismo da visão humana. Um outro exemplo de sensor remoto são as câmaras fotográficas, as câmaras de vídeo e os sistemas imageadores a bordo de satélites (CARVALHO & ARAÚJO, 2009; PAMBOUKIAN, 2016).

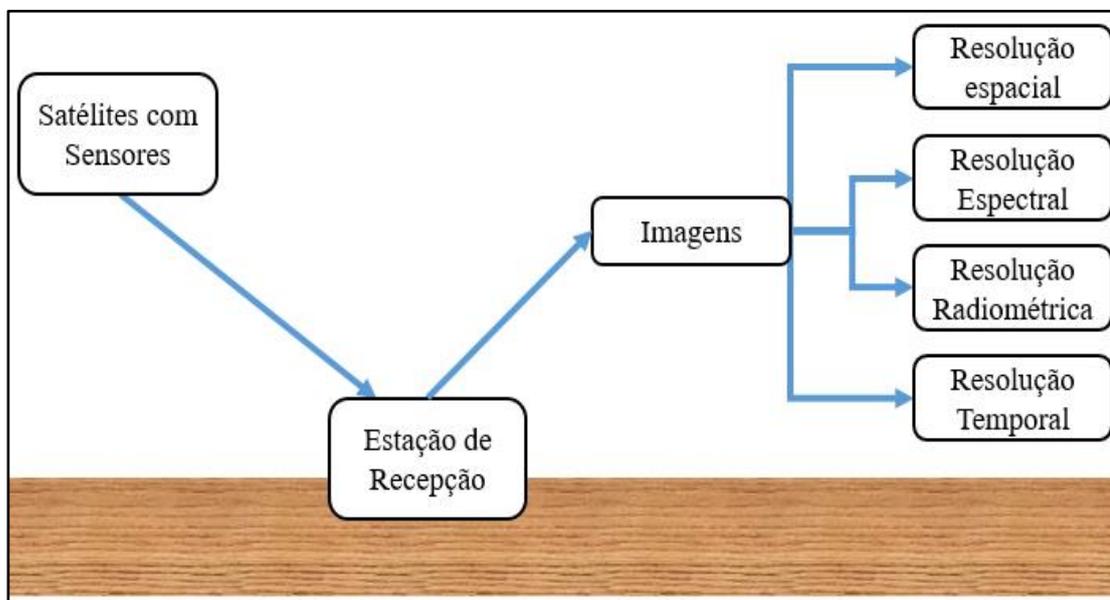
Assim, esses eletrônicos equipados em satélites são equipamentos que coletam a energia proveniente dos objetos na superfície da Terra e convertem a energia em um sinal elétrico passível de ser registrado e transmitido para estações de recepção (Figura 18). Esse sinal, por sua vez, é processado para gerar produtos digitais utilizados na análise de computadores ou produtos fotográficos (em papel) para análise visual (CARVALHO & ARAÚJO, 2009).

As imagens obtidas possuem características muito importantes, que indicam a qualidade das informações disponíveis. Essas características são conhecidas como resolução dos sensores e podem ser classificadas em espacial, espectral, radiométrica e temporal (CARVALHO & ARAÚJO, 2009; PAMBOUKIAN, 2016).

- Resolução espacial: indica a capacidade que o sensor possui para registrar os detalhes do terreno na imagem. Essa resolução é expressa pelo elemento celular que compõe uma imagem de satélite, denominado pixel, que estabelece a unidade mínima de informação que estará representada em uma imagem e corresponde à área da superfície à qual se refere. Assim, através da resolução espacial é possível determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem. (CARVALHO & ARAÚJO, 2009; AEB, 2020).
- Resolução espectral: indica a qual faixa do espectro corresponde às medições efetuadas, assim como o número de medidas registradas referentes àquela área e àquele pixel. Essa resolução garante que as imagens de satélite possuam uma característica especial, ou seja, são multiespectrais, o que significa que registram a mesma cena em vários intervalos de comprimentos de onda chamados bandas espectrais. Quanto menor o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior a discriminação do alvo na cena e melhor a resolução espectral. (CARVALHO & ARAÚJO, 2009; AEB, 2020).
- Resolução radiométrica: indica à faixa de valores numéricos associados aos pixels, que representam a intensidade da radiância proveniente da área do terreno coberta pelo pixel (nível de cinza). Quanto maior for a capacidade do sensor para medir as diferenças de intensidade dos níveis de radiância, maior será a resolução radiométrica da imagem (AEB, 2020).
- Resolução temporal: indica a frequência temporal com a qual uma determinada porção da superfície da Terra/cena/alvo será amostrada por um

determinado sensor, ou seja, quantos dias o sensor levará para obter uma nova imagem da mesma área (CARVALHO & ARAÚJO, 2009).

Figura 18 - Resoluções dos sensores.



Fonte: Adaptado de Carvalho & Araújo, 2009.

4.12.2 As imagens de satélite e suas aplicações ambientais

As imagens de satélite podem ser utilizadas para a geração de mapas de diversos temas, estabelecendo uma relação importante entre o uso de sensoriamento remoto e o processo de representação gráfica. Estas imagens são importantes fontes de dados da superfície terrestre e, como tal, podem ser aproveitadas para a elaboração de diferentes tipos de mapas. Enquanto os mapas possuem informações temáticas, as imagens de satélite contêm dados brutos sobre a reflectância dos alvos ou objetos que estão sobre a superfície. Somente depois da interpretação ou classificação podem transformar-se em informações temáticas (MACÊDO, 2017; CARVALHO & ARAÚJO, 2009).

Os mapas podem ser obtidos automaticamente através da utilização de programas dedicados unicamente para tratamento de imagens, permitindo a construção de imagens com diferentes composições de paleta de cores, ampliações de imagens e classificações temáticas dos objetos nelas identificados (CARVALHO & ARAÚJO, 2009).

As imagens de sensoriamento remoto são ferramentas importantes para o estudo dos recursos naturais. Especialmente pela facilidade de obtenção de produtos de épocas

diferentes, o que facilita o monitoramento das constantes mudanças ambientais que ocorrem naturalmente ou por intervenções antrópicas (CARVALHO & ARAÚJO, 2009). Assim, para compreender o complexo de relação dos fenômenos que causam essas mudanças, é necessário fazer observações com uma grande gama de escalas temporais e espaciais. Nesse sentido, a observação da terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar os fenômenos terrestres em grandes extensões territoriais (SAUSEN, 2010).

Esses produtos, apresentados sobre áreas específicas ou sobre um contexto mais regional, permitem diagnósticos eficientes, propõem soluções de baixo custo e criam alternativas inteligentes para os desafios enfrentados nas mudanças aceleradas que observamos em nosso território (CARVALHO & ARAÚJO, 2009). Sausen (2010) destaca os seguintes usos ambientais das imagens de sensoriamento remoto:

- Atualizar a cartografia existente;
- Desenvolver mapas e obter informações sobre áreas como bacias de drenagem;
- Suporte de planos diretores municipais;
- Levantamento de áreas favoráveis para exploração de mananciais hídricos subterrâneos;
- Monitoramento de mananciais e corpos hídricos superficiais;

4.12.3 Redes de drenagens identificadas no sensoriamento remoto

As redes de drenagem indicam o caminho preferencial da água e auxiliam na determinação de bacias hidrográficas e na sua melhor forma de manejo. Os métodos tradicionais para a definição de drenagem como a observação de campo, a fotointerpretação ou por curvas de nível não são tão precisos. Porém, a análise das redes de drenagens é estratégica para planejar e gerir o aproveitamento de recursos hídricos, uma vez que demarcam áreas do ponto de vista hídrico e explicam o comportamento da dinâmica dos rios em cada setor, associando às questões do meio físico-natural e social de uma dada bacia hidrográfica (TALON & KUNTSCHIK, 2011).

Para Horton (1945) um curso d'água inicia quando a força do escoamento acumulado é suficiente para vencer a resistência à erosão do solo. Assim, ocorrerá uma transição entre o escoamento difuso (fora da rede de drenagem) e o escoamento concentrado (dentro

da rede de drenagem). O mesmo autor também observou que a declividade de cursos d'água de maior ordem apresenta maior área de drenagem.

Com base nesta ideia, foi proposto um método em que a área de drenagem limite é identificada a partir do ponto máximo de uma curva que relaciona esta área e a declividade de trechos das linhas de fluxo. A hipótese é que os cursos de água, onde o escoamento é concentrado, normalmente apresentam uma relação em que a declividade do rio decresce à medida que cresce a área de drenagem. Partindo de jusante para montante, considera-se que o início da rede de drenagem é o local em que esta tendência deixa de ser respeitada (TARBOTON, BRAS & RODRIGUES, 1991; TARBOTON, 1989).

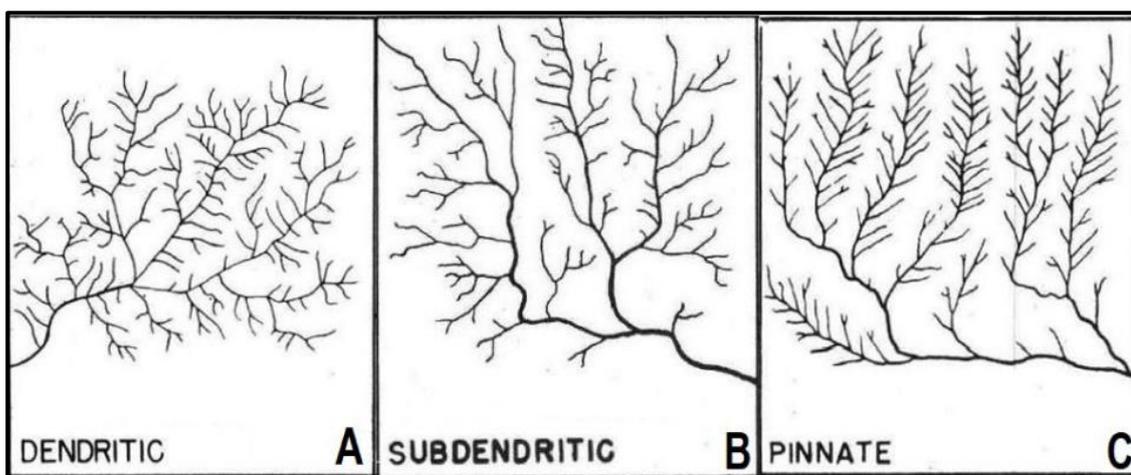
Segundo Howard (1967), os padrões de drenagem comumente são subdivididos em básico e modificado. Padrão básico é aquele, cujas características principais o distingue facilmente de outros padrões básicos. Já os padrões modificados diferem dos básicos em algum aspecto regional que seja evidente, por exemplo, uma tendência ao paralelismo dos tributários maiores em um padrão dendrítico. Deste modo, muitos padrões modificados têm caráter transitório entre os padrões básicos, e a nomeação desses padrões pode ser uma questão de julgamento de cada autor (JESUS & BARRETO, 2021). A seguir é apresentada uma síntese de alguns dos padrões básicos e modificados mais conhecidos na literatura (Figura 19):

- Dendrítico: Este padrão possui essa denominação devido suas ramificações como uma árvore. Nesta analogia, o canal principal corresponde ao tronco da árvore e seus tributários se assemelham aos ramos irregulares da mesma (PARVIS, 1950). Os ramos representam os canais que fluem em direção ao rio principal, e as confluências encontram-se com os canais maiores em vários ângulos agudos de graduações variadas, porém nunca formando um ângulo reto. Este padrão de drenagem é o mais comum encontrado na paisagem. Entretanto, variações em critérios como controle por inclinação e evidências de paralelismo em alguns tributários levaram a formação de subclasses deste tipo básico, como subdendrítico e o pinado (JESUS & BARRETO, 2021).
- Subdendrítico: De acordo com Howard (1967), é uma modificação do tipo dendrítico, este padrão se forma em decorrência de uma região em que os canais já foram muito controlados pela inclinação, porém, à medida que a dissecação avançou, o controle da inclinação dos tributários menores torna-se menos distinto e a drenagem tende a um padrão dendrítico (ZERNITZ, 1932).

