



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CAMPUS DE CRATEÚS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

HARIANNE ALVES RIBEIRO

ANÁLISE DE POÇO ARTESIANO NA REGIÃO DOS SERTÕES DE CRATEÚS

CRATEÚS

2024

HARIANNE ALVES RIBEIRO

ANÁLISE DE POÇO ARTESIANO NA REGIÃO DOS SERTÕES DE CRATEÚS

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva

CRATEÚS-CE

2024

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)

R369a Ribeiro, Harianne Alves.

Análise de poço artesiano na região dos sertões de Crateús / Harianne Alves Ribeiro. –
2024.

57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus
de Crateús, Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva.

1. Água subterrânea. 2. Escassez hídrica. 3. Terrenos cristalinos. 4. Gestão sustentável.
I. Título.

CDD 622

HARIANNE ALVES RIBEIRO

ANÁLISE DE POÇO ARTESIANO NA REGIÃO DOS SERTÕES DE CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em **Engenharia de Minas** da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de **Bacharel** em Engenharia de Minas.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva

Me. Agnaldo Francisco de Freitas Filho

Me. Wollker Cunha Soares

Aos meus pais, Maria e Ednardo e a
minha irmã Marianne, que sob muito
suor, fizeram-me chegar até aqui, na
brisa fresca.

RESUMO

Dentro do contexto da crescente demanda por gestão sustentável dos recursos hídricos, este estudo investiga especificamente a incrustação apresentada em um poço localizado em Crateús, Ceará. Este poço desempenha um papel crucial no abastecimento de reservatórios de água para o consumo de animais na propriedade e serve como fonte de abastecimento para residências próximas à região. Ao abordar aspectos geológicos, hidrogeológicos e de composição físico-química, a pesquisa busca compreender a dinâmica da água subterrânea em terrenos cristalinos. A metodologia envolve análise bibliográfica, coleta de dados em campo, aplicação de questionários, análise físico-química, análises utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando informações de fontes como a Agência Nacional de Água. Destacando a relevância dos resultados para a gestão local dos recursos hídricos, o foco específico recai sobre o poço estudado. A análise sublinha o papel crucial desse poço no abastecimento da área circundante, evidenciando a necessidade de estratégias sustentáveis para o uso da água. Este estudo fornece percepções essenciais para a gestão específica do poço, contribuindo para uma compreensão mais ampla da interação entre a dinâmica geológica e a disponibilidade de água subterrânea.

Palavras-chave: Água Subterrânea; Escassez Hídrica; Terrenos Cristalinos; Gestão Sustentável.

ABSTRACT

Within the context of the growing demand for sustainable management of water resources, this study specifically investigates the scale present in a well located in Crateús, Ceará. This well plays a crucial role in supplying water reservoirs for animal consumption on the property and serves as a source of water supply for nearby homes. By addressing geological, hydrogeological and physical-chemical composition aspects, the research seeks to understand the dynamics of groundwater in crystalline terrain. The methodology involves bibliographic analysis, field data collection, application of questionnaires, physical-chemical analysis, analyzes using scanning electron microscopy (SEM), using information from sources such as the National Water Agency. Highlighting the relevance of the results for the local management of water resources, the specific focus falls on the studied well. The analysis highlights the crucial role of this well in supplying the surrounding area, highlighting the need for sustainable strategies for water use. This study provides essential insights into well-specific management, contributing to a broader understanding of the interplay between geological dynamics and groundwater availability.

Keywords: Groundwater; Water Scarcity; Crystalline Terrains; Sustainable Management.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Problemática.....	10
1.2. Objetivos.....	12
2. ÁREA DE ESTUDO.....	12
2.1. Localização da Área.....	12
2.2. Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos	14
2.3. Aspectos Fisiográficos e Socioeconômicos	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1. Água Subterrânea	17
3.1.1. Água Subterrânea em Crateús	18
3.2. Qualidade das Águas Subterrâneas	20
3.3. Formas de Ocorrência da Água Subterrânea em Terrenos Cristalinos	22
3.3.1 Modelo Riacho-Fenda	23
3.1.2. Modelo Elúvio-Aluvionar.....	24
3.2. Métodos de Construção de Poços em Terrenos Cristalinos.....	26
4. METODOLOGIA.....	31
4.1. Fluxograma.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1. Análise Geológica	33
5.2. Análise Físico – Química	37
5.3. Análise do Material (MEV)	39
6. CONCLUSÃO.....	47
7. REFERÊNCIAS	48
8. ANEXOS	52

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência humana, animal e de toda a vegetação, tornando-se um recurso indispensável para o desenvolvimento de qualquer região. Esse recurso, embora extremamente necessário, se faz escasso podendo comprometer até a subsistência em algumas regiões.

No Ceará, que está localizado próximo a linha do Equador, temos um clima tropical úmido e semi-árido, que é caracterizado por períodos curtos e irregulares de chuva, clima predominantemente quente e grande quantidade de dias ensolarados com alta temperatura, ocasionando assim muita evaporação dos reservatórios e pouca recarga de água através das chuvas.

A escassez de água atinge principalmente a região dos Sertões que possuem clima semi-árido, onde as condições climáticas são bastante favoráveis para a estiagem. As chuvas nessas regiões são concentradas principalmente em um determinado período do ano, no qual os agricultores utilizam esse período para realizar plantações e cultivos de pastagem para animais. Ao longo dos demais meses do ano o clima se mantém normalmente bastante ensolarado com altas temperaturas, impossibilitando na maioria das vezes o cultivo e o plantio de pasto, ocorrendo também o comprometimento do próprio abastecimento de água, devido a estiagem.

Para remediar essa situação de falta de água, são utilizados recursos hídricos subterrâneos, visando como meio alternativo de abastecimento das regiões, sendo muitas vezes a principal fonte de abastecimento de comunidades.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), no Estado do Ceará, 35% dos municípios são abastecidos exclusivamente por água de origem subterrânea, sendo a contribuição da água subterrânea relevante e estratégica na manutenção de variadas atividades socioeconômicas. No entanto, a viabilidade da utilização deste recurso hídrico está relacionada principalmente à quantidade de água armazenada por área, litologia e características climáticas (FEITOSA et. al., 2008; MOURA et al., 2009; COUTINHO et al., 2013).

Dado este contexto, faz-se necessário a preocupação com a qualidade da água dos poços que por ventura possuem como finalidade o abastecimento de água de algumas comunidades e localidades que são atingidas pela seca.

1.1. Problemática

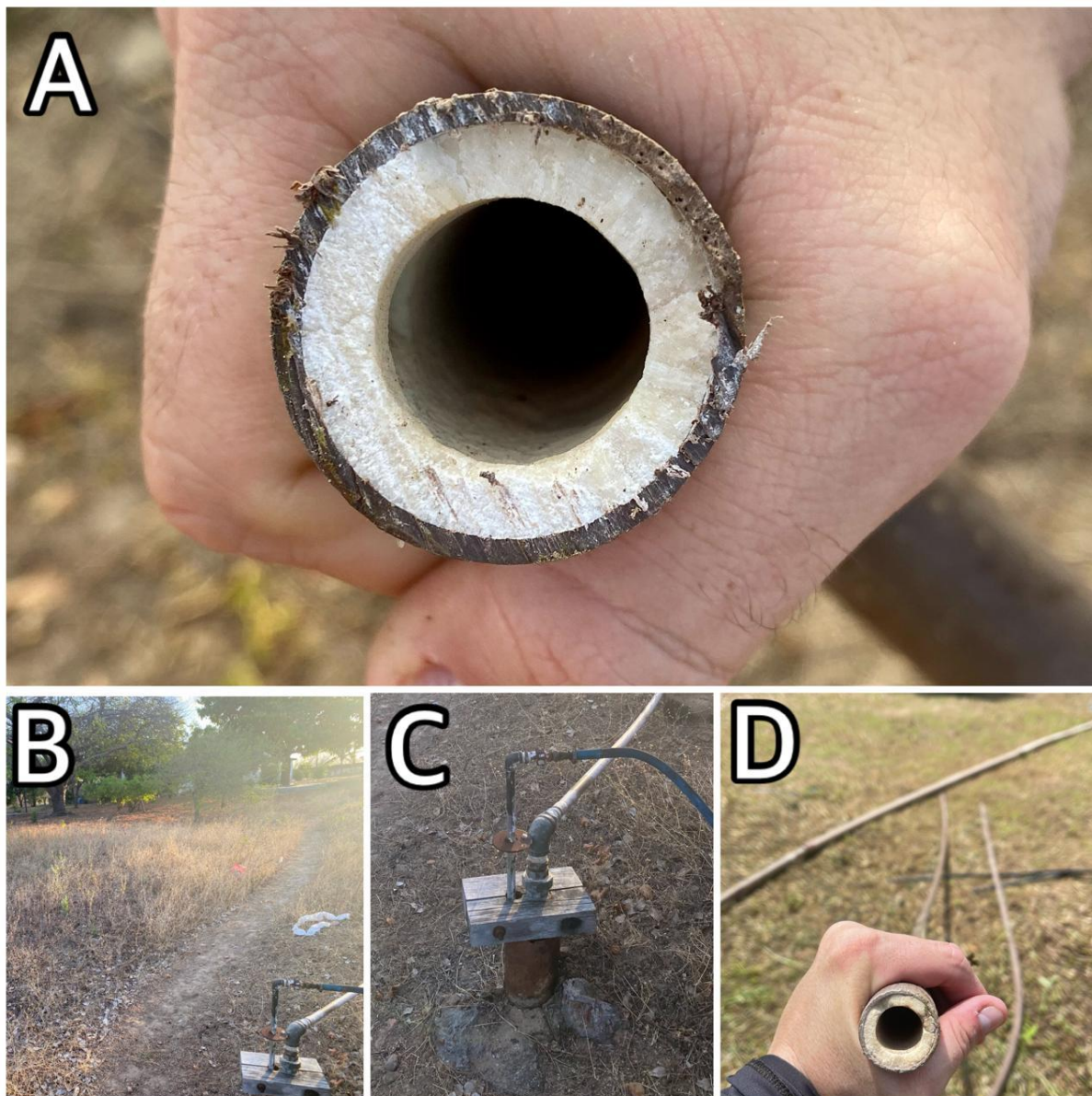
A carência de água é um acontecimento que a população cearense tem convivido ao longo de toda a sua história, mas que tem se evidenciado ao longo dos anos principalmente devido ao crescimento econômico e aumento populacional. Outro fator que pode ser apontado é a mudança climática global que pode causar grandes prejuízos ao abastecimento hídrico, tendo em vista a fragilidade do ecossistema da região. Essas limitações fazem com que haja uma demanda de recursos superior à oferta, tornando-o assim um recurso estratégico.

É de extrema necessidade e relevância a realização de pesquisas com a finalidade de procurar minimizar os problemas relacionados ao abastecimento de água e qualidade do recurso para proporcionar maior qualidade de vida para a população.

O poço em estudo é utilizado para o abastecimento de reservatórios de água para o consumo de animais da propriedade e é utilizado também como fonte de abastecimento para casas que estão localizadas nas proximidades da região.

Ao realizar a utilização desse método de abastecimento, tem-se notado grandes quantidades de minerais dispostos na água, o que está ocasionando a obstrução das encanações, impossibilitando assim a utilização plena desse recurso. A Figura 1 retrata bem os entupimentos apresentados na região.

Figura 1 - Amostra de tubulação da propriedade.



A: Corte na tubulação com incrustação de material. **B:** Entorno do poço. **C:** Saída da tubulação para o abastecimento. **D:** Tubulações da propriedade. Fonte: elaborada pelo autor, 2024.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é buscar identificar e analisar o material presente na água subterrânea, facilitando assim a utilização desse recurso para o abastecimento necessário na propriedade e na região.

Dado isso, os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- Realizar o estudo geológico da região;
- Realizar análise química da água do poço em questão;
- Analisar o sólido presente na tubulação;
- Avaliar todas as informações obtidas identificando o material;

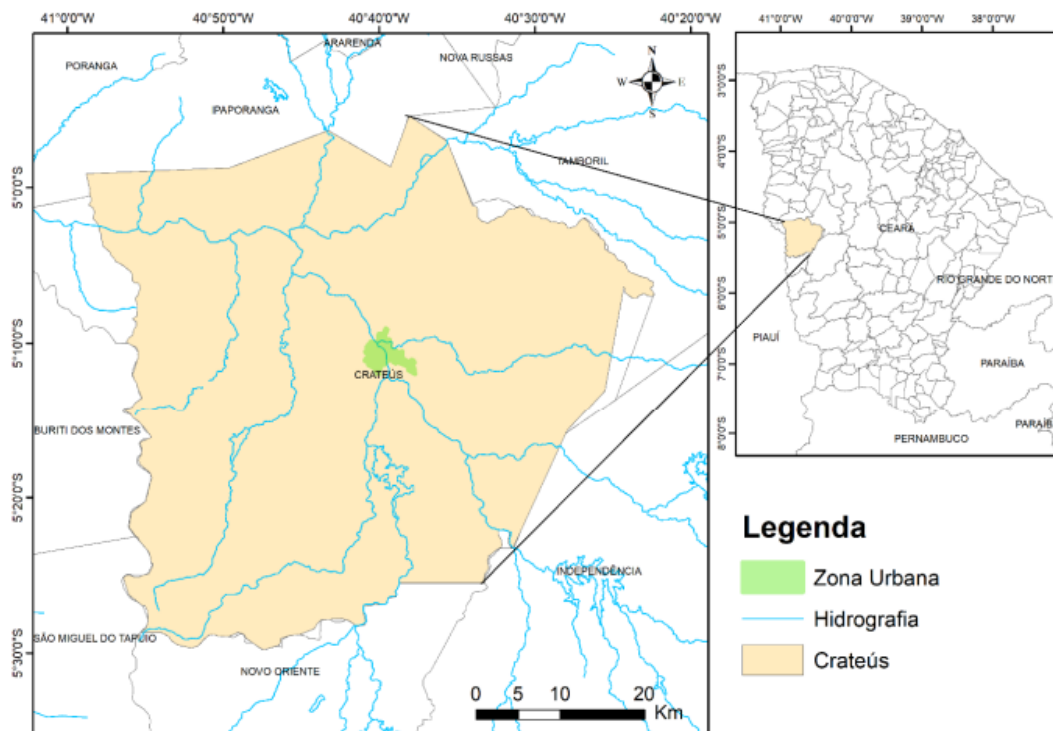
2. ÁREA DE ESTUDO

Neste tópico iremos contextualizar a área estudada que está inserida na região dos Sertões de Crateús, dando destaque aos aspectos geológicos e hidrogeológicos, aspectos fisiográficos e socioeconômicos.

2.1. Localização da Área

A cidade de Crateús está situada no extremo oeste do estado do Ceará, a 354 km de distância da capital (Fortaleza), e as principais vias de acesso à capital são as rodovias BR-020 e BR-226 (Figura 2). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município ocupa uma área de 2.985 km² com população em torno de 73.000 habitantes e desse total, 53.000 pessoas residem na área urbana e 20.000 na área rural. A densidade demográfica do município é de 24,37 hab./km², em relação ao estado do Ceará, que apresenta uma densidade de 60,94 hab./ km² (IBGE, 2019).