É o resultado de canais que fluem de uma área de material não resistente para outra área de baixo controle estrutural (JESUS & BARRETO, 2021).

- Pinado: É uma modificação do tipo dendrítico, em que os tributários de segunda ordem são dispostos de maneira relativamente paralela. Os tributários de primeira ordem, com espaçamento uniforme, juntam-se aos tributários de segunda ordem em ângulos agudos, assemelhando-se com uma pena (ZERNITZ, 1932).

Figura 19 - Ilustração dos padrões dendrítico (A), subdendrítico (B) e pinado (C).



Fonte: Parvis, 1950.

4.13 Modelo Digital de Elevação

A representação do relevo em computadores é cada vez mais utilizada nos estudos hidrogeológicos, com sua aplicação variando desde uma simples delimitação de bacia até a extração de informações necessárias de caracterização das bacias para a modelagem hidrológica (ZEILHOFER, 2001). A representação matricial do relevo nos chamados modelos digitais de elevação (MDE) é a forma mais utilizada para as análises de geomorfometria em SIG. Em um MDE, cada elemento ou pixel tem como atributo o valor de elevação do terreno em relação a um determinado referencial (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). Com os modelos digitais de elevação é possível definir os caminhos de fluxo, delimitar as bacias e calcular as áreas de contribuição, utilizando técnicas de geoprocessamento (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; JENSON & DOMINGUE, 1988).

Assim, os MDEs representam a topografia do terreno e estão inteiramente relacionados com a caracterização física de bacias hidrográficas e do sistema de drenagem. A obtenção da rede de drenagem é um dos principais objetivos do processamento do MDE. A partir da rede de drenagem é possível definir várias informações, como as direções de fluxo, calcular as áreas de contribuição, a delimitação da bacia hidrográfica, a determinação da área de drenagem, as distâncias ao longo de caminhos de fluxo e redes de drenagem e a declividade do rio (PAZ & COLLISCHONN, 2007).

Os MDEs são muito utilizados por prover coberturas contínuas para áreas extensas e com relativo baixo custo, sendo que a computação digital automatizada fornece as medidas de formas da superfície, de contexto, de padrões e de textura que podem ser utilizados como substitutos para os critérios considerados na interpretação visual de imagens ou fotografias aéreas (HENGL & MACMILLAN, 2009).

4.14 SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

A National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) foram as instituições responsáveis pela missão SRTM, a partir disso é criado a grade SRTM 30 m, recurso que traz celeridade para os processos de pesquisa e download do MDE do projeto SRTM versão 4, que são imagens de radar com resolução espacial de 30 metros (EMBRAPA; SANTOS, 2018).

O propósito da missão SRTM foi atuar na produção de um banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração de um MDE das terras continentais. Os dados foram produzidos para a região do planeta posicionada entre os paralelos 56°S e 60°N (EMBRAPA, 2018).

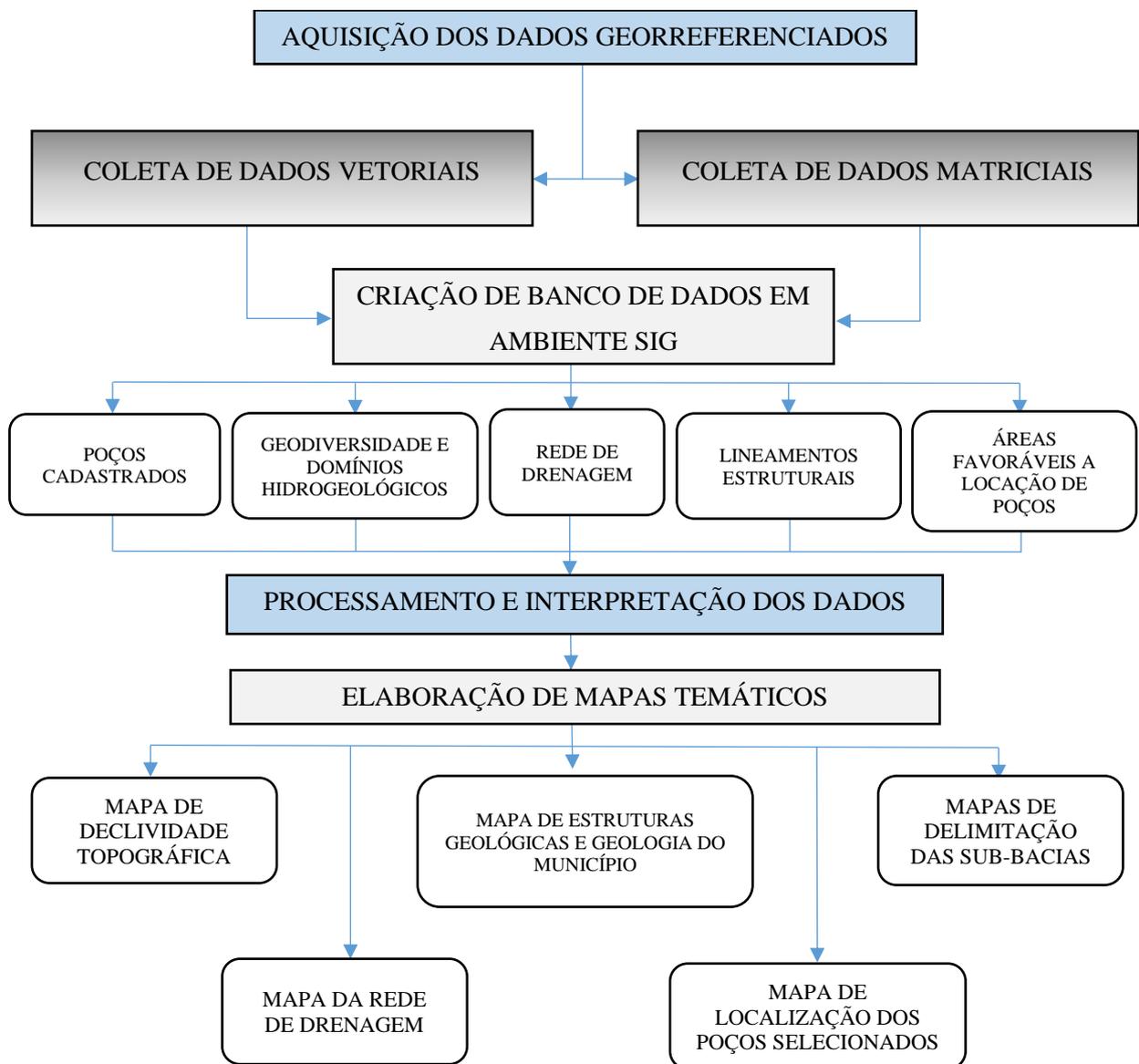
O método de coleta dos dados do SRTM é conhecido como interferometria Synthetic Aperture Radar (SAR). Por esse método, duas antenas SAR coletaram dados de Rádio Detection and Ranging (RADAR) separadas por um braço extensor de 60 metros e para geração de dados topográficos foi utilizado software interferométrico (EMBRAPA, 2018).

5 METODOLOGIA

Conforme apresentado os fluxograma da Figura 20, a metodologia do trabalho foi dividida em duas etapas, a saber:

- Aquisição dos dados georreferenciados;
- Processamento e interpretação dos dados.

Figura 20 - Fluxograma metodológico.



Fonte: Autor, 2022.

A descrição das etapas realizadas para a realização da pesquisa, estão descritas nos tópicos 5.1 e 5.2.

5.1 Aquisição dos Dados Georreferenciados

Contempla as atividades relacionadas ao planejamento e preparação para análise e interpretação dos dados.

- Coleta de dados vetoriais: compreendeu o levantamento de um banco de dados do município de Aurora, tais como: informações hidrográficas geológicas, hidrogeológicas, tipo de solos e poços tubulares perfurados na região, disponíveis nos bancos de dados da ANA, CPRM, EMBRAPA e SIAGAS, respectivamente; aquisição e organização de dados da cartografia municipal em escala compatível com o trabalho, disponíveis no banco de dados do IBGE e do IPECE;
- Coleta de dados matriciais: consistiu na criação e uso de um banco de dados raster referente a aquisição de imagens de MDE, através de dados de radar SRTM com antenas SAR.

5.2 Processamento e interpretação dos dados

Iniciada imediatamente após a conclusão dos trabalhos de aquisição dos dados georreferenciados, esta fase desenvolveu-se a partir do processamento e interpretação dos dados coletados, descrevendo as informações identificadas, e assim, identificando as possíveis áreas de potencial para perfuração de poços tubulares.

O processamento e análise integrada dos temas consistiu na sistematização dos produtos obtidos a partir do tratamento de imagens orbitais e de sua integração, via SIG por meio do QGIS, com outras fontes de informação. Foram analisados temas como hidrografia, litologia, estrutura, drenagem e declividade. O cruzamento dos planos de informações gerados e disponíveis no SIG permitiu, em função de atributos estabelecidos

a partir da importância de cada tema para a hidrogeologia, gerar diversos mapas para análise, e dessa forma, promoveu-se a definição de um suposto cenário hidrogeológico com possível favorabilidade de ocorrência de água subterrânea na região estudada.

5.2.1 Mapa de localização dos poços selecionados

O mapa de localização dos poços selecionados foi desenvolvido a partir da base de dados do SIAGAS (CPRM) do município de Aurora. Para tanto, foram identificados os poços de maior vazão específica do município de Aurora.

Foram identificados 62 poços perfurados, contudo, apenas 26 poços registraram dados de vazão específica que variam de 0,004 a 18.75 m³/h/m. Desse total, foram selecionados apenas 2 poços que apresentaram maior vazão específica. O Quadro 1, mostra as informações referentes aos poços que ultrapassam a marca de vazão específica de 0,1 m³/h/m.

Quadro 1 - Informações dos poços tubulares de maiores vazões

LOCALIDADE	LOCALIZAÇÃO		DATA ÚLTIMO TESTE	VAZÃO ESPECÍFICA
	LATITUDE (Y)	LONGITUDE (X)		
TIPI DE CIMA	65809	384719	04/11/2006	18,75 m ³ /h/m
TIPI	65802	384941	01/01/1900	0,68 m ³ /h/m
SANTA BÁRBARA	65557	385646	24/03/2011	0,593 m ³ /h/m
LAGOA DO MACHADO	65715	390345	15/09/2006	0,494 m ³ /h/m
SÍTIO MARTINS	65716	385603	16/09/2009	0,421 m ³ /h/m
LAGOA DO MATO	65713	390219	19/03/2018	0,384 m ³ /h/m
CANTINS	65706	385321	09/09/2006	0,176 m ³ /h/m
SÍTIO MONTE ALEGRE	65445	384851	09/05/2002	0,15 m ³ /h/m
BARREIRO BRANCO	65657	390303	12/09/2006	0,142 m ³ /h/m

Fonte: SIAGAS, 2021.