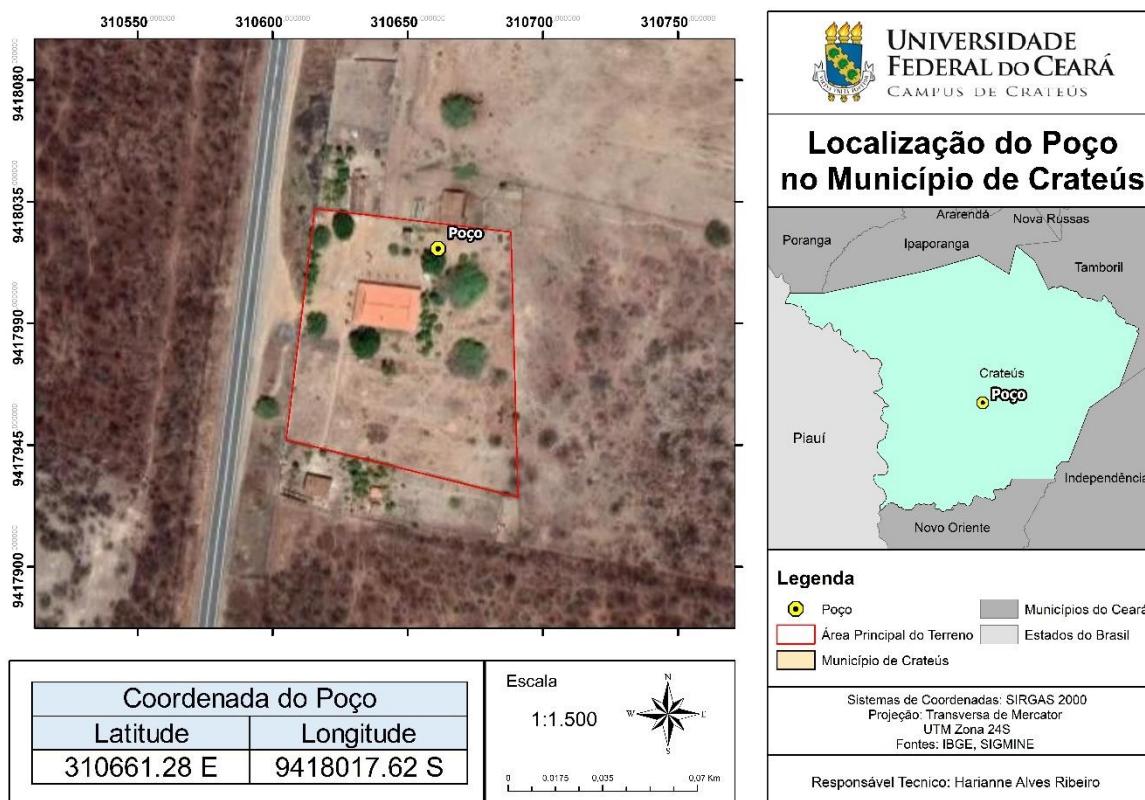
Figura 2 - Localização do município de Crateús – CE.



Fonte: Sousa, Teixeira e Sousa (2019).

O município faz fronteira com os municípios de Tamboril, Ipaporanga, Independência, Poranga, Novo Oriente e com o estado do Piauí. O poço em análise (Figura 3) está localizado na região dos Sertões de Crateús, estando localizado a aproximadamente 12 km da prefeitura municipal de Crateús, distante 360 km da capital do estado Fortaleza, em uma propriedade particular às margens da CE-187 que liga a cidade de Crateús à cidade de Novo Oriente.

Figura 3 - Localização do poço no município de Crateús – CE.



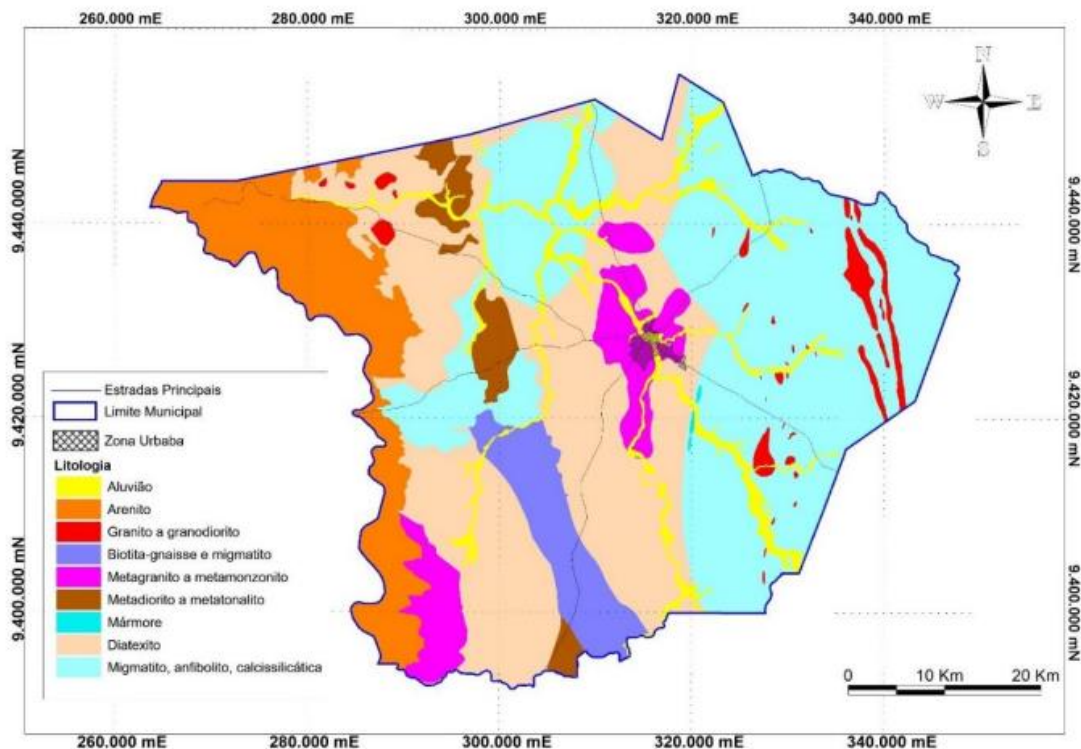
Fonte: elaborada pelo autor (2024).

2.2. Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos

Segundo dados disponibilizados pela CPRM (1998), a cidade de Crateús pode ser considerada com um arranjo geológico simples, com predominância de rochas cristalinas pré-cambriano, possuindo vários migmatitos, quartzitos e gnaisses. No oeste do município apresenta rochas da Formação Serra Grande, caracterizadas por arenitos com textura grossa, siltitos, caulínicos e folhelhos. Na Figura 4 observa-se toda a litologia do município.

Na geomorfologia do município de Crateús, as formas de relevo a leste e maior porção do território, são suaves e pouco dissecadas da depressão sertaneja, produto da superfície de aplainamento em atuação no Cenozóico. A oeste estabelece-se o planalto cuneteiforme da Ibiapaba, com altitudes próximas dos 700 m (BRASIL, 1998). Já a topografia é plana, com altitudes variando de 200 m a 500 m.

Figura 4 - Mapa geológico do município de Crateús – CE.



Fonte: Sousa, Teixeira e Sousa (2019).

As características hidrográficas da região dependem principalmente das formações geológicas e do regime de chuvas. Nesse regime, que é caracterizado como quente e semiárido, as chuvas variam tanto temporalmente, como espacialmente, formando assim as secas quando ocorre ausência de precipitações.

Na localidade de Crateús, segundo Monte (2014), o período com maior concentração de chuvas acontece nos primeiros cinco meses do ano, podendo ocorrer precipitações com mais de 500 mm a cada mês, tendo potencial de suceder-se grandes mudanças nas bacias hidrográficas da região em um curto período de tempo. Nos outros sete meses do ano, geralmente não há ocorrências de precipitações com grandes volumes ou significativas. Caracterizando assim as chuvas da região que são tipicamente características do semi-árido apresentando precipitações de formas concentradas e mal distribuídas, formando um regime hidrogeológico intermitente.

Com a irregularidade das chuvas constatada ao longo dos anos na área de estudo, a população que é bastante castigada pela ausência de água, procura

alternativas viáveis a fim de evitar perdas na agricultura, na criação de animais e no abastecimento de casas, causadas pela seca que assola a região.

2.3. Aspectos Fisiográficos e Socioeconômicos

O sertão nordestino tem a sua maior parte coberta por uma vegetação chamada caatinga, que é o único bioma genuinamente brasileiro. A caatinga se caracteriza por apresentar sobrevivência em ambientes secos, já que a água disponível é em curtos períodos de tempo, nas estações chuvosas e solos que são difíceis de acumular água. Com isso, a vegetação adapta-se às condições secas das regiões e resiste às épocas de maior e menor pluviometria.

Na região dos Sertões de Crateús destaca-se a floresta caducifólia espinhosa (Caatinga arbórea) apresentando como fisionomias: árvores altas, chegando a 20 m, caules retilíneos e um sub-bosque constituído por árvores menores, arbustos e sub-arbustos efêmeros. As principais espécies desta comunidade são a Braúna (*Schinopsis brasiliensis*) e Aroeira (*Astronium urunbeuva*). Outro tipo de Caatinga arbórea é constituída por indivíduos altaneiros, isolados de copas largas, com a mesma altura das árvores da comunidade anterior, no entanto, formam uma vegetação aberta em amplos espaços de solo descobertos ou apenas com plantas herbáceas, destaca-se o Angico-Vermelho (*Anadenanthea macrocarpa*) (CEARÁ, 2002).

Na fauna local, observam-se bandos de avoante (*Zenaida auriculata*), ocorrem ainda, o periquito da caatinga (*Aratinga cactorum*), o galo-de-campina (*Paraoria dominicana*) e o Cancã (*Cynocorax cyanopgon*). No domínio da caatinga também podem ser encontrados o preá (*Galea spixii*), cachorro-do-mato (*Dusicyon sp.*), tatus (*Tolypeutes tricinctus*) e gato-do-mato (*Felis yagourondi*). Répteis são comuns, predominando ofídios da família Colubridae (CEARÁ, 2002).

De acordo com dados disponibilizados pela CPRM, a principal atividade econômica da região consiste na cultura de subsistência de feijão, milho e mandioca, além de culturas de algodão, cana-de-açúcar, castanha de caju e várias frutas. Na pecuária, destaca-se a criação de bovinos, ovinos, caprinos e suínos e a criação de galinhas. A atividade pesqueira também tem destaque, embora seja realizada de forma rudimentar em açudes da região. Já o extrativismo vegetal baseia-se na

fabricação de carvão vegetal, extração de madeiras diversas para lenha e construção de cercas. E na área da mineração, embora de maneira inicial ainda, ocorre a extração de rocha para cantaria e brita para usos na construção civil.

Outras atividades econômicas que merecem destaque é a produção de origem animal que movimentam o mercado de leite e ovos. A produção de mel de abelha também é bem atuante no município e representa 5% da produção do estado (CEARÁ, 2019a).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Água Subterrânea

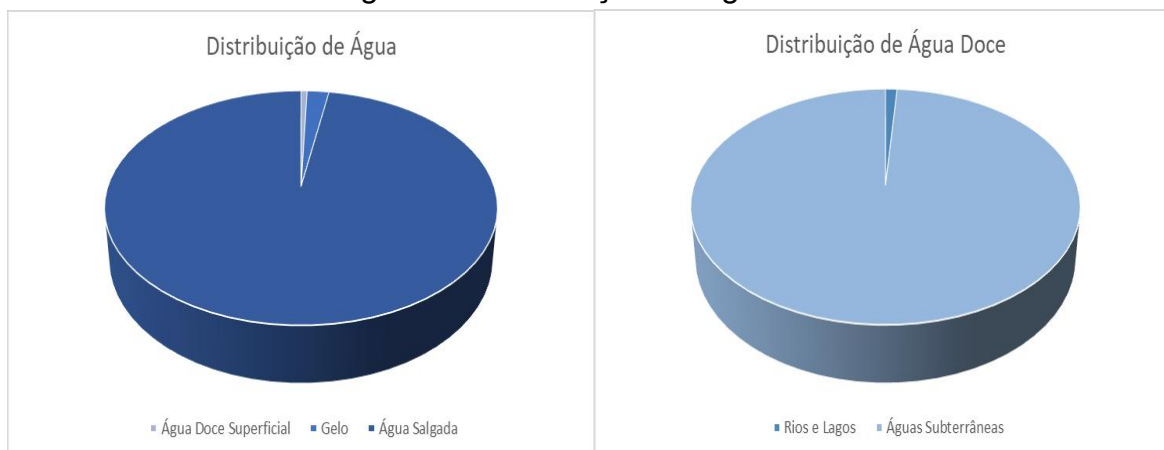
De acordo com Mota (2011), a água é um mecanismo indispensável para a sobrevivência e desenvolvimento de todas as espécies, sendo um recurso carente no semiárido nordestino. Apenas cerca de 0,6% de toda a água doce presente na Terra está disposta de forma líquida (Figura 5). Sendo que cerca de 98,85% dessa água está localizada em mananciais subterrâneos, entretanto, apenas metade desse recurso está localizado em uma profundidade atualmente acessível.

Devido às dificuldades já apresentadas ao longo deste trabalho, as populações pertencentes à áreas do semiárido nordestino tiveram a necessidade de buscar outras formas de abastecimento de água visando contornar o período de estiagem da região, que pode durar até oito meses.

Sendo assim, a água subterrânea se torna indispensável para a subsistência e o desenvolvimento das localidades, já que essas reservas podem ser acessadas nas temporadas mais difíceis de estiagem. O meio de acesso a essas águas se dá, na maioria dos casos, por poços que são escavados tanto por órgãos públicos (prefeituras, governo do estado, governo federal), como pela própria população em suas propriedades.

A vantagem desse meio é que o armazenamento da água se dá através dos anos ao longo da vida, ao contrário de lagos, açudes, rios e cisternas, que necessitam de um período chuvoso para realizar o seu abastecimento e o armazenamento do recurso.

Figura 5 - Distribuição de Água no Planeta.