Conforme observado no Quadro 1, estes poços estão localizados no Sítio Tipí de Cima (Poço A) e no distrito de Tipí (Poço B), ambos pertencentes a região do distrito tipi.

Em complemento a definição das áreas selecionadas para estudo mais detalhado, foram observados os dados construtivos dos poços, profundidade, e os valores definidos nos testes de bombeamento: Nível Dinâmico (ND), Nível Estático (NE) e Vazão de Estabilização (Quadro 2).

Quadro 2 - Dados gerais dos poços tubulares de maiores vazões

LOCALIDADE	PROFUNDIDADE (m)	TESTE BOMBEAMENTO		
		NÍVEL DINÂMICO (ND)	NÍVEL ESTÁTICO (NE)	VAZÃO DE ESTABILIZAÇÃO
TIPI DE CIMA	7	1,58	1,42	3
TIPI	49	14,3	3,2	7,5
SANTA BÁRBARA	36	12,3	3,7	5,1
LAGOA DO MACHADO	42	21,02	14,74	3,1
SÍTIO MARTINS	42	23,6	2,24	9
LAGOA DO MATO	58	22,3	6,69	6
CANTINS	64	36,86	17,29	3,44
SÍTIO MONTE ALEGRE	60	37	3	5,1
BARREIRO BRANCO	46	26,5	2,54	3,4

Fonte: SIAGAS, 2021.

A projeção desses dados teve por objetivo identificar e delimitar áreas para estudos sequentes mais aprofundados.

5.2.2 Mapa de declividade topográfica

Na elaboração do Mapa da Declividade Topográfica, foi necessário a utilização de técnicas de processamento a partir da composição de dados digitais SRTM, no formato GeoTIFF com resolução espacial de 30x30 metros, utilizando-se a ferramenta declive, executados a partir da integração do SIG GRASS 7.8.5.

O uso dessa ferramenta teve por finalidade o cálculo da declividade do terreno da área estudada em porcentagem. Assim, correlacionando com a classificação das faixas de declividade elaborada pela EMBRAPA.

5.2.3 Mapa de estruturas geológicas e geologia do município

Para a produção do Mapa de Identificação e Extração de Lineamentos Estruturais foram utilizadas imagens MDE por meio do SRTM, tratadas através de técnicas de processamento de imagem em ambiente SIG. Foi utilizado também na composição do mapa, dados vetoriais da carta geológica do Brasil ao milionésimo de 2004, em conjunto com as estruturas geológicas do município de Aurora, ambos disponibilizados pelo CPRM.

Para a análise da área foi aplicado a ferramenta de relevo sombreado (*hillshade*) com utilização do *software* QGIS. Esta ferramenta gera uma imagem sombreada usando luz e sombra para proporcionar uma aparência em três dimensões do terreno. A aparência tridimensional decorre da iluminação aplicada na imagem, que varia de acordo com a aplicação de ângulos de elevação da fonte de luz a partir do horizonte, apresentando uma variação de 0 a 90° (ângulo vertical), e azimutes de iluminação, que variam de 0 a 360° (ângulo horizontal).

Dessa forma, foi estabelecido um ângulo de elevação de 45°, e um ângulo de 315° para o azimute de iluminação. Também foi aplicado a camada um nível de exagero vertical de 4 metros. O processamento e integração desses dados teve por objetivo identificar e demarcar lineamentos que ocorrem nas áreas delimitadas para estudo, de forma a estabelecer uma relação desses lineamentos com a potencialidade hídrica da região e a capacidade produtiva dos poços.

5.2.4 *Mapa da rede de drenagem*

O mapa de delimitação da rede de drenagem foi construído a partir dos dados digitais SRTM, usando-se a ferramenta *r.watershed* do SIG GRASS 7.8.5. O processamento dos dados gerou arquivos no formato GeoTIFF, que foram vetorizados para construção do mapa proposto.

5.2.5 *Mapas de delimitação das sub-bacias*

Para a produção dos mapas de delimitação das sub-bacias, foram utilizados dados digitais SRTM com aplicação das ferramentas *r.watershed*, para extrair as drenagens a partir de um recorte da área, e *r.water.outlet* para delimitar as bacias hidrográficas a partir das coordenadas do ponto de exutório.

O processamento desses dados teve por objetivo analisar os segmentos de fluxo na área, a extensão das microbacias onde se encontram os poços selecionados, bem como as possíveis zonas de recarga dos aquíferos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados do trabalho e a discussão pertinente aos tópicos desenvolvidos durante todas as fases da pesquisa, considerando-se a metodologia e técnicas aplicadas.

6.1 Mapa de Localização dos Poços Seleccionados

Com base no banco de dados do SIAGAS 2021, Quadro 1, foi elaborado o mapa dos poços seleccionados para o estudo, Figura 21. Dos 61 poços catalogados, apenas 26 apresentaram o valor da vazão específica. Dentre os 26 poços, apenas 46,15% registraram vazão específica superior a 1,00 m³/h/m e 53,84% estão entre 0,004 e 0,087 m³/h/m. Verificou-se uma grande variabilidade de vazão específica entre os poços listados no Quadro 1, em que o poço situado no sítio Tipi de Cima, registrou a maior vazão específica de 18,75 m³/h/m, enquanto que os demais poços apresentaram valores inferiores a 1,0 m³/h/m.

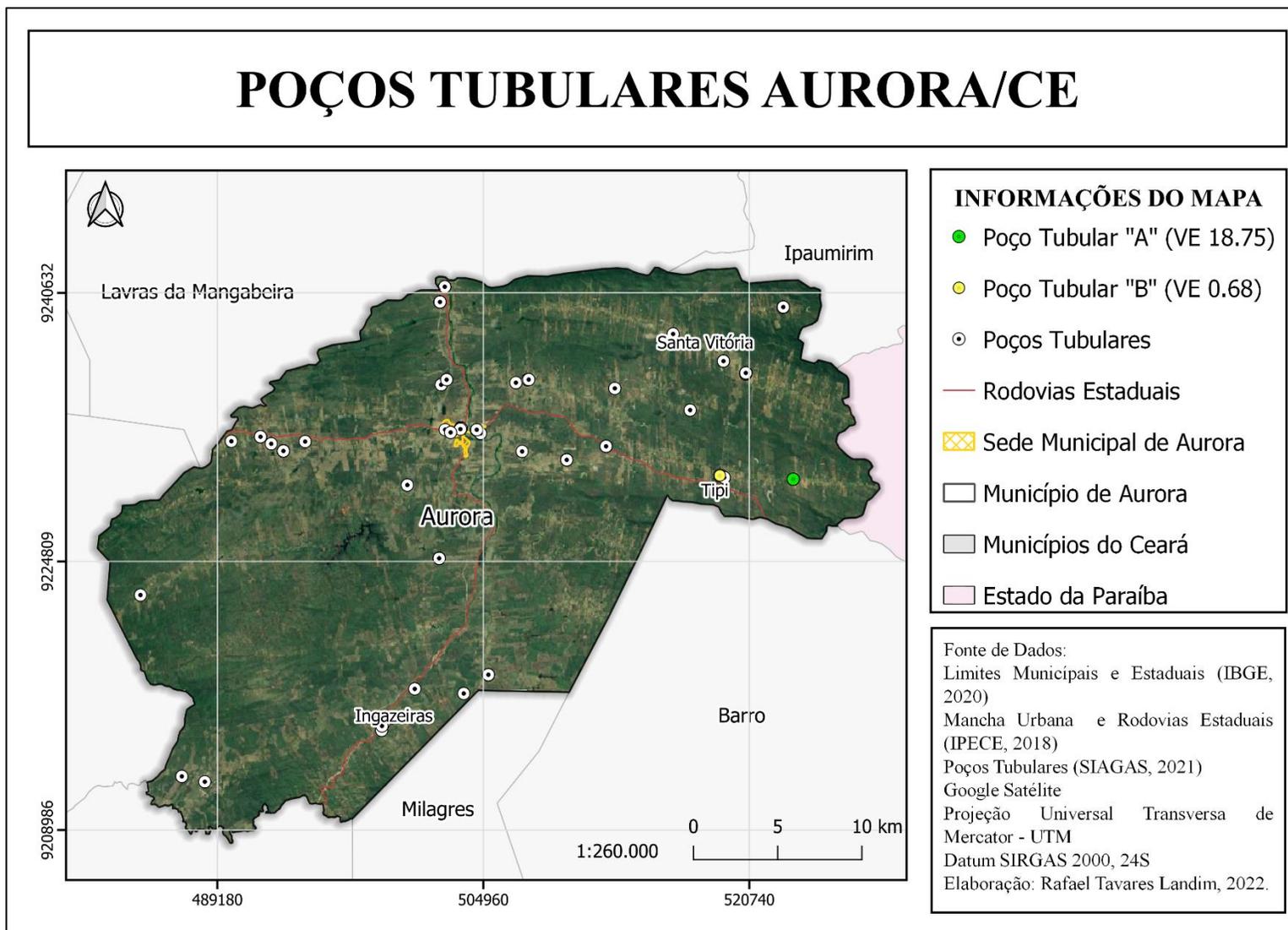
O mapa da Figura 21 mostra a localização espacial dos poços seleccionados. Nota-se que todos os poços estão localizados próximos a leitos de riachos, com profundidades entre 07 e 68 metros, Quadro 2. Partindo do princípio que a permeabilidade média das rochas cristalinas (ígneas e metamórficas) decresce com a profundidade, e agregando esta informação aos dados de vazão específica, pode-se inferir que os poços foram perfurados até alcançar vazões satisfatórias.

Os dados do Quadro 2 também mostram que o nível estático de 72,7% dos poços possui profundidade inferior a 7 metros e os 27,3% restantes entre 14,74 e 17,29 metros. O nível dinâmico apresenta valores muito variados, atingindo profundidades acima de 35 m, com predomínio para profundidades acima de 10 m. Quando distribuído na área, apresenta valores próximos ao nível estático. Considerando que o nível dinâmico é medido no equilíbrio, quando a vazão de bombeamento se iguala à capacidade de recarga do aquífero, isso pode justificar os valores do nível estático que se localizam no domínio

cristalino, onde, a transmissividade, bem como a permeabilidade são menores que nos terrenos sedimentares.

Considerando todas estas informações, as áreas que se mostraram mais propícias a ocorrência de água subterrânea, objeto de estudo mais detalhado, estão localizadas no distritos de Tipí e no Sítio Tipí de Cima

Figura 21 - Mapas de distribuição dos poços tubulares no município de Aurora



Fonte: Autor, 2022.

6.2 Mapa de Declividade

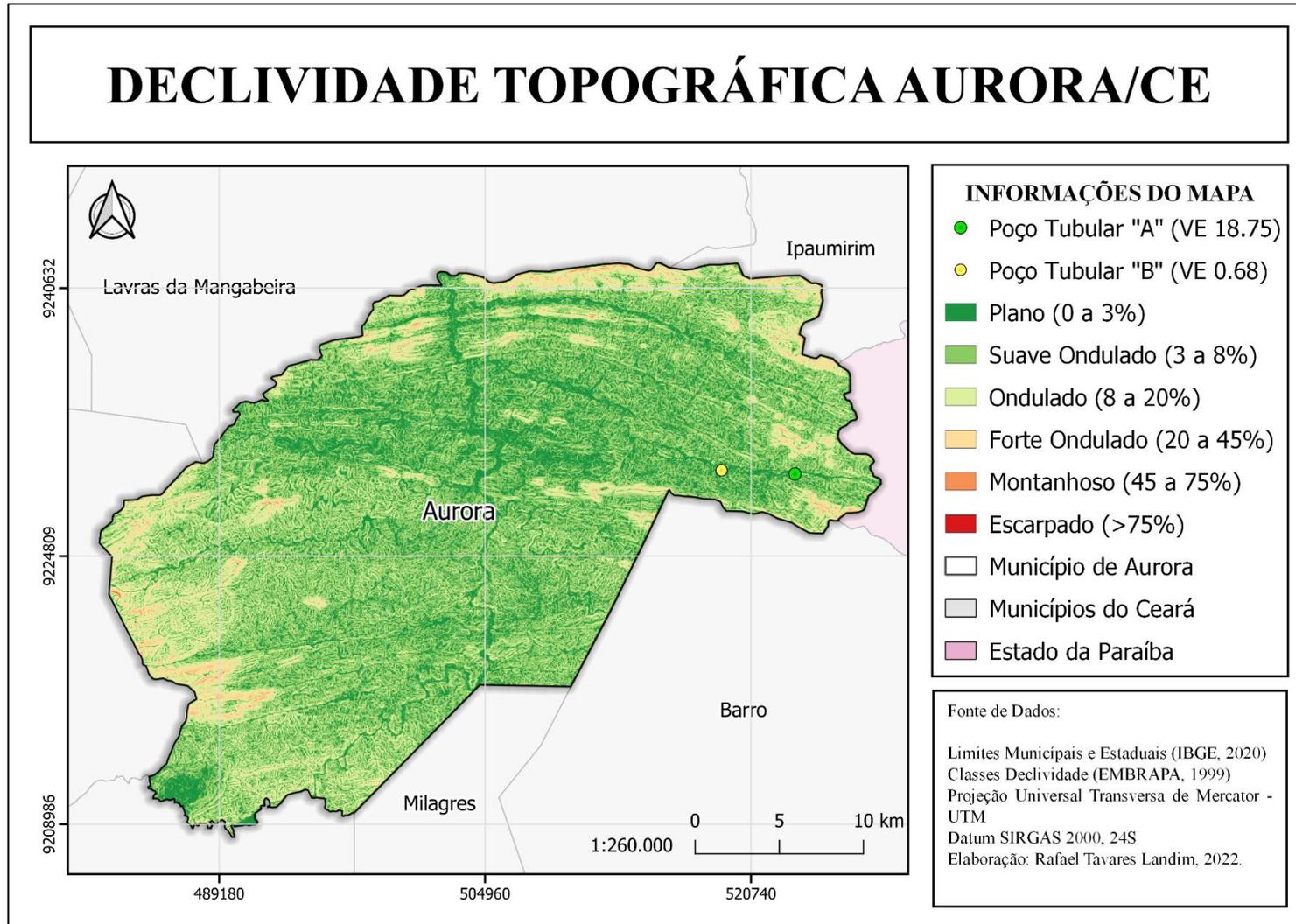
A declividade do curso d'água é um parâmetro de grande importância para o manejo de bacias, pois influencia diretamente no escoamento de água e conseqüentemente no tempo de concentração, assim está diretamente associada ao tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água. Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, e menor o tempo de interação com a água em uma superfície específica da região (PALARETTI, 2019).

O mapa da Figura 22, mostra as variações de declividade no município de Aurora/CE. Verifica-se no mapa que o município em questão apresenta declividade, predominantemente, plana ou suave, com inclinações que variam de 0 a 8%. É possível visualizar que a porção central do mapa apresenta uma cor verde de tonalidade mais escura, que evidencia um terreno pouco inclinado por onde passa o Rio Salgado.

Vale salientar que a topografia plana do município pode contribuir para o favorecimento da recarga de aquíferos. As regiões marginais do mapa, apresentaram colorações entre amarelo e o vermelho, que estão diretamente relacionadas a formação de um relevo mais elevado, a exemplo do maciços residuais com elevações acima dos 500 metros, localizados na porção sudoeste de Aurora.

Os poços selecionados, localizam-se em zonas próximas ao leito do Riacho Tipi, assim, presentes em zonas de baixa declividade topográfica, sendo indicativo de áreas que possuem capacidade para absorção de água. Zonas de recargas, podem possuir um alto grau de saturação no seu terreno, assim facilitando a perfuração, pois poderá diminuir a profundidade até a interceptação com recurso hídrico.

Figura 22 - Mapa de declividade topográfica do município de Aurora.



Fonte: Autor, 2022.

6.3 Mapa de estruturas geológicas e geologia do município

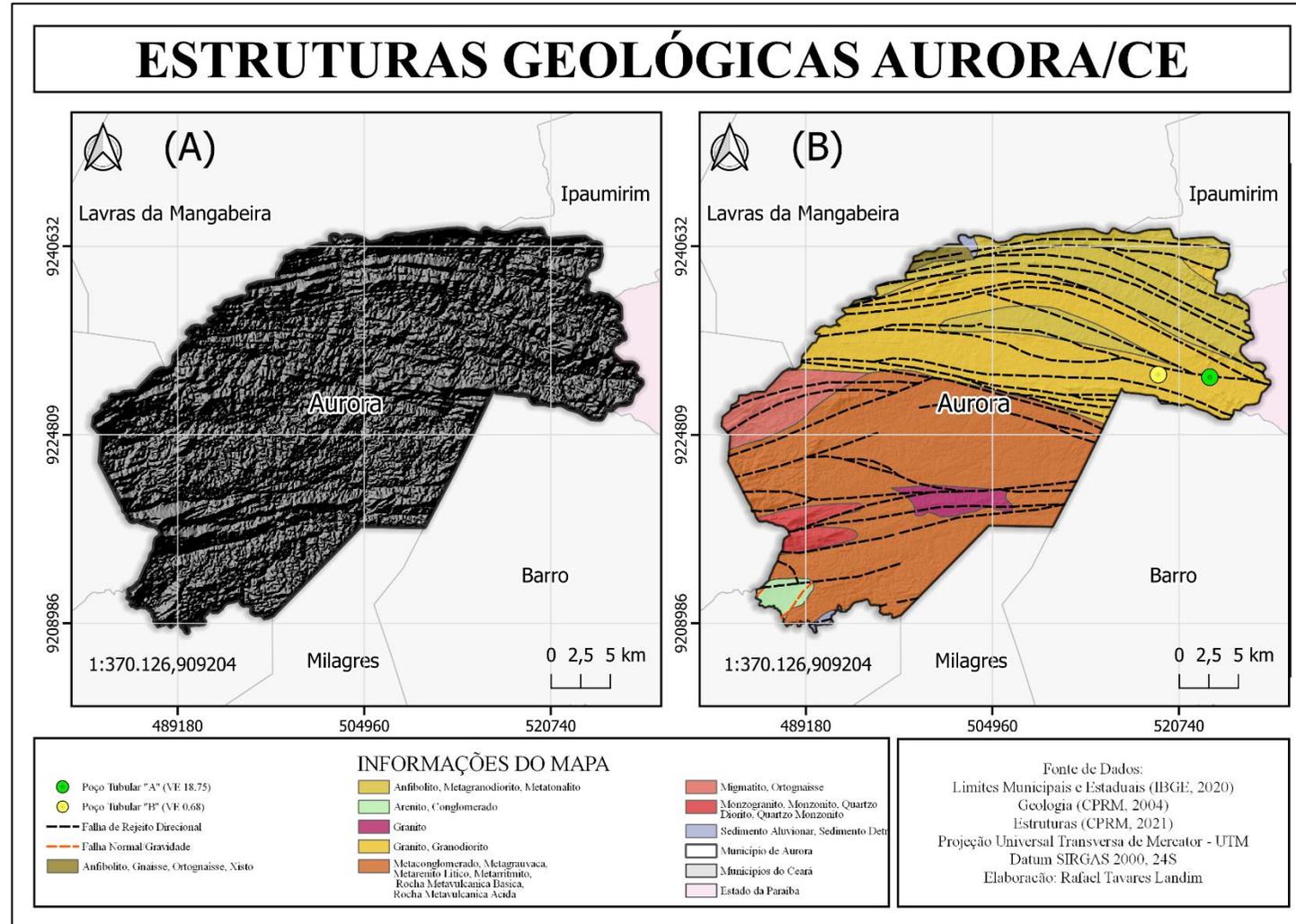
Com base na análise da Figura 23, referente ao mapa de estruturas geológicas e geodiversidade do município, os poços selecionados para estudo encontram-se no domínio cristalino formado por granitos e/ou granodioritos e estão próximos a falhas de escala regional, fator que pode influenciar consideravelmente na recarga dos aquíferos em que se encontram instalados. Verificou-se também que as rochas que formam o município são, predominantemente, ígenas ou metamórficas.

A análise do mapa gerado permitiu uma melhor visualização das estruturas geológicas existentes ao longo das drenagens presentes nas áreas de interesse. As estruturas demarcadas pela CPRM se aproximaram das formas lineares visualizadas através da aplicação da ferramenta de sombreamento sobre o MDE, e de acordo com CPRM (2021), essas estruturas representam falhas de rejeito direcional em grande parte do território municipal, possuindo apenas a presença de falhas normal/gravidade ao sudoeste da área do município.

As estruturas identificadas com o processamento do MDE do SRTM na Figura 23, ocorrem, predominantemente, no sentido L-O, variando de L-NO a NE-SO. No entanto, estes lineamentos não foram comprovados em campo.

O que pode-se inferir, é que essas falhas servem de caminhos preferencias para drenagens, e que interseções com drenagem subseqüentes com essas falhas, podem gerar pontos com possibilidade de ocorrência de fluxo e armazenamento de água subterrânea. Essas feições podem conferir a região um bom potencial hidrológico, uma vez que essas propriedades aumentam a porosidade e a permeabilidade da rocha, conseqüentemente, permitindo a circulação e acúmulo de água no subsolo.

Figura 23 - Estruturas geológicas de Aurora em comparativo com o relevo sombreado (A) e as lineações sobrepostas sobre a geologia disponibilizadas pela CPRM (B).



Fonte: Autor, 2022.