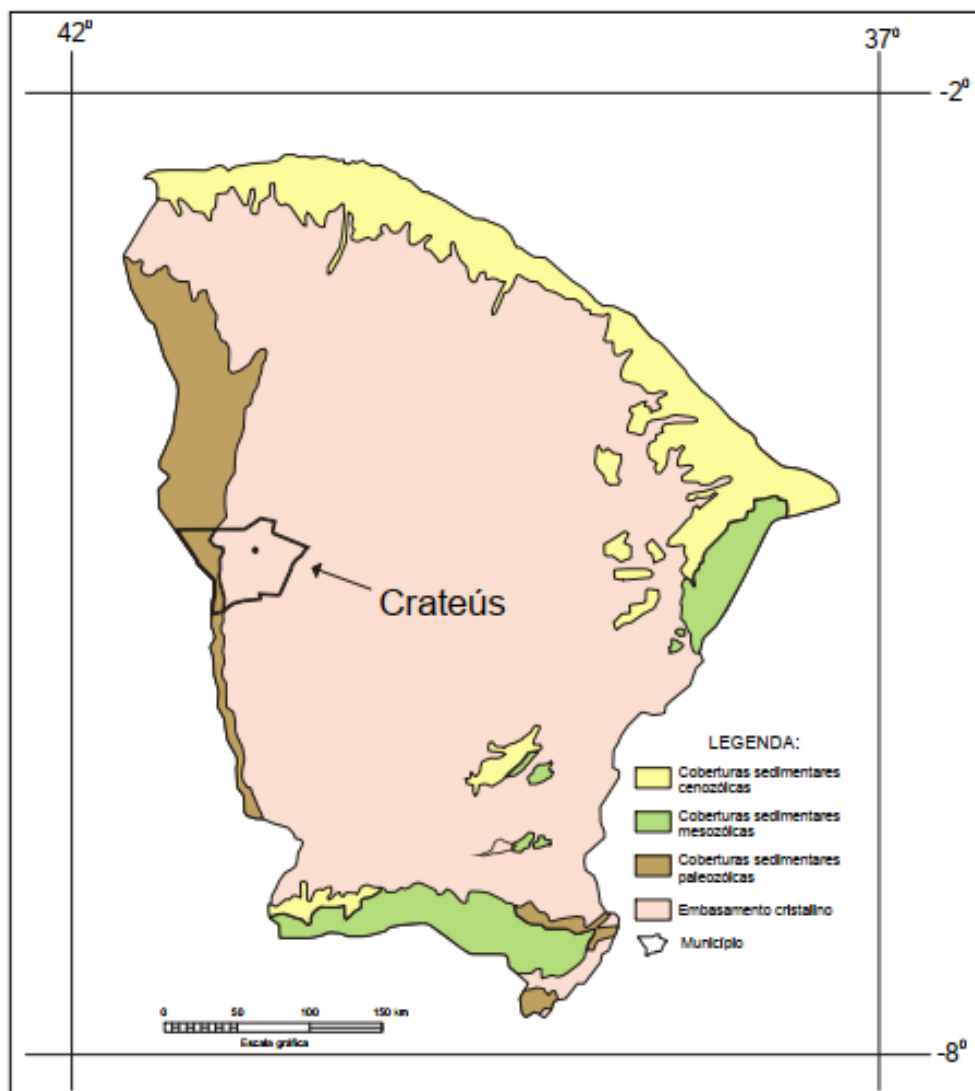
Fonte: Modificado de PENA (2023)

3.1.1. Água Subterrânea em Crateús

Em Crateús, o domínio hidrogeológico predominante é o Cristalino, que basicamente nesse tipo de formação, as rochas não apresentam porosidade primária, apresentando mais comumente uma porosidade secundária que é constituída por fendas e fraturas nas quais ocorre o acúmulo de água subterrânea. Devido a isso, os reservatórios são caracterizados como aleatórios, possuem pequenas extensões e são descontínuos (BRASIL, 1998).

Na região de Crateús também temos sedimentos pertencentes à Formação Serra Grande que possui como característica rochas sedimentares com grande silicificação, apresentando também características fissurais, tendo a recarga e o armazenamento dependente de fraturas e falhas. (CEARÁ, 2016). Na figura 6 observa-se bem a relação dos domínios hidrogeológicos na região.

Figura 6 - Localização do município de Crateús em relação aos domínios sedimentares e cristalinos do estado do Ceará.



Fonte: BRASIL (1998).

De acordo com dados do IBGE (1996), os principais meios de obtenção de águas subterrâneas na região se dá através de poços tubulares e em terrenos com maior intemperismo utilizam-se também cacimbas. Obtendo uma vazão média nos poços de $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Isso se dá devido a área da Depressão de Crateús estabelecer um sistema fissural no qual as melhores condições são vistas em zonas que apresentam cursos de rios e zonas com forte intemperismo e decomposição relacionada à fraturas. Esse sistema fissural dificulta o acúmulo de água em uma quantidade maior, devido às fraturas não serem profundas o suficiente e possuírem pouca abertura e as recargas das estruturas só acontecem através de rios e riachos que coincidem com essas fraturas em períodos de precipitação.

3.2. Qualidade das Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas a partir do momento que se infiltram no solo podem sofrer algumas alterações na sua composição, tendo materiais dissolvidos na sua composição ao longo do fluxo que essa água percorre e também nos pontos de carga e descarga, resultando assim em uma água natural que possui sólidos totais dissolvidos (STD).

De acordo com Richter; Kreitler (1993), esses altos teores de materiais dissolvidos podem ser explicados através de alguns fatores como o aumento contínuo da salinização da água presente no solo, causado pela alta taxa de evaporação e uma menor taxa de precipitação, causando uma maior evaporação da água do que recarga da reserva, concentrando assim o material. Outro fator que pode justificar essa presença de material é a dissolução e a dispersão dos materiais que estão presentes na rocha através da circulação de água meteórica nas fraturas apresentadas na região.

Ainda de acordo com Richter; Kreitler (1993), a salinização das águas subterrâneas, que como já relatado anteriormente, é o aumento da concentração de STD nas águas, é a maneira mais disseminada de contaminação dessas águas, podendo ocorrer de forma natural ou devido à ação do ser humano. Como por exemplo na construção de poços de forma inadequada, que podem acabar ocasionando ligações entre aquíferos de água salina com aquíferos de água doce, ocorrendo a contaminação por mistura das águas. Outro exemplo é a contaminação dessas águas subterrâneas através da disposição de forma inapropriada de resíduos que possam conter ou liberar soluções que infiltrem no solo, causando assim a contaminação.

Cada autor pode variar a sua classificação de água subterrânea de acordo com o valor de concentração de STD em miligramas por litro, podendo variar os termos utilizados de um autor para outro, como evidenciado nos quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Classificação da água subterrânea conforme a concentração de STD, com base em Robinove, Langford e Brookhart.

Classificação	STD (mg/L)
Doce	0 - 1.000
Levemente salina	1.000 - 3.000
Moderadamente salina	3.000 - 10.000
Muito salina	10.000 - 35.000
Salgada	>35.000

Fonte: Robinove; Langford; Brookhart (1958 apud RICHTER; KREITLER, 1993).

Quadro 2 - Classificação da água subterrânea conforme a concentração de STD, com base em Freeze e Cherry

Classificação	STD (mg/L)
Doce	0 - 1.000
Salobra	1.000 - 10.000
Salina	10.000 - 100.000
Salmoura	>100.000

Fonte: Freeze; Cherry (1979 apud RICHTER; KREITLER, 1993).

Para Zoby (2008), a grande quantidade da água subterrânea salina presente no semiárido nordestino se dá justamente pela baixa quantidade de chuvas na região, as chuvas arrastam os sais que acabam se acumulando nas fraturas presentes, mas não possui força suficiente para realizar a lixiviação, já que possui uma circulação lenta. A alta taxa de evaporação possui grande parcela no acúmulo destes sais, fazendo com que as águas que penetrem no solo e acumulam-se nas fraturas se tornem ricas em sais.

Ainda conforme Zoby (2008) os principais fatores que determinam a exploração dos aquíferos é a acessibilidade a recursos hídricos subterrâneos e a eficácia de poços de acordo com a sua produtividade. Entretanto, em terrenos cristalinos que os poços são alocados em fraturas isoladas, pode ocorrer grande variação de STD de uma fratura para outra, tendo assim problemas na qualidade da água. Em virtude disso, tecnologias são aplicadas para realizar a remoção desses sais, como por

exemplo o uso de dessalinizadores que colaboram para o melhoramento da qualidade da água subterrânea.

Para avaliar a qualidade da água e caracterizá-la como boa é essencial tomar conhecimento de propriedades físicas e químicas que caracterizam essa água. Algumas dessas propriedades estão relacionadas com o pH, o teor dos íons carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-) apresentados na composição, por exemplo.

O pH é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações e pelo equilíbrio entre os íons presentes. A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5 e em casos excepcionais pode variar de 3,0 a 11,0. A quantidade relativa de íons carbonato em uma água é função do pH e do conteúdo de gás carbônico dissolvido. Em águas naturais doces, a quantidade de carbonato será muito baixa em comparação a de bicarbonato (FEITOSA, 2000).

O carbonato é indesejável em águas para a irrigação, pois sua presença na forma de carbonato de sódio é altamente tóxica para os vegetais. Quando o pH de uma água for igual ou superior a 10, o carbonato excederá o bicarbonato (LOGAN, 1965).

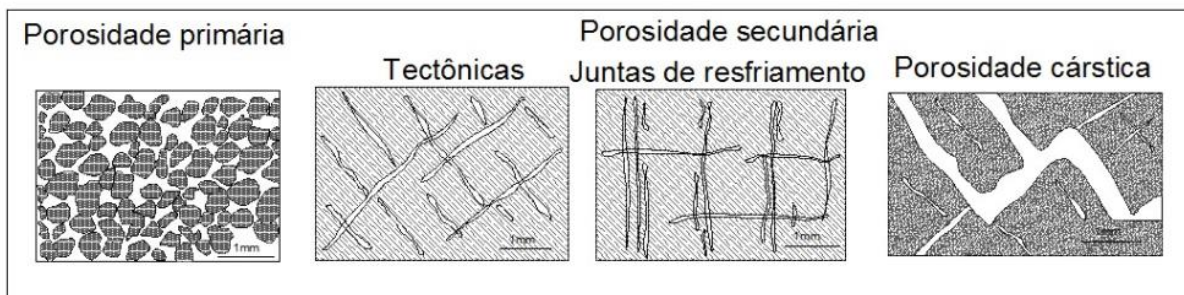
O íon bicarbonato não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como carbonato de cálcio (CaCO_3). Varia entre 50 e 350 mg/L em águas doces, podendo chegar a 800 mg/L. É benéfico aos vegetais, principalmente na forma de bicarbonato de cálcio (FEITOSA, 2000).

3.3. Formas de Ocorrência da Água Subterrânea em Terrenos Cristalinos

De acordo com Feitosa & Filho (2000), as principais propriedades que definem um aquífero são porosidade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica.

A quantidade de água que a rocha consegue armazenar vai depender da porosidade que cada rocha apresenta. Porosidade pode ser definida como o percentual de espaços vazios que a rocha possui, nesses vazios é onde a água será armazenada, podendo ser classificada como primária ou secundária. A Figura 07 exemplifica a classificação da porosidade.

Figura 7- Tipos de porosidade



Fonte: Karmann, 2009 (Adaptado)

A porosidade primária é caracterizada pelos espaços entre os grãos que ocorrem nas rochas vulcânicas e sedimentares. Já a porosidade secundária é caracterizada pelas fraturas e falhas que ocorrem ao longo do tempo nas rochas.

Em terrenos cristalinos podemos caracterizar três tipos de episódios de água subterrânea, sendo do tipo Riacho-Fenda (Siqueira, 1963), o tipo Elúvio-Aluvionar (Avelino da Silva, 2000; Nascimento da Silva et al, 2001) e o modelo de Bolsões ou Câmara de Intemperismo (Coriolano, 2002), são modelos já bem conceituados pela literatura, sendo o modelo Riacho-Fenda o mais utilizado atualmente para a prospecção deste recurso, pois utilizando esse modelo há uma maior chance da exploração de poços com melhores vazões.

Para se obter a identificação de cada modelo, na grande maioria das vezes é necessário a realização de estudos e análises topográficas, litológicas e das redes de drenagens, por exemplo. Sendo essas análises, realizadas através da utilização de mapas e imagens obtidas por satélites, levantamento de campo, são utilizados também aviões de pequeno porte, com câmeras acopladas que realizam fotografias aéreas da área.

3.3.1 Modelo Riacho-Fenda

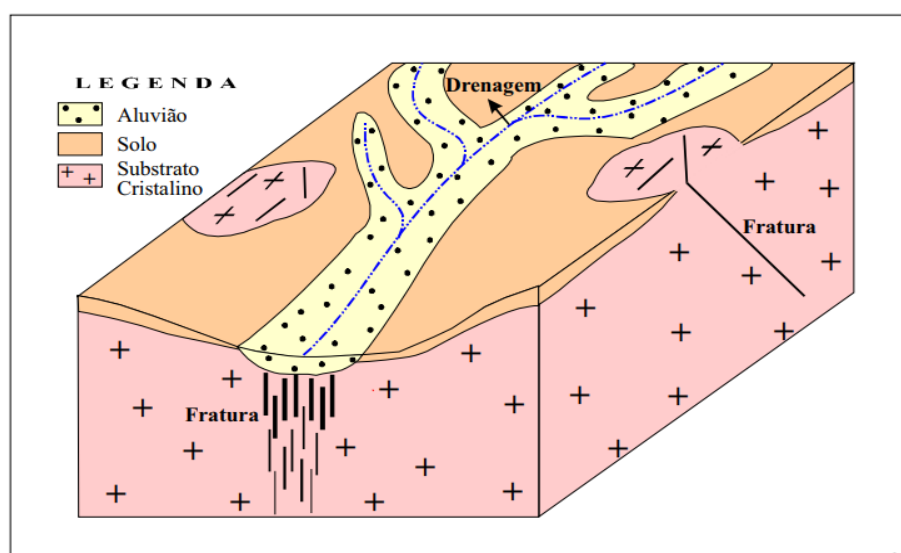
Siqueira (1963) constatou através de fotografias aéreas que, uma fenda quando se estende por diversos quilômetros, possui quase sempre outras fendas menores paralelas a esta maior, com poucos quilômetros de extensão. E ainda

paralela a estas menores, ocorriam fendas ainda menores, sendo classificadas de terceira categoria. Sendo a fenda maior chamada de fenda-mestre.

Nesse modelo pode-se observar que as drenagens superficiais presentes nesses terrenos cristalinos combinam com as zonas de fraturas existentes, desse modo formam condições mais favoráveis para a infiltração da água no terreno, conseqüentemente um melhor armazenamento de água mesmo em regiões que ocorram baixas precipitações ao longo do ano. Na (Figura 8) pode-se observar de forma mais exemplificada como ocorre essas combinações entre fraturas e drenagens, demonstrando que as fraturas são concordantes com a rede de drenagem presentes tanto na superfície como embaixo da terra.

Embora esse método seja o mais comum utilizado em zonas de fraturas, ele oferece grande risco na perfuração de poços, tendo grandes chances de ocorrer perfurações nas quais não atingem zonas preenchidas com água.

Figura 8- Modelo Riacho-Fenda.



Fonte: Modificado por Nascimento da Silva (2001)

3.1.2. Modelo Elúvio-Aluvionar

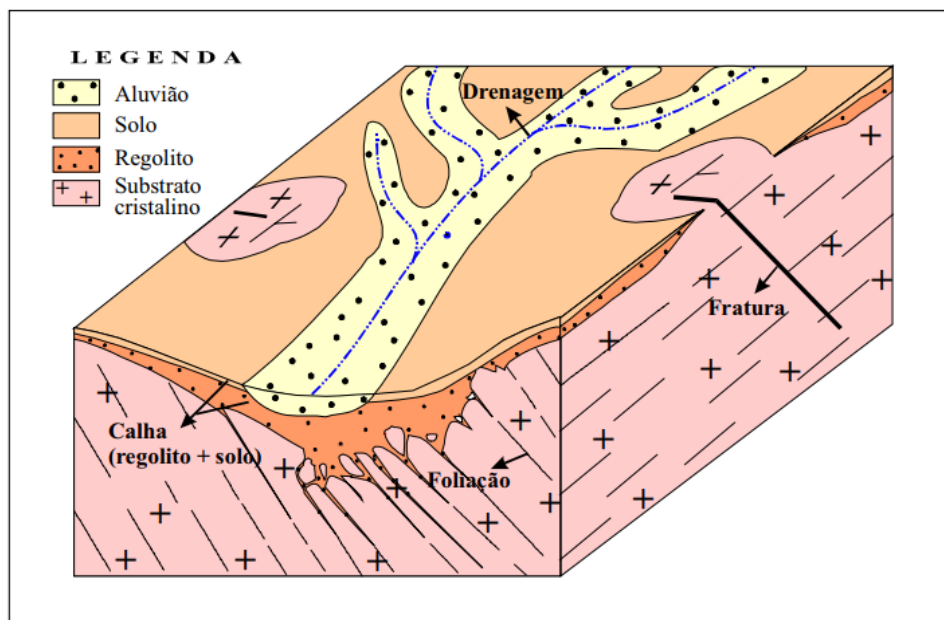
Silva (2000), em suas análises de campo, percebeu que nem sempre uma drenagem retilínea representava realmente uma zona fraturada, sendo essas análises sustentadas por dados obtidos através de geofísica que evidenciaram a não

existência da fratura no mesmo sentido do riacho, como podemos observar na (Figura 9).

Foi verificado uma estrutura formando uma “mini bacia” que possuía em sua composição grande quantidade de regolito e aluvião, que foram desenvolvidas pela estrutura de foliação apresentada na rocha ou outra condição de anisotropia, ou seja, à proporção que o intemperismo agia sobre a rocha, ocorria uma alteração e abertura dos planos de foliação, fazendo com que assim a estrutura se desenvolvesse.

Sendo assim, uma maior vazão do poço nessas regiões estão diretamente relacionadas com a ação do intemperismo que aumenta a porosidade e a permeabilidade do local, permitindo assim um acúmulo maior de água e uma maior área de recarga.

Figura 9- Modelo Elúvio-Aluvionar.



Fonte: Modificado por Nascimento da Silva (2001)

3.1.3. Modelo Bolsões ou Câmaras de Intemperismo

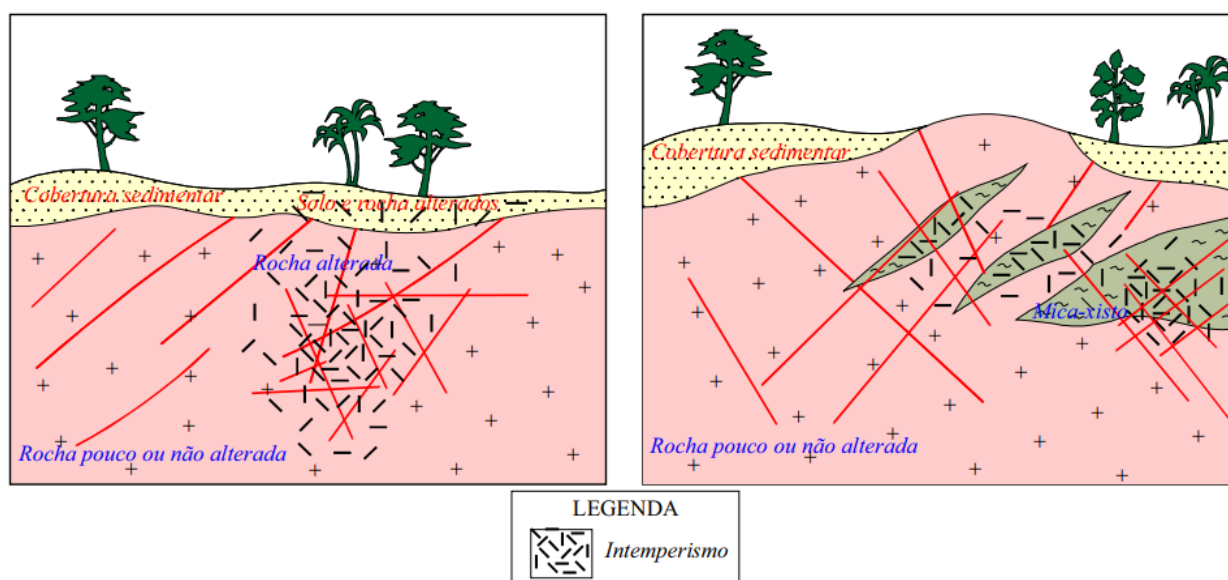
Nesse modelo leva-se em consideração o comportamento das fraturas e de algumas outras variações de descontinuidades em relação à atuação do intemperismo na região, já que uma região que apresenta diversas fraturas aumenta

a propensão a um intemperismo mais acentuado, de modo consequente ocorrência do aumento da permeabilidade e da porosidade da rocha. Representando assim um fator de grande importância para a infiltração, circulação e armazenamento de água subterrânea, como podemos observar na Figura 10 (a).

Pode-se ocorrer também quando litologias diferentes estão em contato, na qual uma das litologias é mais sensível ao processo de intemperismo do que a outra. Sendo assim, o intemperismo vai agir de forma diferente de acordo com cada litologia, facilitando o desenvolvimento de zonas mais porosas e permeáveis em litologias mais alteradas, como podemos verificar abaixo na Figura 10 (b).

Dessa forma, desenvolvem-se bolsões ou câmaras de intemperismo abaixo do solo (Coriolano, 2002), favorecendo o surgimento de poços com altas vazões.

Figura 10 - Modelo Bolsões ou Câmaras de Intemperismo



Fonte: Coriolano, (2002).

3.2. Métodos de Construção de Poços em Terrenos Cristalinos

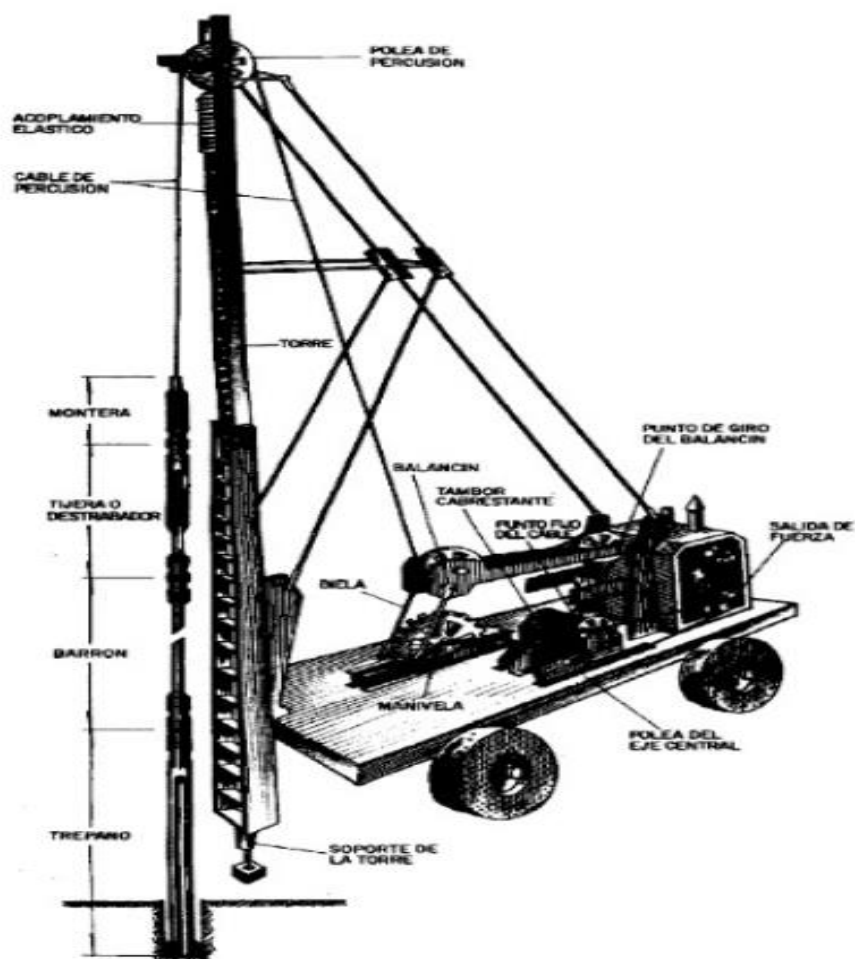
Os poços são estruturas muito importantes para a obtenção de água em áreas urbanas e principalmente em áreas rurais. Em terrenos cristalinos, essa construção é desafiadora, devido à complexidade geológica apresentada nessas rochas. Mas, existem vários métodos para realizar essas construções, podendo ser divididos em dois tipos: perfuração e escavação. A escolha de qual método será utilizado

dependerá das condições geológicas de cada local e também das necessidades de cada projeto.

A perfuração do poço pode ser executada com máquinas percussivas, rotativas ou rotopneumáticas, podendo ser utilizados individualmente ou combinados, dependendo das vantagens e desvantagens de cada um deles. Os condicionantes para escolha são: tipo de formação, profundidade, diâmetros, etc. (FUNASA, 2018).

A perfuração percussiva tem como princípio erguer e em seguida deixar cair um conjunto de equipamentos com elevado peso. É utilizada quando a água é armazenada em terrenos que já possuem falhas ou fraturas, geralmente adequado para pequenos diâmetros. Na figura 11 exemplifica um sistema de perfuração percussiva.

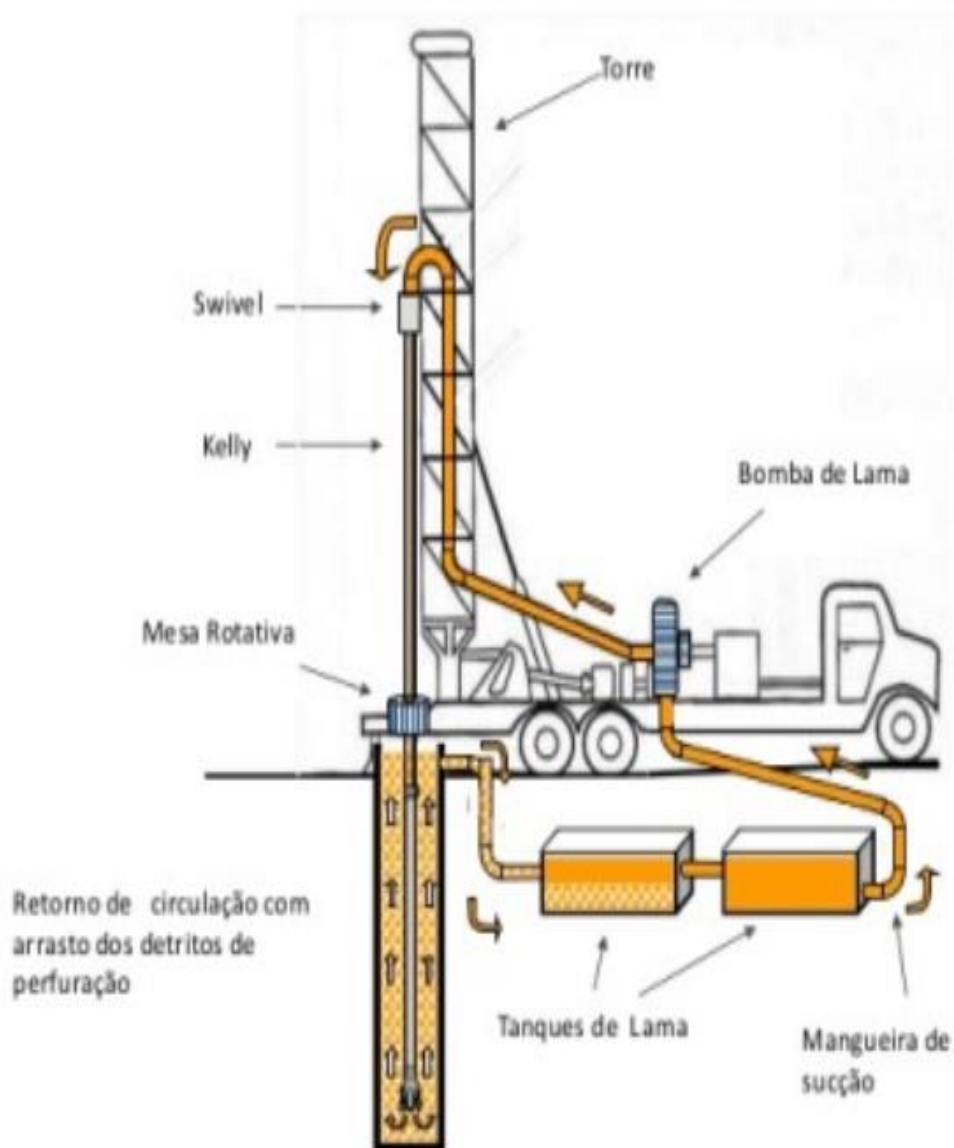
Figura 11- Sistema de perfuração percussiva.



Fonte: CPRM (1998)

A perfuração rotativa utiliza brocas (Figura 12), para realizar a atividade, sendo o material triturado e desagregado com o movimento rotativo que a broca realiza. É utilizado para grandes profundidades e em sua maior parte em terrenos sedimentares não consolidados, geralmente empregadas para grandes diâmetros. A figura 12 mostra os componentes do sistema de perfuração rotativo.

Figura 12- Sistema de perfuração rotativo



Fonte: CPRM (1998)

A broca de diamante é composta por um material bem resistente que é incrustado com diamantes sintéticos, que podem variar de tamanho de acordo com as especificações da broca. A perfuração com esse tipo de broca se dá através do corte da rocha, a coroa realiza o corte à medida que gira, sendo muito eficaz em materiais mais duros, pois seus diamantes possuem uma das maiores durezas e pontas angulosas na qual realizam o corte dos materiais. À medida que esses cortes são realizados, as angulações dos diamantes vão sendo diminuídas até perderem seu poder de corte. Quando isso acontece, dependendo do grau de desgaste, os diamantes podem ser substituídos, prolongando assim a vida útil da broca. Na figura 13 exemplifica alguns modelos de brocas utilizadas.

Figura 13 - Principais tipos de brocas rotativas



Fonte: Smith Bit, (2011).

A perfuração a roto-pneumática utiliza um martelo de alto impacto e uma broca que gira ao mesmo tempo que aplica-se uma força na rocha, fazendo assim a trituração e o desgaste do material. Um fluido é utilizado para transportar o material

do fundo do furo até a superfície, geralmente ar comprimido injetado por um compressor, esse fluido passa por dentro da coluna de perfuração.