6.4 Mapa da Rede de Drenagem

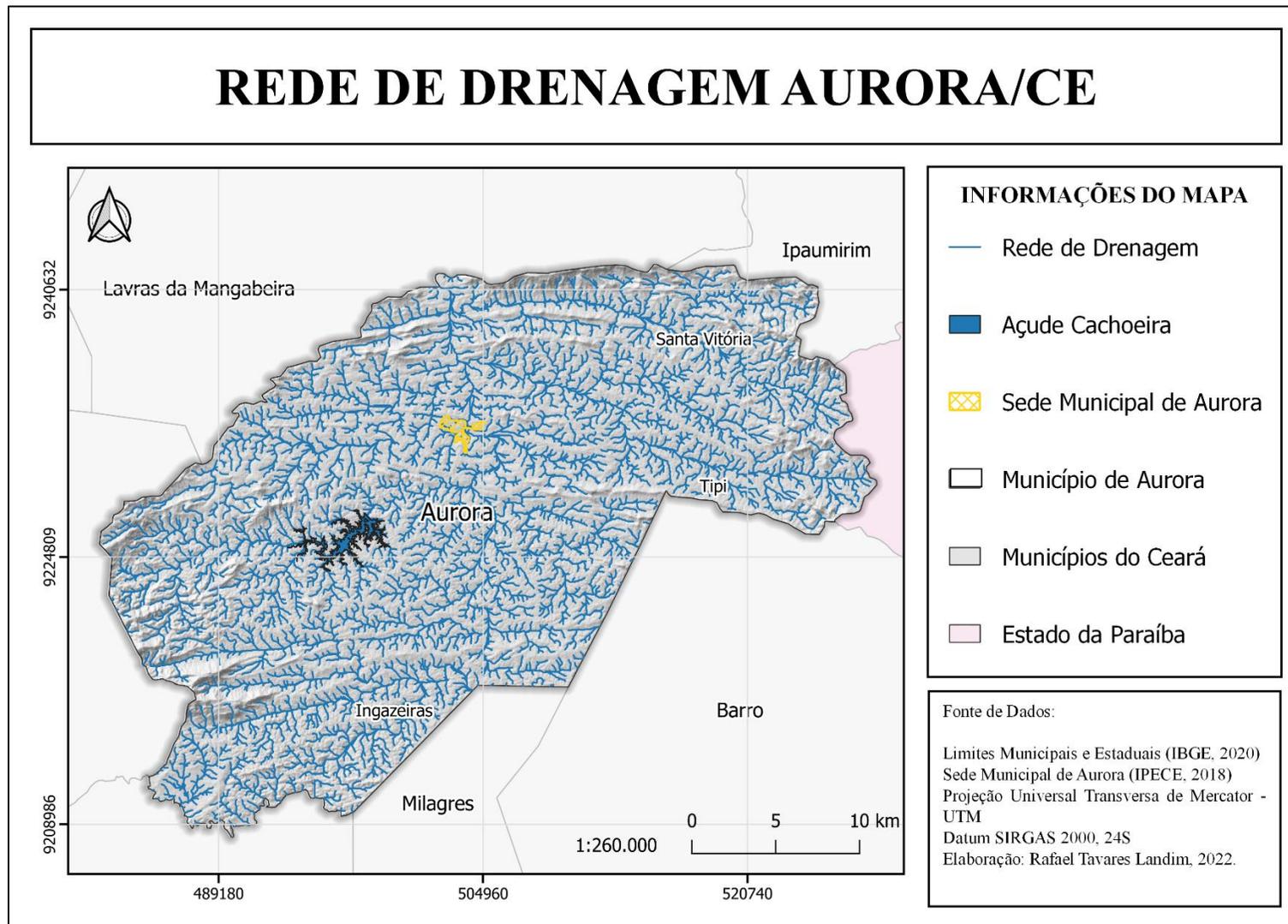
A partir da análise do mapa da Figura 24 que mostra a rede de drenagem do município de Aurora, foi possível identificar a existência de padrões angulosos e muito numerosos que estão associados à formação do padrão dendrítico. Esse modelo de drenagem sugere a presença de rochas ígneas e metamórficas (embasamento cristalino) ou, ainda, depósitos inconsolidados, contexto este, que ocorre no município, como observado no mapa da geodiversidade da Figura 4.

Como citado no tópico 4.12.3, o padrão dendrítico é perceptível devido sua clássica ramificação em árvore, essa analogia é devido ao canal principal da rede corresponder ao tronco e seus tributários se assemelham aos ramos irregulares da árvore. De acordo com Howard et al., 1967, Esse padrão de drenagem é desenvolvido em rochas heterogêneas, pouco uniformes e pouco deformadas, apresentando arranjo irregular em todas as direções, sem nenhuma orientação evidente dos canais e com ângulos de junção variados entre o canal principal e os tributários, uma vez que esses segmentos de drenagem podem refletir a existência de regiões de menor fraqueza, podendo corresponder a zonas de descontinuidades geológicas favoráveis a infiltração de água no subsolo, característica que contribui para formação de aquíferos.

Na Figura 24 também é possível perceber a presença do padrão subdendrítico em regiões próximas a relevos com declividade mais elevadas, em que à medida que a dissecação avança, esses padrões de inclinações tendem a formar ramificações dendríticas.

Para os tipos de padrões de drenagem identificados e considerando o terreno fraturado devido ao domínio fissural da região (Figura 5), zonas de interseções entre drenagens, tornam-se indicativos para presença de água subterrânea, pois o fluxo da água tende a percorrer zonas mais frágeis e não consolidadas.

Figura 24 - Rede de drenagem



Fonte: Autor, 2022.

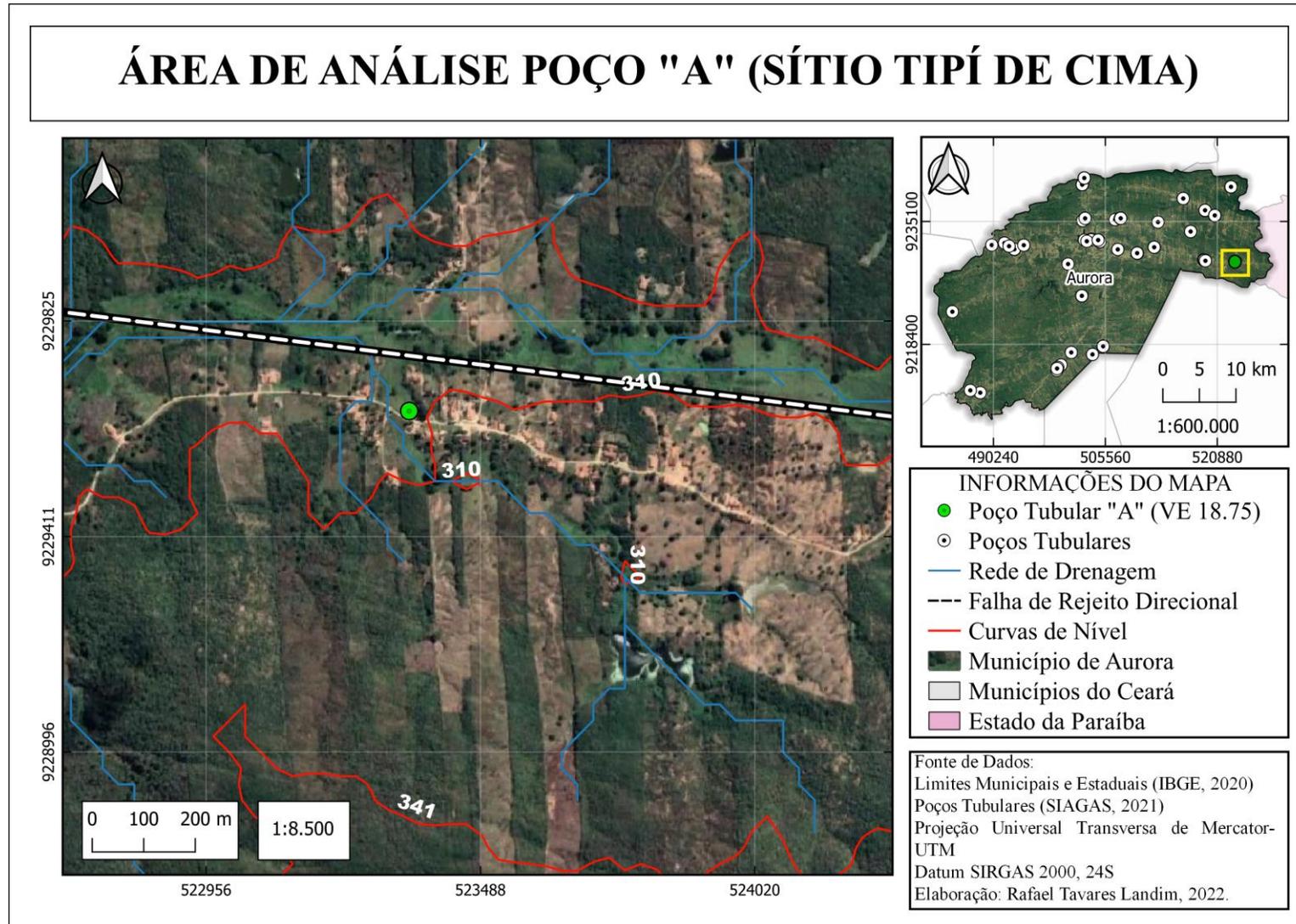
6.5 Mapas das áreas de análises do poços selecionados

O poço tubular “A” de maior vazão específica, 18,75 m³/h/m, situado no sítio Tipi de Cima, Figura 25, possui profundidade de apenas 7 metros. A elevada vazão, provavelmente, relaciona-se a proximidade do fluxo principal de um riacho com o exutório da sub-bacia, pertencente ao domínio aluvionar em zona saturada, Figura 5. Entretanto, para confirmar as informações cadastradas no SIAGAS, torna-se necessário uma visita ao local, para a realização de estudos mais aprofundados.

A partir da interpretação dos dados estruturais da Figura 23, foi possível identificar uma característica semelhante a um tipo de estrutura acumuladora que pode favorecer o fluxo de água subterrânea, classificada como riacho fenda. Neste caso, para que as locações dos poços tornem-se válidas, faz-se necessário estudos mais aprofundados para identificação das fraturas interligadas (pontos de interseção) no modelo riacho-fenda para um bom aproveitamento do recurso hídrico.

Verificou-se também que o poço em questão localiza-se próximo ao fluxo de drenagem principal da região em zonas de declividades baixas, Figura 22, conseqüentemente associado a um maior tempo de escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d’água.

Figura 25 - Mapa da área de análise “Poço A”



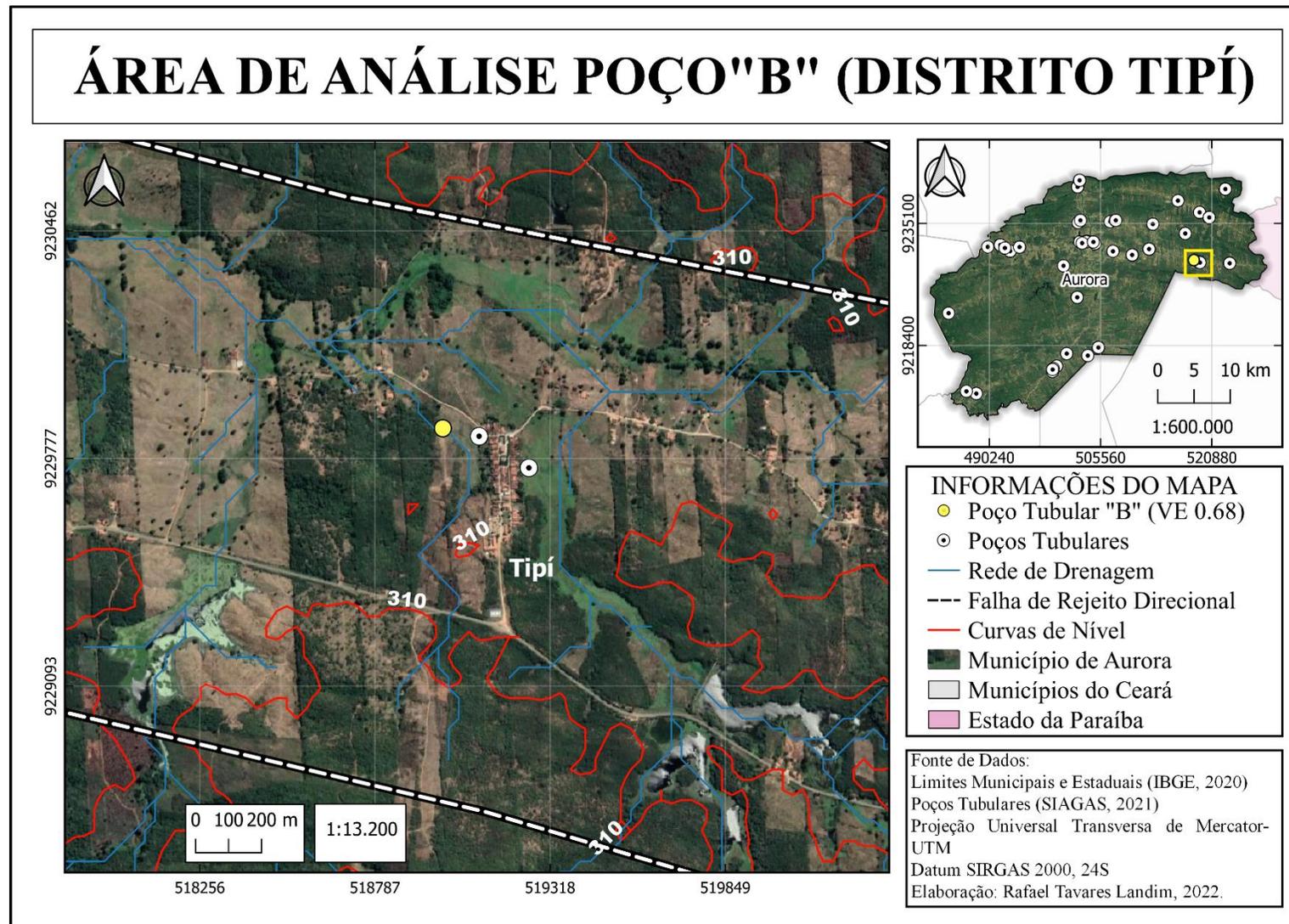
Fonte: Autor, 2022.