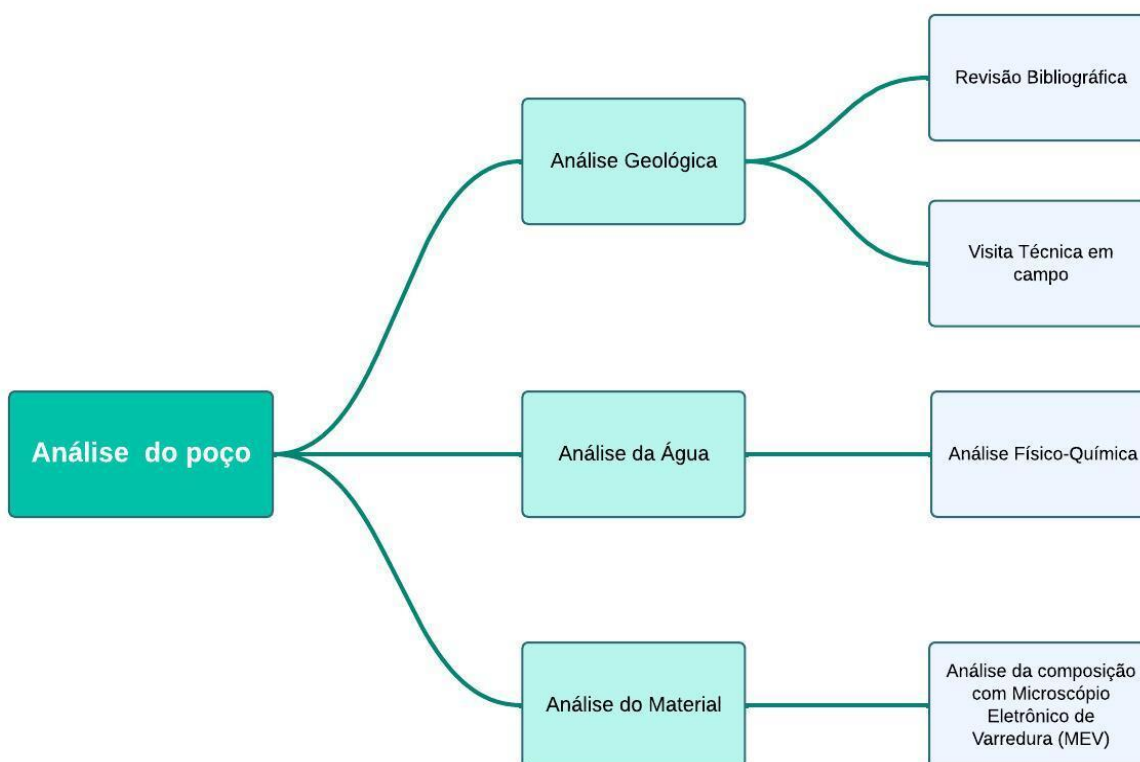
Já a escavação pode ser realizada de forma manual ou com um equipamento especializado, como um escavador de rocha, que possui vários modelos no mercado com acessórios específicos que são escolhidos de acordo com cada necessidade do terreno. Esse método é utilizado em rochas na qual a dureza é bastante elevada, ou quando há alguma restrição na área de construção do poço, sendo um processo mais lento e trabalhoso se comparado com a perfuração.

4. METODOLOGIA

4.1. Fluxograma

A análise do poço se dará em três etapas: análise geológica, análise da água e análise do material, como mostra o fluxograma da figura 14.

Figura 14- Fluxograma da análise do poço.



Fonte: elaborada pelo autor, (2023).

A análise geológica consiste na realização de revisão bibliográfica da área, visando a obtenção de informações complementares pré-existentes para entendimento da situação geológica local. Já as visitas técnicas na localidade, tem como objetivo a coleta de materiais para a realização de análises laboratoriais, e a comprovação de informações já obtidas através das pesquisas bibliográficas.

A análise da água consiste na obtenção de informações através da análise físico-química, análise do pH e a análise de particulado. A análise de particulados consiste na análise laboratorial para a determinação das partículas presentes em suspensão, ou dissolvidas na água. A análise de pH visa a determinação da qualidade

da água, podendo adequar as culturas na região com espécies mais favoráveis com as características da água. Já a análise físico-química, que é realizada em laboratório, obtém informações sobre coloração, cheiro, sabor, presença de microrganismos, substâncias químicas que podem afetar a qualidade do recurso e a saúde da população que o utiliza para consumo.

A análise do material será realizada com microscópio eletrônico de varredura (MEV) com a utilização de EDS para análise da composição. O princípio do MEV com EDS consiste na emissão de um feixe de luz que interage com o material, são emitidos vários feixes varrendo o material, no qual os elétrons emitidos reagem com a amostra e retornam imagens que podem indicar as informações morfológicas, impurezas presentes entre outras características.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

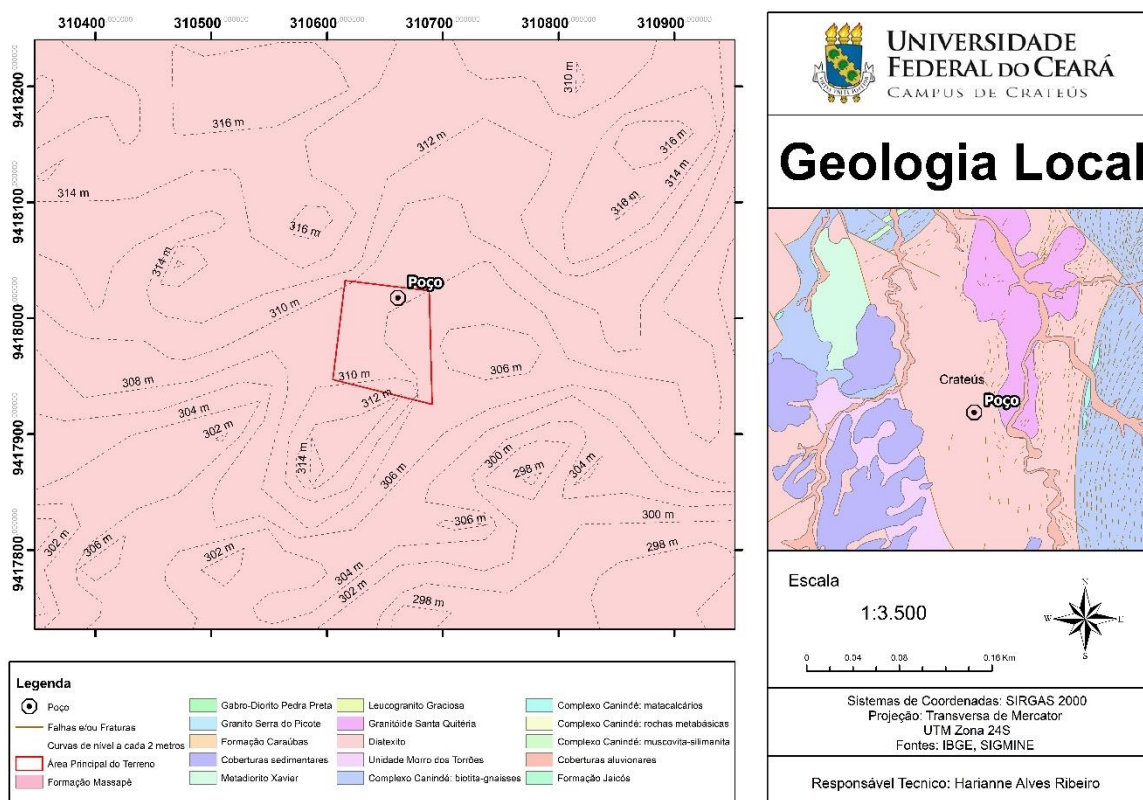
Neste capítulo são apresentados os resultados dos trabalhos realizados e discussões pertinentes relacionadas a análises feitas na área que o poço está localizado, análise físico-química da água coletada e análise de microscopia eletrônica do material incrustado nas tubulações.

5.1. Análise Geológica

A análise geológica foi composta por levantamentos prévios sobre relevo, formação e características geológicas, seguido por visitas em campo para coleta de materiais e comprovação do levantamento geológico.

O mapa apresentado na figura 15 caracteriza as formações geológicas presentes na área de interesse e seu entorno.

Figura 15 - Mapa da geologia local.



Fonte: elaborada pelo autor, (2024).

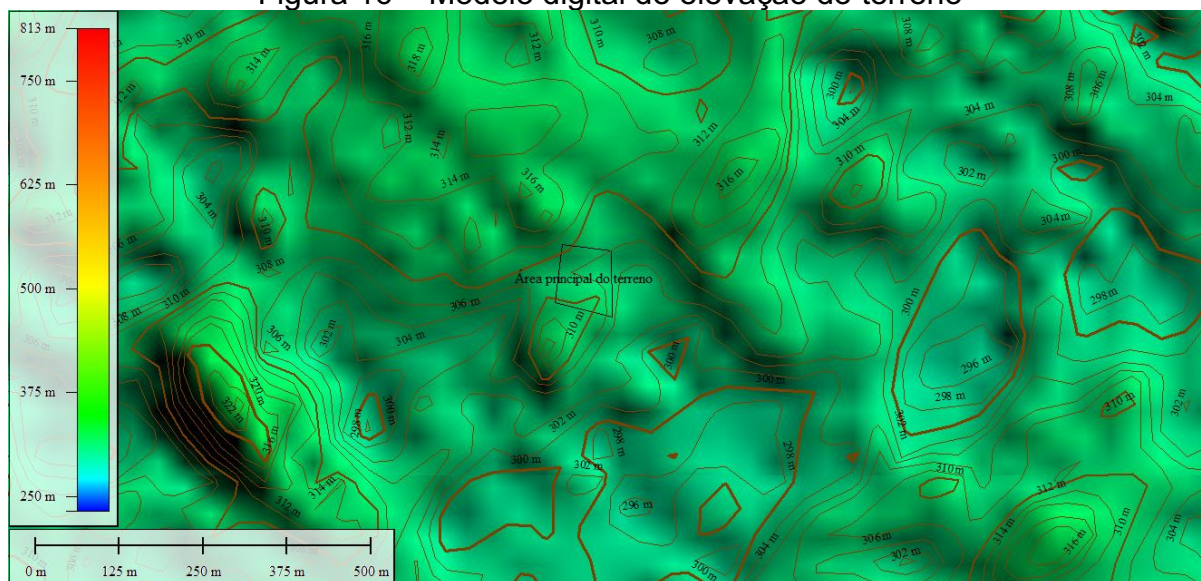
A unidade Diatexitos é caracterizada pelo domínio granito-migmatítico, sendo grande parte composta por migmatitos em estágio bastante avançado de anatexia.

Normalmente este domínio de diatexitos apresenta características de resfriamento em condições dinâmicas, marcadas pelo paralelismo entre a fase neoformada e o paleossoma, gerando foliação de fluxo concordante com estruturação regional de baixo ângulo. Mineralogicamente, apresenta biotita como principal mineral máfico e microclínio como feldspato mais abundante. Nas descrições petrográficas, estas rochas revelam composição granítica a monzogranítica. Enquanto que os enclaves são mais primitivos, de composição intermediária. (CPRM, 2017)

Por serem rochas resultantes de processos de fusão parcial e recristalização, os diatexitos têm uma estrutura densa e com poucos espaços vazios, resultando em baixa porosidade.

Dado isso, a região é caracterizada por poços com baixas vazões, devido à falta de espaços intergranulares suficientes, dificultando a permeabilidade e a circulação de água subterrânea. Entretanto devido a essas características, eles podem atuar como barreiras naturais, ajudando a concentrar o fluxo de água subterrânea em zonas mais permeáveis que estejam próximas ou em zonas que apresentam falhas e/ou fraturas.

Figura 16 – Modelo digital de elevação do terreno



Fonte: elaborada pelo autor, (2024).

Analisando o modelo digital apresentado (Figura 16), podemos inferir que a área do terreno apresenta uma elevação moderada, tendo relevo suave. Áreas mais baixas podem atuar como bacias de drenagem, acumulando água e favorecendo a presença de água subterrânea.

A atividade de campo foi realizada em maio de 2023, ocorrendo no decorrer de um dia e em junho de 2024 também com período de um dia. Nas ocasiões foram possíveis verificar as características da área, bem como realizar coletas de água e material para análises e identificação da geologia presente.

As imagens a seguir realizadas durante o trabalho de campo, comprovam o relevo suave e a elevação moderada que os estudos preliminares indicam. As figuras 17 e 18, evidenciadas pela vegetação castigada pela seca, mostram a suave ondulação apresentada no entorno do local onde está o poço e sua casa de captação.

Figura 17 – Imagem do entorno da casa de captação.



Fonte: Autora, (2024).

Figura 18 – Imagem do entorno da casa de captação.



Fonte: Autora, (2024).

A figura 19 a seguir mostra a suave diferença de elevação apresentada no terreno da localização do poço para a casa principal da propriedade que está as margens da CE – 188.

Figura 19 – Imagem do entorno da casa de captação.



Fonte: Autora, (2024).

De acordo com informações obtidas com moradores, o poço apresentava boa vazão e está operando a mais de 15 anos, entretanto ao longo do tempo vem diminuindo a sua vazão e aumentando a quantidade de material incrustado.

Com base nessas informações, podemos inferir que a área não apresenta condições muito propícias para perfuração de poços, considerando que a geologia apresentada na região do poço em questão não está localizada em zonas de falhas e/ou fraturas.

5.2. Análise Físico – Química

A análise físico-química realizada no laboratório VerdeLab, em anexo, fornece uma visão detalhada da qualidade da água do poço analisado. A amostra foi coletada no ponto mais próximo ao poço, após aproximadamente duas horas que a bomba estava em funcionamento, incumbindo-se que a água estagnada na encanação já

havia sido utilizada, assegurando que a amostra represente as condições naturais do aquífero.

No quadro 3 a seguir estão os parâmetros analisados e os resultados obtidos.

Quadro 3 – Análise físico-química da amostra de água

ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA		
Parâmetros	Resultados	Un Trab
Alcalinidade Parcial	<0,01	mg/L
Alcalinidade Total	385,00	mg/L
Amônia	<0,01	mg/L
Aspecto	Límpido	Visual
Cálcio	102,40	mg/L
Cloretos	248,50	mg/L
Cloro Residual Livre	<0,01	mg/L
Condutividade	1.635,00	µS/cm
Cor Aparente	2,00	PCU
Dureza Total	444,00	mg/L
Ferro	0,37	mg/L
Gosto e Odor	Não Objetável	Intensidade
Magnésio	45,12	mg/L
Nitrato	14,80	mg/L
Nitrito	<0,01	mg/L
pH	7,68	pH
Potássio	10,27	mg/L
Sódio	102,00	mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais	818,00	mg/L
Sulfato	99,90	mg/L
Turbidez	1,20	NTU

Fonte: VerdLab, (2024).

A amostra de água apresenta-se como uma água mineral de boa qualidade, rica em minerais essenciais como cálcio, magnésio e potássio, não apresenta concentrações perigosas de contaminantes como amônia, nitritos e nitratos. Entretanto possui alta dureza, elevados níveis de cloretos e alta condutividade, podendo ser identificada como água dura.

Levando em consideração a Portaria MS nº 888/2021, que é a portaria que estabelece o padrão de potabilidade de água para consumo humano comercializável, definindo limites de substâncias químicas e biológicas que podem estar presentes em água comercializadas garantindo a saúde pública, a água em análise não se enquadra nos parâmetros exigidos.

Parâmetros como nitrato, cujo limite estabelecido é de 10 mg/L, foram encontrados em uma concentração de 14,80 mg/L, ultrapassando o valor permitido. O ferro, com limite máximo de 0,3 mg/L, apresentou um valor de 0,37 mg/L na amostra. Já a condutividade elétrica, que tem um limite permitido de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, foi registrada em 1635 $\mu\text{S}/\text{cm}$, também acima do recomendado. Outro parâmetro que se aproxima do limite é o cloreto, cuja concentração na amostra foi de 248,50 mg/L, muito próxima ao limite máximo de 250 mg/L permitido pela legislação.

Outros fatores como a alcalinidade total e dureza total, não possuem limites estabelecidos por essa portaria, entretanto altos valores de alcalinidade podem impactar no sabor da água e altos valores da dureza total classificam a água como muito dura interferindo na eficiência de sabões e detergentes.