Na área onde situa-se o poço B, referente a proximidades do distrito do Tipí, Figura 26, o modelo riacho-fenda também mostrou-se aparente, pois ambas as áreas em análise, estão sobre a margens do Riacho do Tipi. Essa região, também está localizada em zonas de declividades baixas, Figura 22, nas proximidades do perímetro urbano e contíguo á rede de drenagem.

O poço B possui profundidade de 49 metros, mas registrou uma vazão específica discreta em comparação com o poço A, de 0,68 m³/h/m. A Figura 26 mostra que o poço B localiza-se entre duas falhas de rejeito direcional, que são favoráveis a infiltração de água no subsolo. Entretanto, o poço registrou uma baixa vazão específica que, provavelmente, está relacionada a má qualidade do aquífero fissural formado na área.

À vista disso, torna-se necessário estudos mais aprofundados da área, e visita ao poço analisado para validação das informações obtidas.

Figura 26 - Mapa da área de análise “Poço B”



Fonte: Autor, 2022.

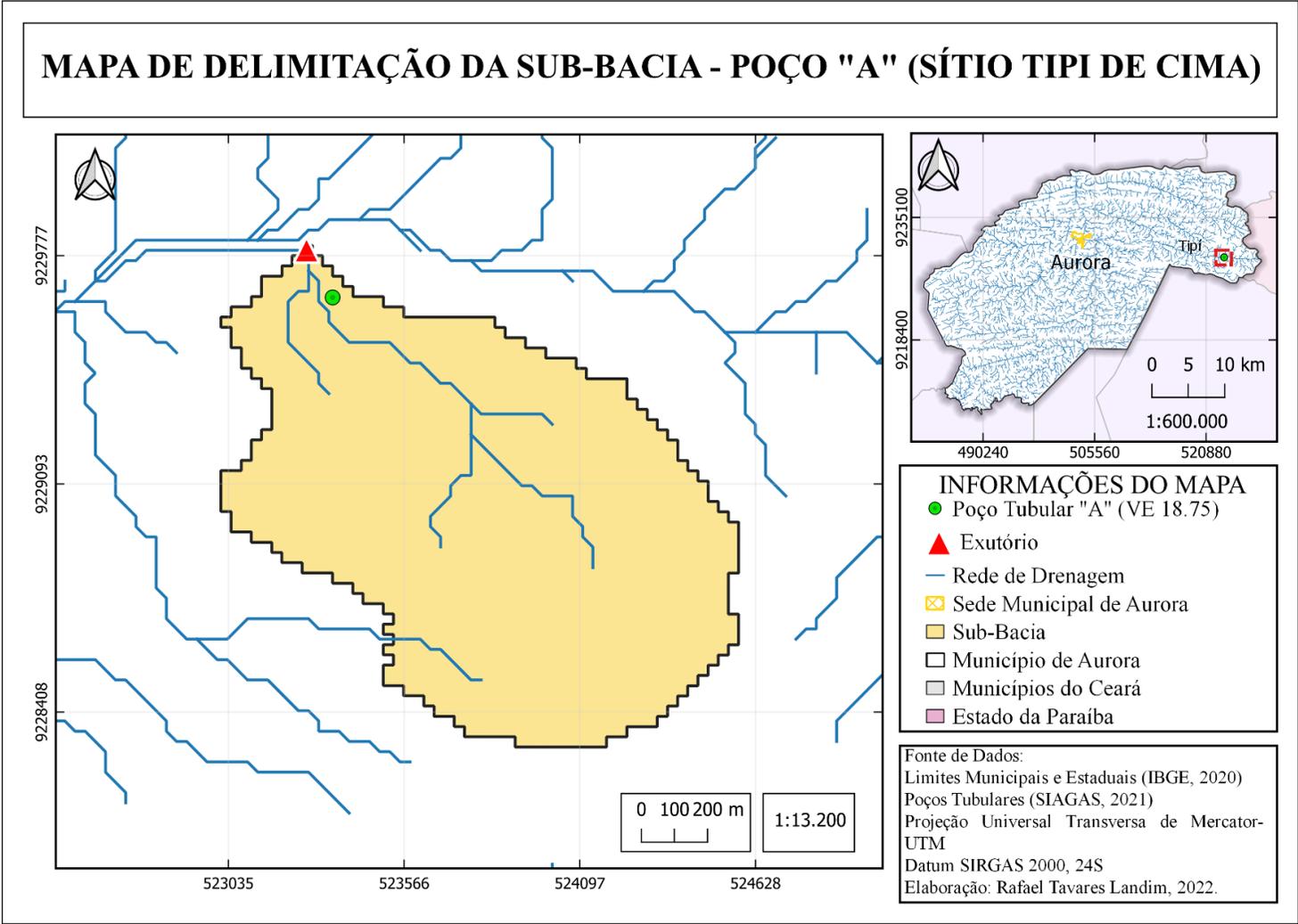
6.5.1 Mapas de Delimitação das Sub-bacias

Em complemento às informações obtidas com a composição dos mapas das áreas de análises dos poços, foram elaborados mapas de delimitação das sub-bacias hidrográficas para os poços de maior vazão específica.

O mapa da Figura 27, representa a microbacia onde o poço “A” está situado. É possível observar no mapa que o exutório da microbacia é representado por um único fluxo de drenagem, ordenado por um caminho curto que alimenta a zona de recarga do aquífero. A área que representa a sub-bacia possui pouca declividade sendo próxima ao leito do Riacho do Tipí, condição que contribui para intensificar a capacidade de infiltração da água no solo, o que pode ter contribuído para uma maior vazão específica do poço em estudo. Além disso, o poço A localiza-se próximo ao exutório da sub-bacia, onde a declividade tende a ser menor e as condições de infiltração da água são favoráveis.

A área da sub-bacia da Figura mede aproximadamente 1,468 km² e em virtude das características topográficas, sugere-se que essa região é muito favorável para a ocorrência de água subterrânea, o que pode ser justificado pelo fato de que o poço perfurado nessa área se encontra confinado na microbacia, a qual apresenta um fluxo de drenagem relativamente pequeno e uma boa vazão. Assim, parte da zona de recarga do aquífero está concentrada nessa região, favorecendo desta forma a potencialidade hídrica do local. Outro fator considerável é a formação da microbacia próxima a zona de drenagem do riacho do Tipí, que contribui ainda mais a ocorrência de água subterrânea.

Figura 27 - Mapa de sub-bacia área "A"



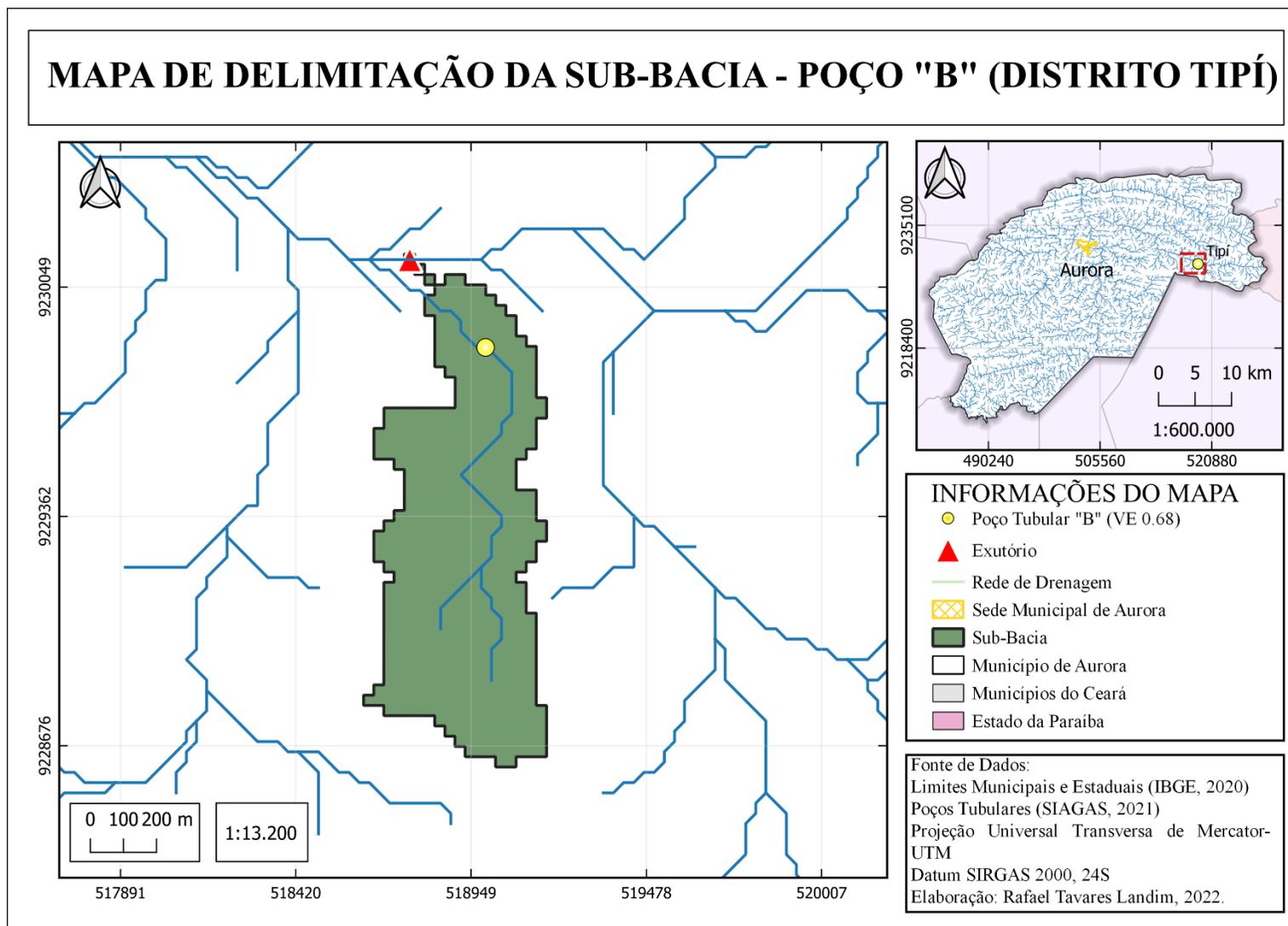
Fonte: Autor, 2022.