Já levando em consideração a Resolução CONAMA n°37/2005, que classifica a qualidade das águas de acordo com seu uso, tendo limites diferentes estabelecidos para cada classe de água, os resultados da análise físico-química apresentados, podem enquadrá-la na Classe 3 das águas doces.

A condutividade elétrica de 1635 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é o fator decisivo para o enquadramento da amostra na Classe 3, já que o limite permitido pela Classe 1 é de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e para a Classe 2 de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Águas classificadas segundo a Resolução CONAMA como Classe 3 podem ser utilizadas para irrigação, dessedentação de animais e para ser utilizada em função do abastecimento humano, somente após tratamento avançado.

5.3. Análise do Material (MEV)

A análise com MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) com EDS realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica do setor de geologia da Universidade Federal do Ceará, tem como base a emissão de um feixe de elétrons que varre a superfície do material, de forma que os elétrons presentes reagem com a amostra, gerando sinais que são captados por detectores, em seguida convertidos em imagens e a composição da superfície.

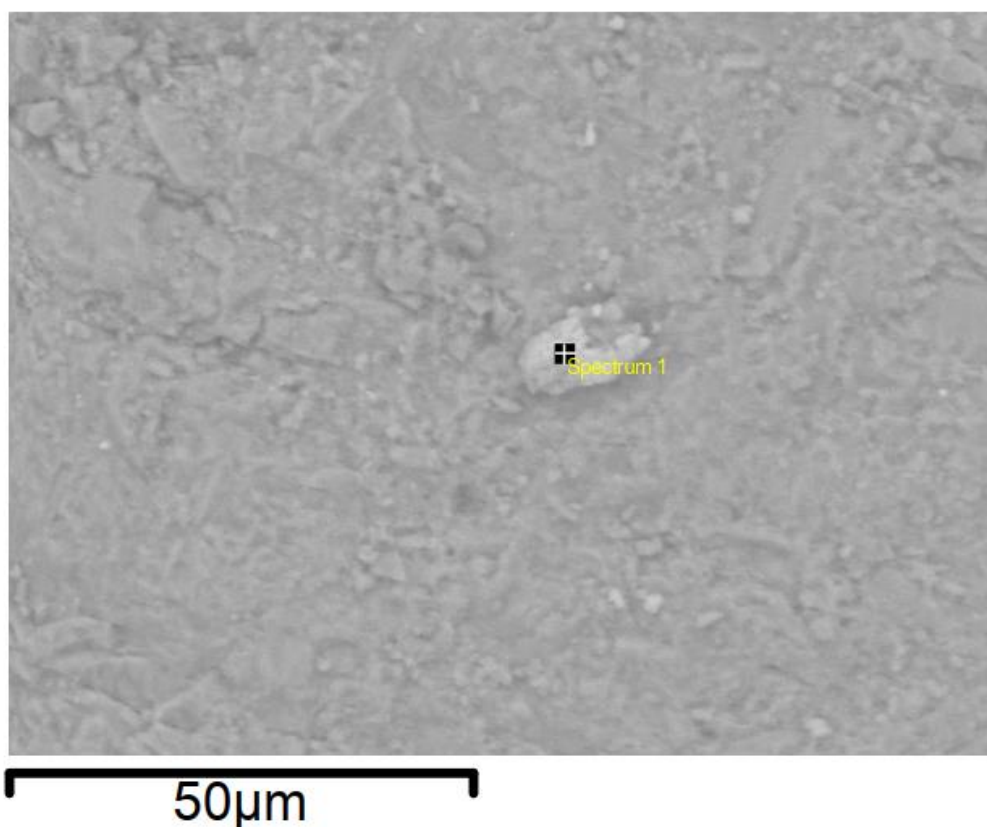
Os resultados obtidos apresentam a composição elementar da amostra, auxiliando no entendimento das propriedades físicas e químicas do material. A tensão de aceleração padrão utilizada foi de 15kV visando garantir uma penetração adequada do feixe de elétrons.

A amostra foi coletada a partir da incrustação das tubulações responsáveis pelo fluxo de água do poço. A partir dessa amostra, alguns pontos e áreas foram selecionados para serem analisados pelo MEV com contraste de EDS, totalizando 6 análises, das quais foram divididas em 3 pontos e 3 áreas (em anexo). Mais de uma análise do mesmo material é necessária para constatar a uniformidade do material impregnado.

No ponto 01 a amostra apresenta maior concentração de ferro sendo 53,62% e 25,16% de oxigênio que se liga a vários elementos, formando óxidos. Apresenta também quantidades significativas de cálcio com 15,11%, provável associação de óxido de cálcio, sendo responsável pelo processo de calcificação.

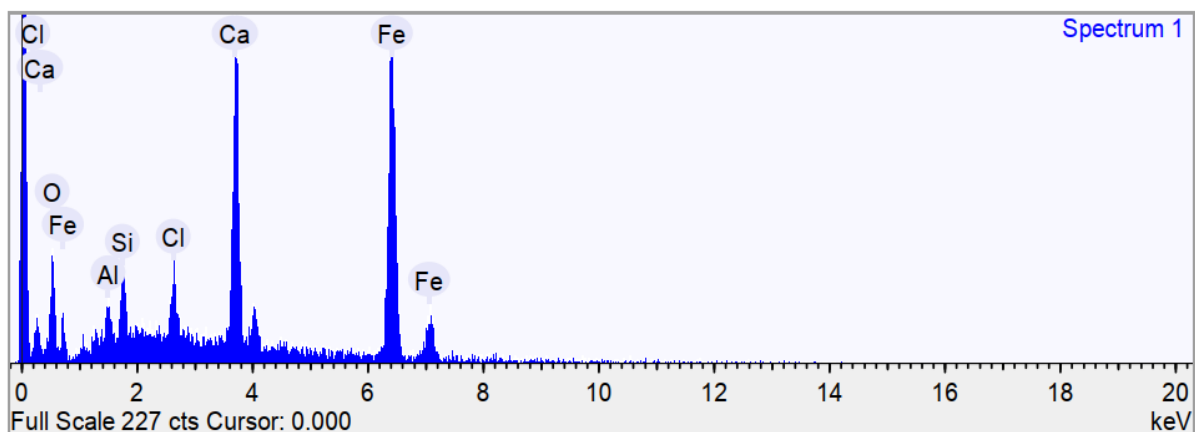
Outros elementos são encontrados, entretanto em menor quantidade como, 2,31% de silício, 1,27% de alumínio e 2,52% de cloro. A figura 20 a seguir ilustra a imagem obtida a partir do ponto 01 analisado, já a imagem 21 mostra a composição elementar apresentada.

Figura 20 – Imagem obtida do ponto 01.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

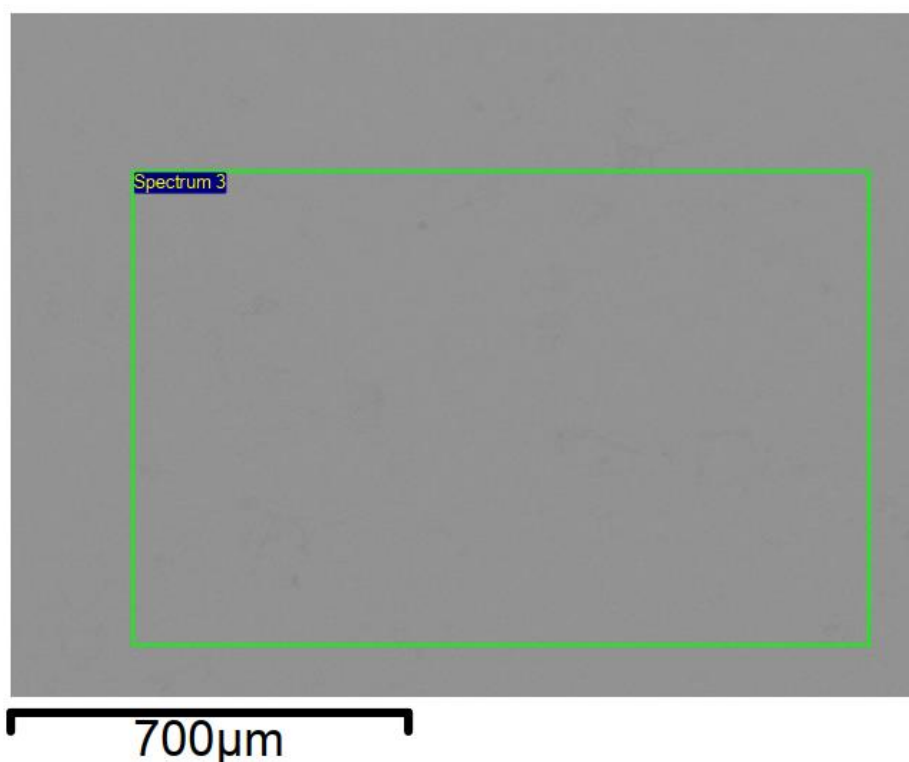
Figura 21 – Composição elemental obtida no ponto 01.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

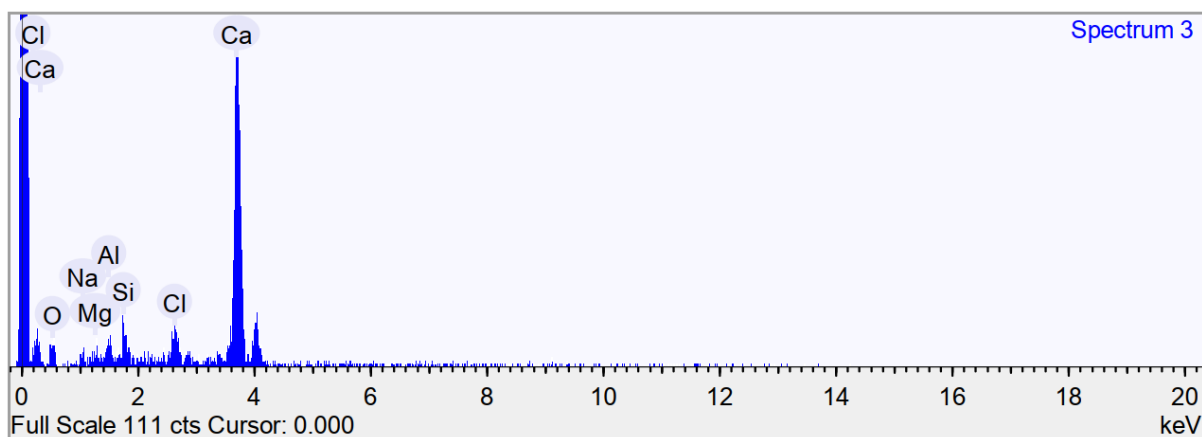
Na Área 01 a amostra apresenta maior concentração de cálcio sendo 58,23% e 29,67% de oxigênio, indicando a predominância de óxido de cálcio (CaO). Também foram detectados, entretanto em menor quantidade, 4,32% de cloro, 2,81% de silício, 2,08% de alumínio, 1,71% de sódio e 1,18% de magnésio. A figura 22 mostra a imagem obtida na análise, quanto a figura 23 caracteriza a composição elemental.

Figura 22 – Imagem obtida da Área 01.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

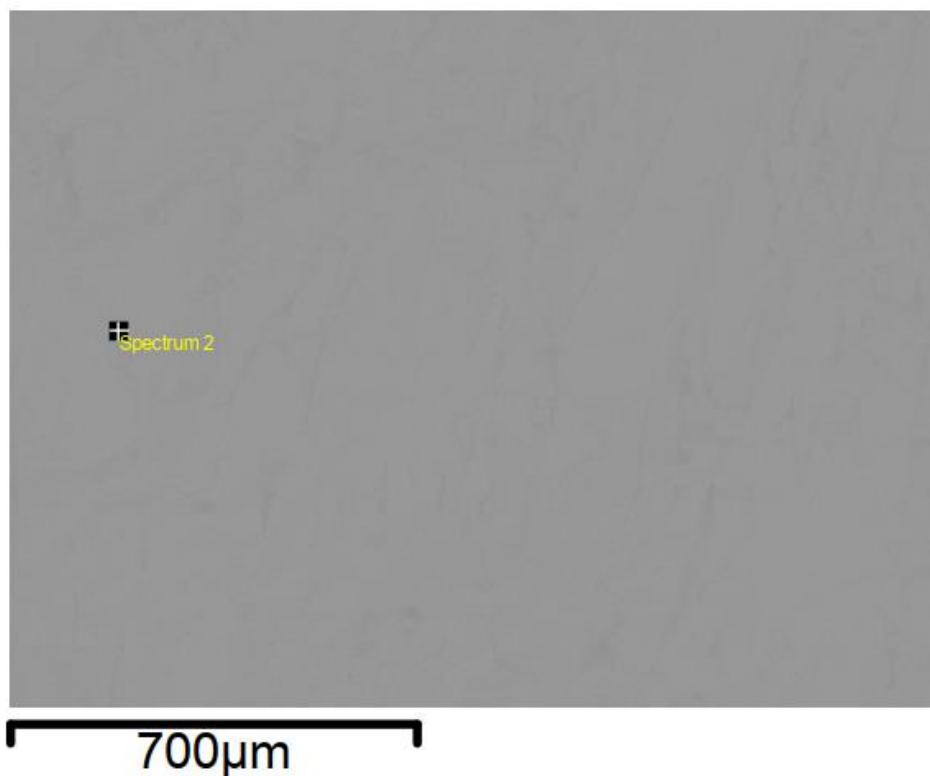
Figura 23 – Composição elemental obtida na área 01.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

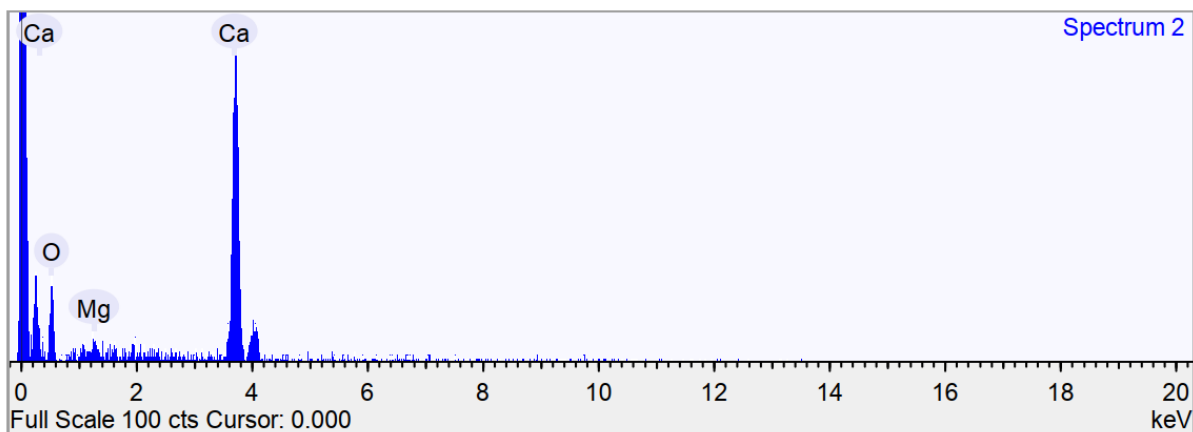
No ponto 02 a amostra apresenta predominantemente cálcio sendo 69,32% e 28,87% de oxigênio, indicando a predominância de óxido de cálcio (CaO). Também foi detectado uma pequena quantidade de magnésio, sendo 1,82%. A figura 24 mostra a imagem obtida na análise, quanto a figura 25 caracteriza a composição elemental.

Figura 24 – Imagem obtida do ponto 02.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

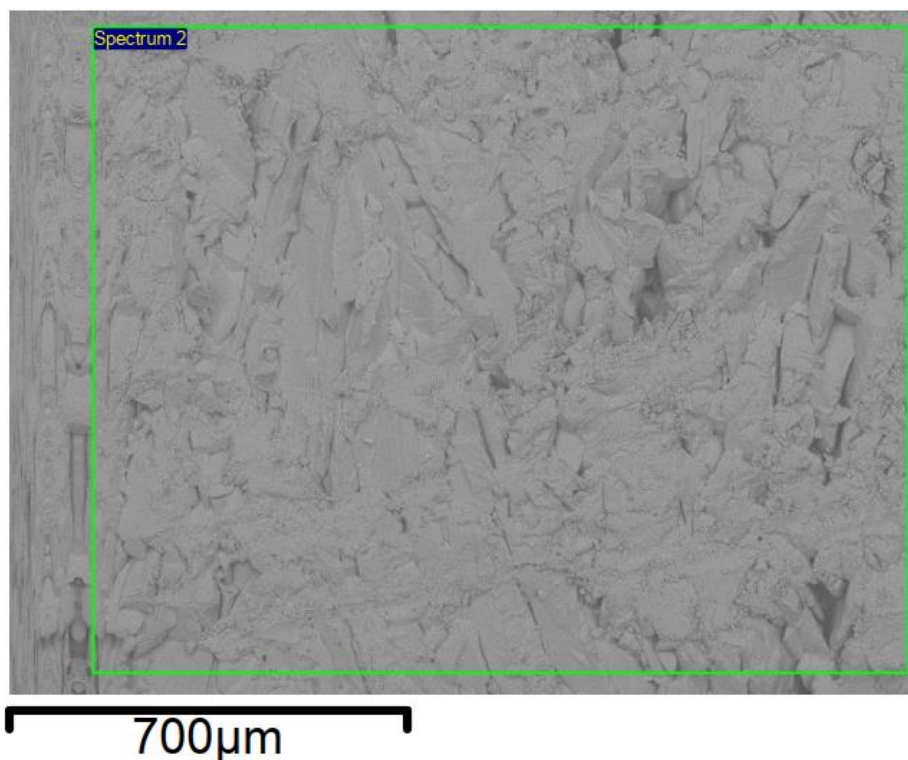
Figura 25 – Composição elemental obtida no ponto 02.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

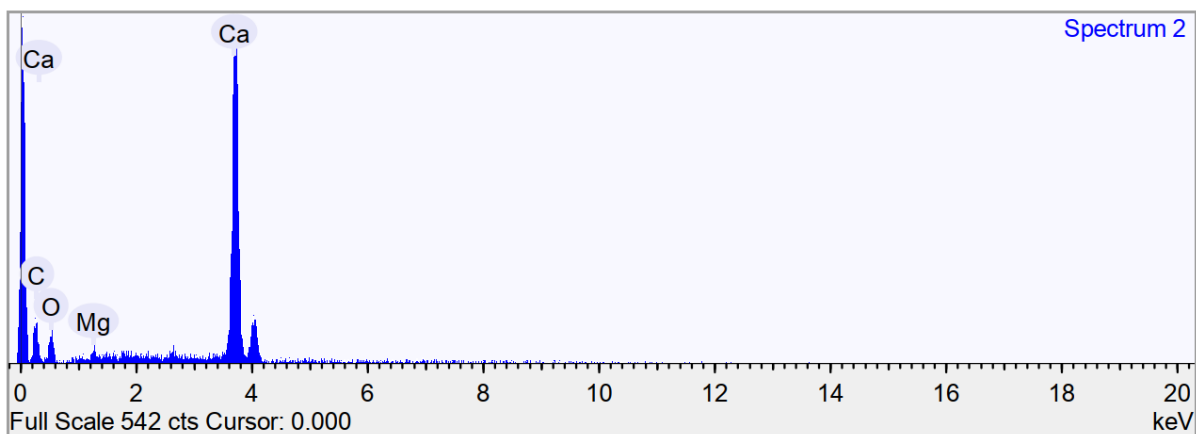
Na área 02 o padrão da amostra repete-se, apresentando majoritariamente cálcio com 43,84% e 45,16% de oxigênio, indicando a predominância de óxido de cálcio (CaO). Também foi detectado uma pequena quantidade de magnésio, sendo 0,8% e carbono com 10,18%. A figura 26 mostra a imagem obtida na análise, quanto a figura 27 caracteriza a composição elemental.

Figura 26 – Imagem obtida da área 02.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

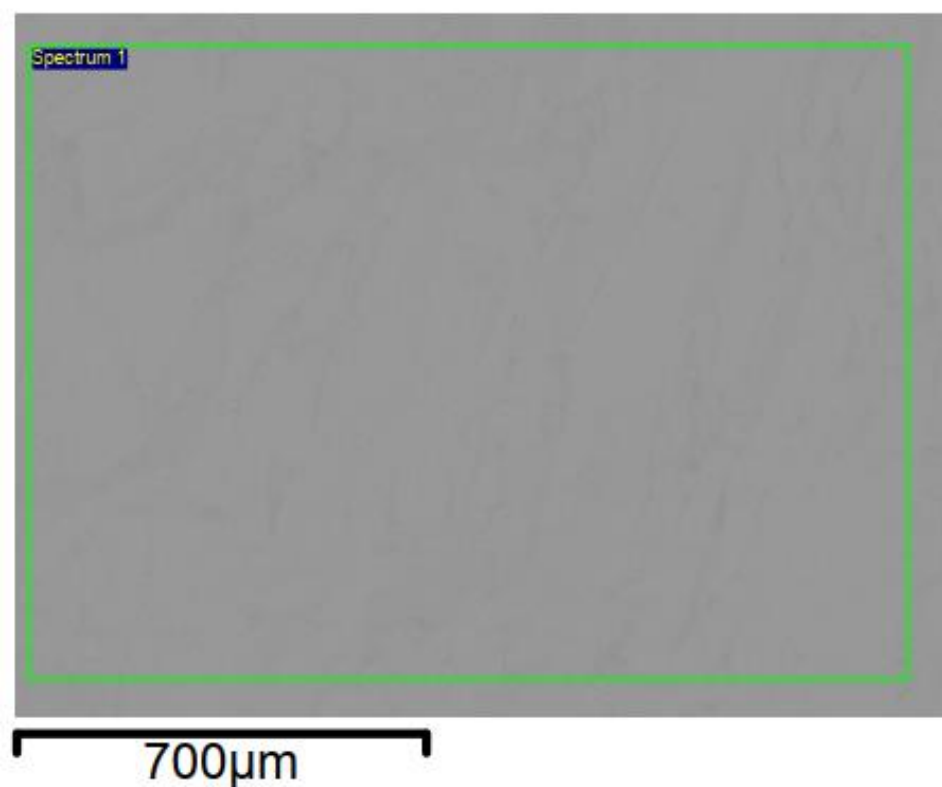
Figura 27 – Composição elemental obtida na área 02.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

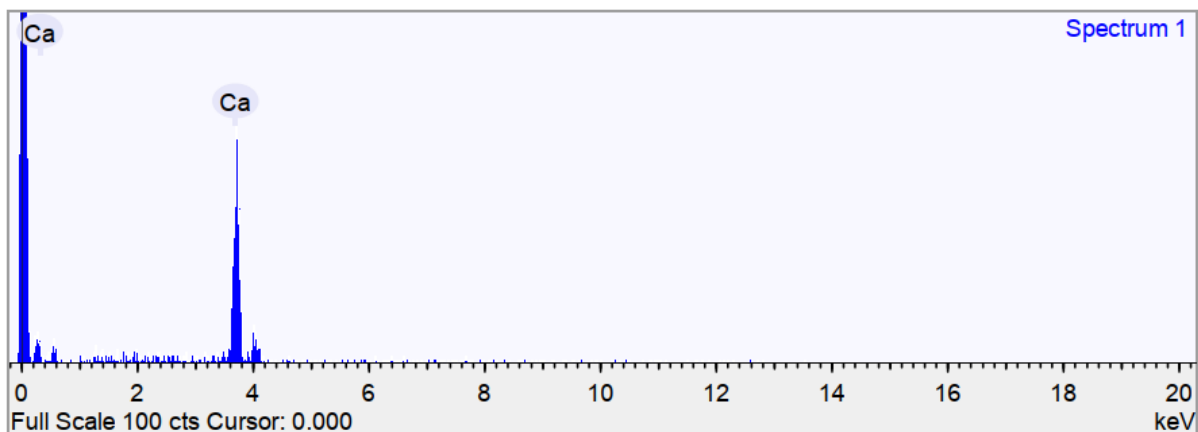
Na área 03 o padrão da amostra volta a repetir-se, apresentando majoritariamente cálcio com 71,47% de sua composição e 28,52% de oxigênio, indicando a formação de óxido de cálcio (CaO). Nesse ponto não foi detectado nenhum outro elemento. A figura 28 mostra a imagem obtida na análise, quanto a figura 29 caracteriza a composição elemental.

Figura 28 – Imagem obtida da área 03.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

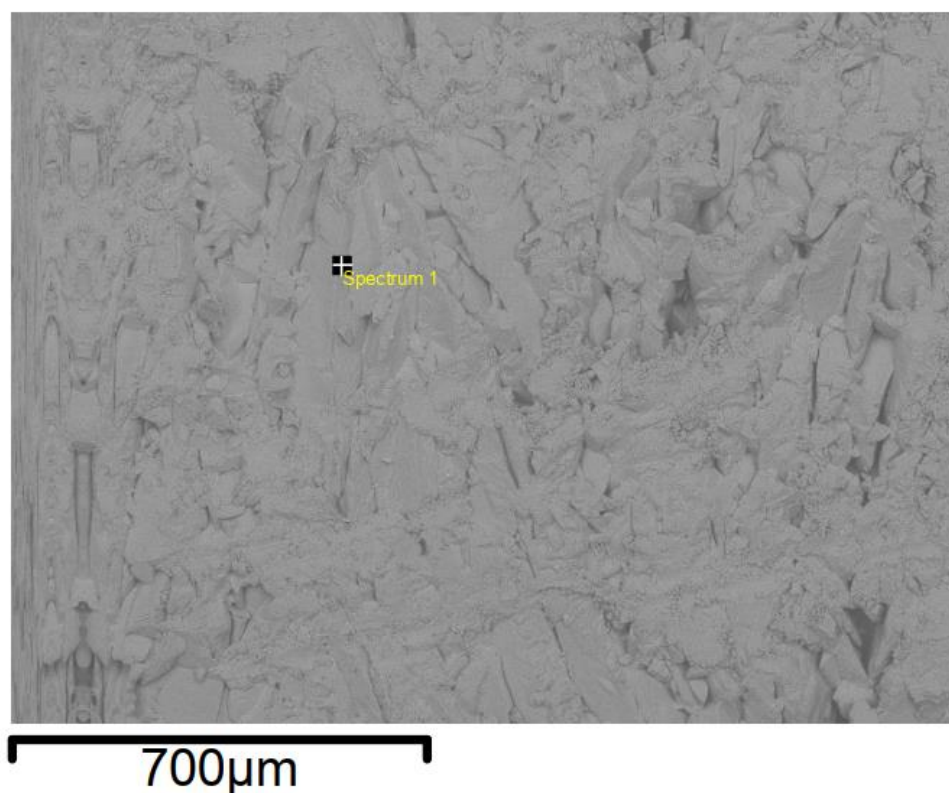
Figura 29 – Composição elemental obtida da área 03.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

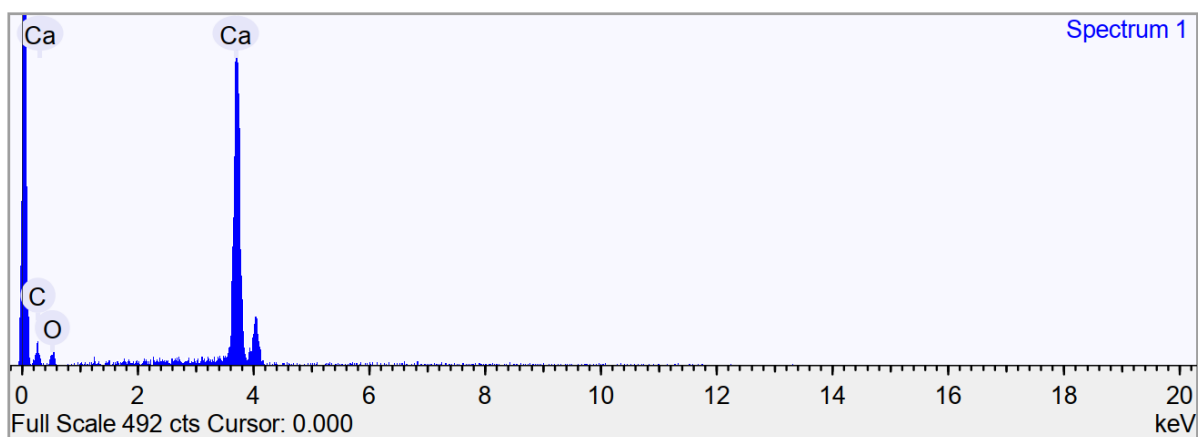
No ponto 03, último ponto analisado, a amostra apresenta cálcio sendo 53,85% e 39,42% de oxigênio, indicando a predominância de óxido de cálcio (CaO). Também foi detectado uma pequena quantidade de carbono, sendo 6,72% da composição. A figura 30 mostra a imagem obtida na análise, quanto a figura 31 caracteriza a composição elemental.

Figura 30 – Imagem obtida do ponto 03.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

Figura 31 – Composição elementar obtida no ponto 03.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica, (2024).

Com base nas 06 análises MEV apresentadas, podemos inferir que o principal componente encontrado é o Óxido de Cálcio, dado a alta concentração, podemos supor que houve a dissolução de lentes de rochas calcárias no meio, sendo responsável pelo processo de incrustação do poço.

6. CONCLUSÃO

A água é um bem mineral indispensável para a população mundial. A disponibilidade desse recurso pode influenciar o desenvolvimento de regiões inteiras, sendo um recurso decisivo.

Com base nos resultados obtidos através das análises MEV e das análises geológicas realizadas, podemos concluir que o material responsável pela incrustação nas tubulações da propriedade sendo o óxido de cálcio.

Embora a água tenha sido classificada segundo a Resolução CONAMA n°37/2005 como Classe 3 e podendo ser utilizada para irrigação e dessedentação de animais, a utilização de tal forma torna-se inviável devido a forma como as incrustações acontecem, provocando o entupimento das encanações por onde percorre.

Para a realização de tratamentos avançados de água, como a instalação de abrandador iônico, filtros de alta capacidade como Filtro Big Blue ou sistema de osmose reversa, torna-se economicamente inviável, devido ao grande investimento inicial em equipamentos e instalações, além de manutenções recorrentes para a funcionalidade dos sistemas.

Dado as análises realizadas, a solução mais viável para a propriedade seria a interdição do poço em questão e a alocação de um novo poço para atender as necessidades da região.