A sub-bacia delimitada para a área do poço “B” (Figura 28), é expressivamente menor, ocupando uma área de 0,546 km². Observa-se que o poço confinado nessa sub-bacia está próximo do fluxo de drenagem e do exutório, como toda água contida na bacia tende a convergir para este ponto e sugere-se que esta é uma área de grande potencialidade para exploração de água subterrânea. Todavia, foi verificado que o poço apresentou uma baixa vazão específica, 0,68 m³/h/m, que provavelmente, está relacionada a baixa capacidade de armazenar água do aquífero localizado na área.

Com base na análise por sensoriamento remoto das características das Áreas A e B, pode-se inferir que o critério mais importante para a determinação de um local para perfuração de poços, localiza-se próximo ao exutório da drenagem das sub-bacias, que apresentam topografia suave e favorecem a infiltração de água no solo para abastecer os aquíferos. No entanto, outros fatores precisam ser avaliados, como espessura da camada de sedimentos, tipo de rocha e estruturas geológicas, que podem influenciar na formação e recarga de aquíferos fissurais.

No entanto, a análise por sensoriamento remoto e os dados superficiais que podem ser coletados em campo, não são suficientes para atestar a presença de água subterrânea na área, apenas fornecem indicativos de potencialidade. Por outro lado, o uso de métodos geofísicos, como eletrorresistividade e *Ground Penetrating Radar* (GPR), nas áreas com potencialidade, pode atestar a presença de anomalias elétricas e eletromagnéticas, respectivamente, que permitem a identificação de alvos em subsuperfície que podem armazenar água subterrânea, aumentando assim a probabilidade de sucesso na perfuração de poços tubulares.

Figura 28 - Mapa sub-bacia área "B"



Fonte: Autor, 2022.

7 CONCLUSÃO

O mapa de localização dos poços selecionados possibilitou identificar a posição geográfica dos poços perfurados no município. Dessa forma, considerando os valores de vazão específica, foram conhecidas as áreas onde estão situados os dois poços que apresentaram maior capacidade específica. Estas áreas estão situadas no distrito de Tipí e no Sítio Tipí de Cima.

Através do mapa de declividade topográfica, notou-se que os poços selecionados, estão locados em zonas próximas ao leito do Riacho Tipí, ou seja, em áreas de baixa declividade, sendo esse, um indicativo de capacidade positiva para absorção de água.

Já com o mapa de estruturas geológicas e geologia do município, os poços A e B, encontram-se localizados próximos a falhas de rejeito direcional, podendo sofrer influência de uma estrutura acumuladora de água subterrânea como o riacho fenda, em especial o poço A. Já o poço B, a sua baixa vazão específica, pode estar associada a baixa porosidade secundária do aquífero fissural da área. Neste caso, interseções com drenagem subsequentes com essas falhas, podem gerar pontos com possibilidade de ocorrência de fluxo e armazenagem deste recurso hídrico.

Com base no mapa da rede de drenagem, foi possível a interpretação, dos padrões de drenagem que ocorrem no município, o qual possibilitou identificar a ocorrência predominante do padrão de drenagem do tipo dendrítico. Esse modelo pode indicar regiões de que apresentam zonas de discontinuidades geológicas, fator que pode favorecer a ocorrência de aquíferos.

Com os mapas de delimitação das sub-bacias, foi possível analisar os segmentos de fluxo na área, a extensão das sub-bacias onde se encontram os poços A e B, bem como as possíveis zonas de recarga dos aquíferos. Baseado nessa análise, sugere-se que a perfuração dos poços seja realizada o mais próximo possível das linhas de drenagem do exutório, o que poderá aumentar a probabilidade de sucesso da potencialidade hídrica do poço.

Dessa forma, a partir dos estudos das áreas, recomenda-se a realização de levantamentos geofísicos como complemento ao estudo da favorabilidade das áreas, sendo estes de grande importância para o sucesso na definição de locais para a perfuração de poços.

REFERÊNCIAS

- AEB, Agência Espacial Brasileira. **IMAGENS DE SATÉLITES**: Resoluções das Imagens. Programa Espacial Brasileiro, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/imagens-de-satelites> Acesso em: 2 jun. 2022.
- AURORA. **DECRETO MUNICIPAL 301101/2017, DE 30 DE NOVEMBRO DE 2017**. Declara em situação anormal, caracterizada como SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA, nas áreas de toda zona rural, os Distritos Sede Rural, Ingazeiras, Tipi e Santa Vitória do município de Aurora afetadas pela seca. Aurora: Câmara Municipal [2017]. Disponível em: https://www.aurora.ce.gov.br/arquivos/523/DECRETOS_301101_2017_0000001.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.
- BARGOS, Danúbia Caporusso. **CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. Escola de Engenharia de Lorena - EEL, 2019. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4664344/mod_resource/content/1/aula6_LOB1233.pdf. Acesso em: 27 abr. 2022.
- BARRELLA, W. et al. **AS RELAÇÕES ENTRE AS MATAS CILIARES OS RIOS E OS PEIXES**. In: RODRIGUES, R. R.; FILHO; H. F. L. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316101395_As_relacoes_entre_as_matas_ciliares_os_rios_e_os_peixes. Acesso em: 28 jul. 2021.
- BORMA, Laura De Simone; RENNO, Camilo Daleles. **INFILTRAÇÃO E MOVIMENTO DA ÁGUA NO SOLO**. [S. l.], 2017. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/02infiltracao_aguanosolo_1.pdf. Acesso em: 26 nov. 2021.
- BURROUGH P. A.; MCDONNELL R. A. **PRINCIPLES OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS**. USA: Oxford University Press, 1998. 540 p. Spatial Information Systems. Disponível em:

https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2009/general/principlesgis.pdf.

Acesso em: 3 out. 2021.

CARDOSO, Fabrício Bueno da Fonseca. **OFICINA DE CAPACITAÇÃO DO PROGESTÃO**, Agencia Nacional de Águas. Poços para Captação das Águas Subterrâneas. Águas Subterrâneas. [S. l.: s. n.], 31 out. 2016. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/oficina-aguas-subterraneas-brasilia-2016/apresentacoes-ana/ana-2-hidrogeologia-pocos-fabricio-bueno.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2021.

CARIA, C. G. **ESTUDO DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO CONCELHO DE ALMADA**. Dissertação (Mestrado em Geologia Aplicada, Especialização em Hidrogeologia) - Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências – Departamento de Geologia, Lisboa, Portugal, 2012. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/RCAP_35c450722c92ea694ffeb0863e98f03f. Acesso em: 27 out. 2021.

CARVALHO, Daniel Fonseca; SILVA, Leonardo Duarte Batista. Hidrologia. UFRRJ: [s. n.], 2006. cap. 5. **INFILTRAÇÃO** Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

CARVALHO, Edilson Alves; ARAÚJO, Paulo César. **INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE**. Natal, RN: EDUFRN, 2009. Disponível em: http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Leituras_Cartograficas_II/Le_Ca_II_A11_MZ_GR_260809.pdf. Acesso em: 8 dez. 2021.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **INVENTÁRIO AMBIENTAL DO AÇUDE CACHOEIRA**. Eixo monitoramento quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, [S. l.], 2011. Disponível em: http://cdn.funceme.br/hidro-ce/data/arquivos/inventarios_synced_201605/Inventario%20Ambiental%20do%20Acud e%20Cachoeira%202011.pdf. Acesso em: 2 out. 2021.

COSTA, Joel Alves. **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA OPÇÃO PARA A AQUICULTURA**. Panorama da Aquicultura, 2018. Disponível em:

<https://panoramadaaquicultura.com.br/aguas-subterraneas-uma-opcao-para-a-aquicultura/>. Acesso em: 10 maio 2022.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. **DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE AURORA**, Fortaleza, 1998. Disponível em:

https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15785/Rel_Aurora.pdf?sequence=1. Acesso em: 22 jul. 2021.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **SRTM - SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION**. Portal EMBRAPA, 2018. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>. Acesso em: 23 abr. 2022.

EMBRAPA. **SATÉLITES DE MONITORAMENTO**. Campinas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: 2 dez. 2021

FAUSTINO, J. **PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE MANEJO DE CUENCAS**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FEITOSA, F. A. C; FILHO, J. M. **HIDROGEOLOGIA: CONCEITOS E APLICAÇÕES**, 3ª edição, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, LABHID-UFPE. 1997. 412p.

FEITOSA, Fernando A. C. **CONCEITOS E APLICAÇÕES DA HIDROGEOLOGIA**. [S. l.]: INBEC, 20 set. 2018. Disponível em:

<https://inbec.com.br/blog/conheca-conceitos-aplicacoes-hidrogeologia>. Acesso em: 16 out. 2021.

FEITOSA, Fernando A.C. **HIDROGEOLOGIA CONCEITOS E APLICAÇÕES**. 3. ed. rev. e aum. Rio de Janeiro: LABHID, 2008. 812 p. Disponível em:

https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/353643/mod_resource/content/1/Livro_Parte%20I.pdf. Acesso em: 9 dez. 2021.

FERNANDES, M. R.; SILVA, J. C. **PROGRAMA ESTADUAL DE MANEJO DE SUB-BACIAS: FUNDAMENTOS E ESTRATÉGIAS**. EMATERMG. Belo Horizonte, p. 24. 1994.

FILHO, J. M. **EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONHECIMENTO**. In: FEITOSA, A. C., et al. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. Cap. 1.1.

FREITAS, Marcos Alexandre. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE TERRENOS CRISTALINOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**. 130 p. Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, [S. l.], 1988. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/127/diss_marcos_alexandre.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 ago. 2021.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **SOLOS CEARÁ**. [S. l.], 2014. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=1012>. Acesso em: 30 jun. 2022.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. **ÁGUA: SEM ELA SEREMOS O PLANETA MARTE DE AMANHÃ**. [S. l.], 2011. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/download_hp/464.pdf. Acesso em: 1 dez. 2021.

GUIMARÃES, A. J. A, CARVALHO, D. F, SILVA, L. D. B. **SANEAMENTO BÁSICO**. IT 179. Agosto de 2007. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%203.pdf>. Acesso em: 26 out. 2021.

HENGL, T.; MACMILLAN, R. A. **GEOMORPHOMETRY - A KEY TO LANDSCAPE MAPPING AND MODELLING**. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) Geomorphometry - Concepts, Software, Applications, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 433-460, 2009. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=c0VECwAAQBAJ&pg=PA24&lpg=PA24&dq=HENGL,+T.;+MACMILLAN,+R.+A.+Geomorphometry+-+A+Key+to+Landscape+Mapping+and+Modelling.+In:+HENGL,+T.;+REUTER,+H.+>

[I.\(eds.\)+Geomorphometry+-
+Concepts,+Software,+Applications,+Series+Developments+in+Soil+Science+vol.+33,
+Amsterdam:+Elsevier,+pp.+433-
460,+2009.&source=bl&ots=nWiouoHIXn&sig=ACfU3U0f7srp4bcpZeFyxIYuXhuYFI
eiHQ&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwj-
7d33npv1AhX2qpUCHajyABMQ6AF6BAgMEAM#v=onepage&q=HENGL%2C%20
T.%3B%20MACMILLAN%2C%20R.%20A.%20Geomorphometry%20-
%20A%20Key%20to%20Landscape%20Mapping%20and%20Modelling.%20In%3A%
20HENGL%2C%20T.%3B%20REUTER%2C%20H.%20I.%20\(eds.\)%20Geomorpho
metry%20-
%20Concepts%2C%20Software%2C%20Applications%2C%20Series%20Developmen
ts%20in%20Soil%20Science%20vol.%2033%2C%20Amsterdam%3A%20Elsevier%2
C%20pp.%20433-460%2C%202009.&f=false](#). Acesso em: 6 dez. 2021

HORTON, R. E. **EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS: HYDROPHYSICAL APPROACH TO QUANTITATIVE MORPHOLOGY**. Bulletin of the Geological Society of America, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. Disponível em: <https://pdodds.w3.uvm.edu/research/papers/others/1945/horton1945a.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

HOWARD, Arthur David. **DRAINAGE ANALYSIS IN GEOLOGIC INTERPRETATION**, Associação Americana De Geologistas Do Petróleo, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, Nov. 1967. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/drainage-analysis-in-geologic-interpretation-a-summation-howard-1967-pdf-pdf-free.html>. Acesso em: 27 maio 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **IBGE CIDADES - AURORA CEARÁ**. [S. l.], 2010; 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/aurora/panorama>. Acesso em: 29 jul. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **LIMITES MUNICIPAIS E ESTADUAIS**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/porta1.php#homepage>. Acesso em: 22 jul. 2021.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **PERFIL BÁSICO MUNICIPAL**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/01/Aurora.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **MANCHA URBANA DAS SEDES MUNICIPAIS**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/metadados/Mancha%20urbana.txt>. Acesso em: 21 jul. 2021.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **RODOVIAS DO CEARÁ**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/metadados/Rodovias%20pavimentadas.txt>. Acesso em: 20 jul. 2021.

IRITANI, Mara Akie. **AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO**. 3°. ed. São Paulo: SMA/IG, 2012. Disponível em: <http://arquivo.ambiente.sp.gov.br/cea/2014/11/01-aguas-subterraneas-estado-sao-paulo.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2021.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. **EXTRACTING TOPOGRAPHIC STRUCTURE FROM DIGITAL ELEVATION DATA FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM ANALYSIS**. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, 1998. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1988journal/nov/1988_nov_1593-1600.pdf. Acesso em: 30 jul. 2021.

JESUS, Veruska Costa; BARRETO, Helen Nébias. **PADRÃO DE DRENAGEM, UM RESGATE CONCEITUAL COMO SUBSÍDIO À CLASSIFICAÇÃO DA BACIA DO RIO PREGUIÇAS – MA**. Ciência Geográfica - Bauru, v. XXV, n. 4, p. 1533-1552, 24 ago. 2021. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXV_4/agb_xxv_4_web/agb_xxv_4-23.pdf. Acesso em: 5 maio 2022.

JÚNIOR, Antenor Rodrigues Barbosa et al. **ELEMENTOS DE HIDROLOGIA APLICADA**. UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto: [s. n.], 2007. cap. 11, p. 208 - 241. Disponível em:

http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%208/Hidraulica%20de%20Pocos_Anteor%20R%20Barbosa%20Jr.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

JÚNIOR, Lauro de Oliveira Silva; CAETANO, Lucio Carramillo. **AQUÍFEROS: TIPOS DE AQUÍFEROS**. SGB Divulga (CPRM), 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Aquiferos-1377.html>. Acesso em: 19 maio 2022.

KARMANN, Ivo. **CICLO DA ÁGUA, ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUA AÇÃO GEOLÓGICA**. In: Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de textos, 2000. cap. 5, p. 113-138.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. (2000). **HIDROLOGIA DE MATAS CILIARES**. In: RODRIGUES, R. R.; FILHO, H. F. L. (Ed.). Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP/ Fapesp. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/287731660/Hidrologia-de-Matas-Ciliares>. Acesso em: 28 jul. 2021.

MACÊDO, Marta de Paiva. **O SENSORIAMENTO REMOTO E OS MAPAS TEMÁTICOS COMO LINGUAGEM NOS ESTUDOS DO AMBIENTE**. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/5980-Texto%20do%20artigo-21097-1-10-20170310.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MACHADO, Sandro Lemos. **MECÂNICA DOS SOLOS II: Conceitos introdutórios**. [S. l.: s. n.], 2012. 167 p. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~celso/solos/material/teoria2>. Acesso em: 8 dez. 2021.

MCRIT. **AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE CEARÁ: FALTA DE ÁGUA PROLONGADA**. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://projects.mcrit.com/ceara/index.php/perdas-de-agua/falta-de-agua-prolongada>. Acesso em: 6 dez. 2021.

MENEZES, P.R.; JÚNIOR, L.G. F. **COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS NATURAIS COMO BASE PARA INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS**. Brasília: UnB, 1995. 25 p.

NEVES, A. L. R. et al. **ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E QUALIDADE DA ÁGUA DE DESSALINIZADORES NAS COMUNIDADES RURAIS DE PENTECOSTE-CE**. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 124-135, 1 jan. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/dWDsZRCXtKq3WXWDPDP84RF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 out. 2021.

PALARETTI, Luiz Fabiano. **NOTAS DE AULA – MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: BACIA HIDROGRÁFICA**. FCAV/UNESP, 2019. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/engenhariarural/luizfabianopalaretti/bacia-hidrografica.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

PAMBOUKIAN, Sergio Vicente D. **SENSORIAMENTO REMOTO**. Laboratório de Geotecnologias da UPM, 2015. Disponível em: https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/62/ARQUIVOS/PUBLIC/user_upload/imported/fileadmin/LABGEO/Curso/08. Aula_08/0803. Sensoriamento_Remoto.pdf. Acesso em: 5 jun. 2022.

PARALTA, E. A.; OLIVEIRA, M. M.; LUBCZYNSKI, M. W., RIBEIRO, L. F. **AVALIAÇÃO DA RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA SEGUNDO CRITÉRIOS MÚLTIPLOS: DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E IMPLICAÇÕES AGRO-AMBIENTAIS**. 6º SILUSBA- Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de língua oficial portuguesa, Cabo Verde, Portugal, 2003. Disponível em: <https://research.utwente.nl/en/publications/avalia%C3%A7%C3%A2o-da-recarga-do-sistema-aqu%C3%ADfero-dos-gabros-de-beja-segun>. Acesso em: 27 out. 2021.

PARVIS, M. **DRAINAGE PATTERN SIGNIFICANCE IN AIRPHOTO IDENTIFICATION OF SOILS AND BEDROCKS**, Photogrammetric Engineering, v. 16, p. 387-409, 11 jul. 1950. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1950journal/jun/1950_jun_387-409.pdf. Acesso em: 27 maio 2022.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. **RIVER REACH LENGTH AND SLOPE ESTIMATES FOR LARGE-SCALE HYDROLOGICAL MODELS BASED ON A**

RELATIVELY HIGH-RESOLUTION DIGITAL ELEVATION MODEL. Journal of Hydrology, v. 343, n. 3-4, p. 127-139, 2007. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/223189461_River_reach_length_and_slope_estimate_for_largescale_hydrological_models_based_on_a_relatively_highresolution_digital_elevation_model. Acesso em: 20 out. 2021.

PINHEIRO, L. et al. **AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR: ESTUDO DA COMUNIDADE CAATINGA GRANDE.** Sociedade & Natureza, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 132-157, 2018. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/37175/pdf>. Acesso em: 8 out. 2021.

POMPÊO, M.L.M. **PERSPECTIVAS DA LIMNOLOGIA NO BRASIL.** São Luís: Gráfica e Editora União. pp. Cap. 5 pag. 1–11. 1999.

SAAE, Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **COMO SE CHEGOU AO QUE HOJE CONHECEMOS COMO CICLO HIDROLÓGICO?** Macaúbas - BA, 2016.

Disponível em:

<https://www.oblogdomestre.com.br/2015/03/HistoriaCicloHidrologico.Variedades.html>. Acesso em: 14 maio 2022.

SANTANA, D. P. **MANEJO INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/486784/manejo-integrado-de-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SANTOS, Jorge. **GRADE SRTM 30 M.** [S. l.], 2018. Disponível em:

<https://www.instrutorgis.com.br/baixar-a-grade-srtm-30-m-com-cobertura-para-o-brasil/>. Acesso em: 30 maio 2022.

SAUSEN, Tania Maria. **SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES PARA RECURSOS NATURAIS.** Educação espacial, [S. l.], 2010. Projeto Educa SeRe III-Carta-Imagens CBERS. Disponível em:

https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/ijespacial_14_sensoriamento_remoto.pdf. Acesso em: 04 dez. 2021.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: TEORIAS E APLICAÇÕES**. Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293 p. ISBN 85-7455-053-1. Disponível em: http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos_de_bacias.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.

SIQUEIRA, L. **CONTRIBUIÇÃO DA GEOLOGIA À PESQUISA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO CRISTALINO**. Revista Água Subterrânea, 1967. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448399/P07_RT15_Analise_das_Informaxes_sobre_Recursos_Hidricos_Subterraneos.pdf/7d943b35-cde1-d984-80ba-cdf12aecff79?version=1.0. Acesso em: 15 abr. 2022.

SOUZA, R. M. S. et al. **BALANÇO HÍDRICO EM ÁREA DE PASTAGEM NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [s.l.], v. 19, n. 5, p. 449-455, maio de 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FvKhX6x4cj5JVxZnd7z9N8k/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 out. 2021.

TALON, Gustavo da Cruz; KUNTSCHIK, Gerardo. **DELIMITAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM UTILIZANDO DADOS SRTM**. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, São Paulo: [s. n.], 2011. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.06.17.10/doc/p1057.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2021.

TARBOTON, D. G. **THE ANALYSIS OF RIVER BASINS AND CHANNEL NETWORKS USING DIGITAL TERRAIN DATA**. Massachusetts: Institute of Technology, 1989.

TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ, I. **ON THE EXTRACTION OF CHANNEL NETWORKS FROM DIGITAL ELEVATION DATA. HYDROLOGIC PROCESSES**, v. 5, n. 1, p. 81-100, 1991. Disponível em: <https://hydrology.usu.edu/dtarb/hp91.pdf>. Acesso em: 8 out. 2021.

TODD, David K. **GROUNDWATER HIDROLOGY**. 2.ed. New York: John Willey & Sons, 1980. 636 p. Disponível em: https://www.usb.ac.ir/FileStaff/4179_2019-6-10-1-3-16.pdf. Acesso em: 8 nov. 2021.

TODD, David K. **HIDROLOGIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**. Rio de Janeiro: USAID, 1973. 524 p. (Tradução).

ZEILHOFER, Peter. **MODELAÇÃO DE RELEVO E OBTENÇÃO DE PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS NA BACIA DO RIO CUIABÁ**. [S. 1.], 2001. Volume 6 n.3, RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/40/f2b00e6ce4d3c4dc768ec1a522ed17b8_5fac8003b5cf5c95fa832afa0749afa9.pdf. Acesso em: 1 out. 2021.

ZERNITZ, E. R. **DRAINAGE PATTERNS AND THEIR SIGNIFICANCE**, The Journal of Geology, v. 40, n. 6, p. 498–521, 1932. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/623976>. Acesso em: 12 maio 2022.