Levando em consideração que a propriedade total possui em torno de 10 hectares e todo o seu contexto geológico, regiões com baixas elevações seriam o local com melhor probabilidade de uma nova perfuração de sucesso. Diante do disposto, faz-se necessário para trabalhos futuros um estudo para locação de um novo poço na propriedade, melhorando a disponibilidade do recurso mineral para a população afetada.

7. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA). (2010). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água** (Vols. 1-2). Brasília: ANA, 2010.

AVELINO, DA SILVA, J. **Estrutura de acumulação de Água em rochas cristalinas: estudo geofísico e geológico de casos no Estado do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação**. Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado. 92p. 2000.

Braga, E. S., Freitas, C. B., Mendes, L. S. A. dos S., & Aquino, M. D. de. (2017). **Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano**. *Águas Subterrâneas*, 32(1), 17–24. <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28969>

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

BRASIL. **Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano e os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água**. Diário Oficial da União, Brasília, 4 mai. 2021. Seção 1, p. 25.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará: diagnóstico do município de Crateús**. Fortaleza: CPRM, 1998.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Estudo hidrogeológico no aquífero Serra Grande**. Fortaleza: COGERH, 2016. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2016/12/19/cogerh-faz-estudo-hidrogeologico-no-aquifero-serra-grande/>. Acesso em: 25 jun. 2023.

CEARÁ. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Programa de infra-estrutura básica em saneamento do estado do Ceará - SANEAR II**. Estudo de impacto ambiental e social – EIA. Crateús: Cagece, 2002

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil básico municipal: Crateús. Fortaleza: IPECE, 2019a. Disponível em: <https://ipece.ce.gov.br/perfil-municipal>. Acesso em: 10 jun. 2023.

COUTINHO, J. V.; ALMEIDA, C. N.; GADELHA, C. L. M.; TARGINO, D. F.; LINHARES, F. M.; COELHO, V. H. R. Avaliação integrada da qualidade da água subterrânea em uma bacia hidrográfica representativa do litoral da região nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 197-212, out./dez. 2013.

CORIOLOANO, A. C. F. **Reavaliação de Critérios Estruturais na Hidrogeologia de Terrenos Cristalinos, com Ênfase na Neotectônica e Sensoriamento Remoto**. 2002. 199 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2002.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico Crateús SB.24-V-C-III Escala 1:100.000**. CPRM, 2011

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa Geologia do Brasil. Levantamentos Geológicos Básicos. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Crateús – SB.24.V-C-III**. Escala 1:100.000. Fortaleza, 2017.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no Estado do Ceará: diagnóstico do município de Crateús**. Fortaleza, 1998.

FEITOSA, F. A. C. e FILHO, J. M. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL-FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico de 2010. Disponível em: <http://ibge.gov.br>. Acesso em: 26 jun. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Macrozoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Parnaíba/primeira divisão de geociências do Nordeste**. In: RIVAS, M. P. (coordenadora). Rio de Janeiro: IBGE, 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). **Panorama dos Municípios Brasileiros**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 18 jun. 2024

Karmann, I. 2009. **Água: ciclo e ação geológica**. In Teixeira et al. Decifrando a terra. Ed. Nacional. 2. ed. São Paulo. 186-208.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas de água**. Recife: US. Agency for International Development, 1965. 67 p.

MONTE, A. M. de S. **A planície fluvial do rio Poti nos municípios de Novo Oriente e Crateús – CE: os barramentos e suas repercussões socioambientais**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. 4. ed. rev. Rio de Janeiro; Fortaleza: ABES, 2011.

MOURA, M. H. G.; BUENO, R. M.; MILANI, I. C.; COLLARES, G. L. **Análise das águas dos poços artesianos do campus CAVG-UFPel**. In: MOSTRA DE TRABALHOS DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, 2., 2009, Pelotas. Anais...Pelotas: IFSUL, 2009. p.10-12.

NASCIMENTO SILVA, C. C.; JARDIM DE SÁ, E.F. **Fracture chronology and neotectonic control in the location of water wells in crystalline terrains: an example from the Equador Region, Northeastern most Brazil.** Rev. Bras. Geociências., no prelo. 2000.

Nascimento da Silva, C. C. et al. 2001. **Integração de dados estruturais, de sensores remotos e de geofísica na prospecção hidrogeológica em terrenos cristalinos: estudos de casos no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.** In: Encontro Nacional Perfuradores de Poços, 12, Simpósio Hidrogeologia do Nordeste. Olinda, Anais, p.445-454.

PENA, Rodolfo F. Alves. **"Distribuição da água no mundo"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-mundo.htm>. Acesso em 10 de dezembro de 2023.

RICHTER, B. C.; KREITLER, C. W. **Geochemical techniques for identifying sources of ground-water salinization.** Boca Raton: CK. Smoley, 1993.

ROBINOVE, C. J.; LANGFORD, R. H.; BROOKHART, JW. **Saline water resources of North Dakota: a description of the principal saline water aquifers and surface-water bodies, with available analyses.** U.S. Government Printing Office, 1958. 72 p. (Geological survey water supply paper, v. 1428).

SIQUEIRA, L. **Contribuição da geologia à pesquisa de Água Subterrânea no Cristalino.** Sudene, Recife/PE, 51p. 1963.

SOUSA, S. R. C.; TEIXEIRA, P. G. F.; SOUSA, F. J. B. **Contribuição para a caracterização geológica e classificação geomecânica dos maciços rochosos na cidade de Crateús – CE.** Revista Estudos Geológicos, v. 29, n. 2, 2019. 95-107 p.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. XV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL, 2008, Natal. **Anais [...].** Natal, 2008.

8. ANEXOS

Análise Físico - Química



VERDELAB - Laboratório Ambiental
 Rua Carlos Gomes, 40 - José Bonifácio, Fortaleza - CE
 CNPJ: 54.427.566/0001-23
 (85) 98191-8668
 falecom@verdelab.com.br

Relatório de Análises Nº: AG-173.2024.B- V.0

01. Dados Contratação:			
Solicitante:			
Razão Social:	HARIANNE ALVES RIBEIRO		
Proposta Comercial:	119.2024.V0		
CNPJ/CPF:	669.502.603-34		
Endereço:	Rua Valéria,100 APT0 303 BL 02 Barroso - Fortaleza/CE CEP: 60862820		
Contato:	HARIANNE E-mail:		
02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:			
Descrição da Amostra:	Poço		
Endereço Amostragem:	Rua Valéria,100 APT0 303 BL 02 Barroso Cidade: Fortaleza/CE CEP: 60862820		
Responsável pela Amostragem:	Solicitante		
Matriz e Origem Amostra:	Água - Água		
Data de Amostragem:	07/07/2024 11:10:00	Característica da Amostra:	Simple
Data Recebimento:	08/07/2024 16:23:00	Data Conferência:	10/07/2024 14:11:06
		Responsável pela Conferência:	Isabelle.oliveira

03. Resultados:				
	Parâmetros	Resultados	Un Trab	Metodologia
Físico-químico				
	Alcalinidade Parcial	<0,01	mg/L	SMEWW 2320 B
	Alcalinidade Total	385,00	mg/L	SMEWW 2320 B
	Amônia	<0,01	mg/L	SMEWW 4500 NH3 F
	Aspecto	Límpido	Visual	SMEWW 2110
	Cálcio	102,40	mg/L	SMEWW 3500 Ca
	Cloretos	248,50	mg/L	SMEWW 4500 Cl B
	Cloro Residual Livre	<0,01	mg/L	SMEWW 4500 CL G
	Condutividade	1.635,00	µS/cm	SMEWW 2510 B
	Cor Aparente	2,00	PCU	SMEWW 2120 B
	Dureza Total	444,00	mg/L	SMEWW 2340 C
	Ferro	0,37	mg/L	Método do Ac. Tioglicólico
	Gosto e Odor	Não Objetavel	Intensidade	SMEWW 2170 B
	Magnésio	45,12	mg/L	SMEWW 3500 Mg
	Nitrato	14,80	mg/L	SMEWW 4500 NO3 E
	Nitrito	<0,01	mg/L	SMEWW 4500 NO2 B
	pH	7,68	pH	SMEWW 4500 B
	Potássio	10,27	mg/L	Tetrafenilborato de Sódio
	Sódio	102,00	mg/L	SMEWW 3511 B
	Sólidos Dissolvidos Totais	818,00	mg/L	SMEWW 2540 C
	Sulfato	99,90	mg/L	SMEWW 4500 SO4 E
	Turbidez	1,20	NTU	SMEWW 2130 B

Informações Adicionais:

Referência(s) Normativa(s): Organic Reagents for Trace Analysis, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,
 Código de Verificação: 001920000091000001950202400000

ISABELLE DE OLIVEIRA LIMA:06782157314
 10/07/2024 14:13:11

ICP-Brasil - 240827193245Z



Isabelle de Oliveira Lima

Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

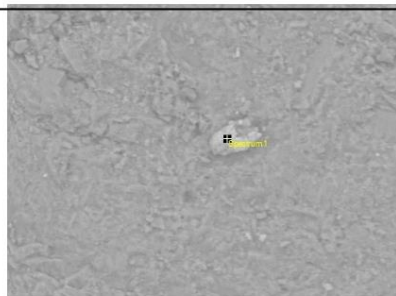
Isabelle de Oliveira Lima
 CRQ-X: 104000596

Análise MEV Ponto 01

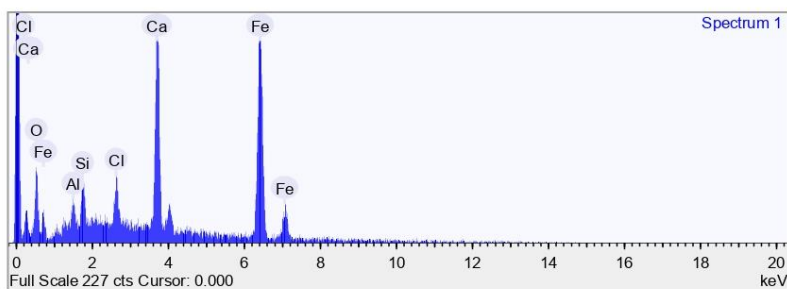
Spectrum details

Project: New project

Spectrum name: Spectrum 1

Electron ImageImage Width: 106.2 μm **Acquisition conditions**Acquisition time (s) : 10.0
Accelerating voltage (kV) : 15.0

Process time : 5

**Quantification Settings**Quantification method : Stoichiometry (normalised)
Number of anions : 8.0Combined element : Oxygen
Coating element : None**Summary results**

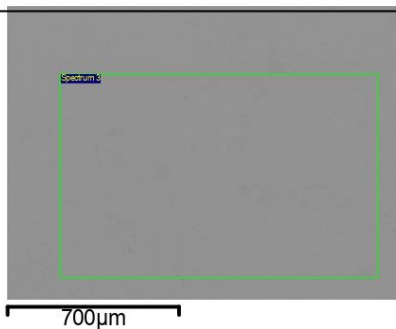
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Aluminum	1.274	0.249	1.518	2.407	Al ₂ O ₃
Silicon	2.310	0.269	2.645	4.943	SiO ₂
Chlorine	2.521	0.290	2.286	0.000	
Calcium	15.114	0.523	12.124	21.147	CaO
Iron	53.621	0.954	30.869	68.982	FeO
Oxygen	25.160	0.833	50.559		

Análise MEV Área 01

Spectrum details
 Project: New project

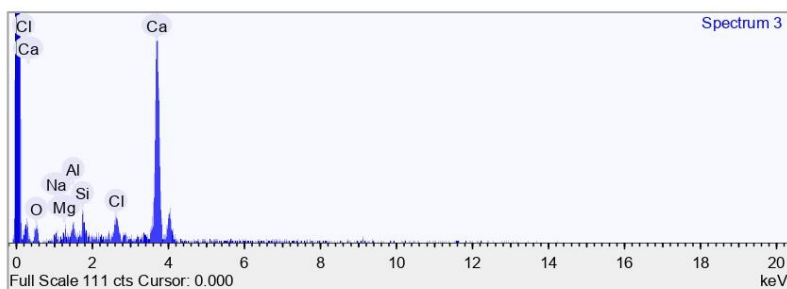
Electron Image
 Image Width: 1.593 mm

Spectrum name: Spectrum 3

**Acquisition conditions**

Acquisition time (s) : 10.2
 Accelerating voltage (kV) : 15.0

Process time : 5

**Quantification Settings**

Quantification method : Stoichiometry (normalised)
 Number of anions : 8.0

Combined element : Oxygen
 Coating element : None

Summary results

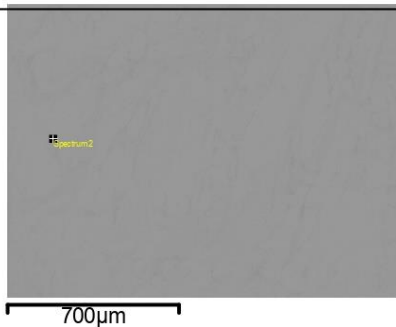
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Sodium	1.706	0.769	1.990	2.300	Na ₂ O
Magnesium	1.182	0.645	1.303	1.959	MgO
Aluminum	2.078	0.626	2.065	3.927	Al ₂ O ₃
Silicon	2.814	0.685	2.687	6.021	SiO ₂
Chlorine	4.319	0.849	3.266	0.000	
Calcium	58.231	1.825	38.959	81.475	CaO
Oxygen	29.670	1.650	49.729		

Análise MEV Ponto 02

Spectrum details
 Project: New project

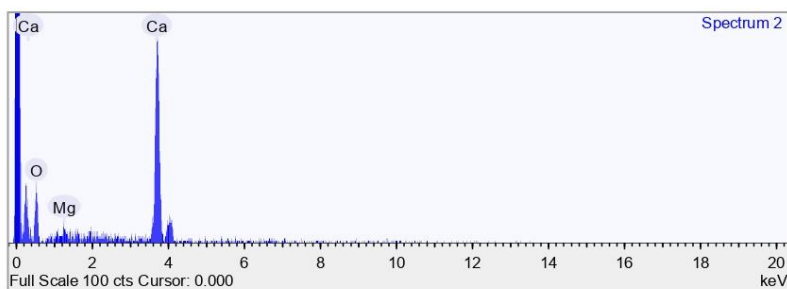
Electron Image
 Image Width: 1.593 mm

Spectrum name: Spectrum 2

**Acquisition conditions**

Acquisition time (s) : 10.0
 Accelerating voltage (kV) : 15.0

Process time : 5

**Quantification Settings**

Quantification method : Stoichiometry (normalised)
 Number of anions : 8.0

Combined element : Oxygen
 Coating element : None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Magnesium	1.818	0.995	2.072	3.014	MgO
Calcium	69.317	1.974	47.928	96.986	CaO
Oxygen	28.866	1.871	50.000		

Análise MEV Área 02

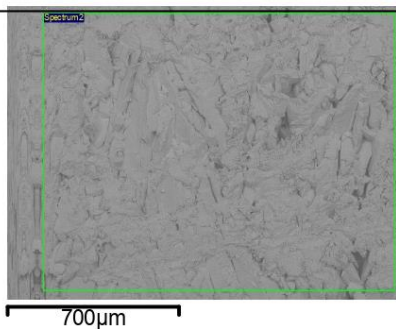
Spectrum details

Project: New project

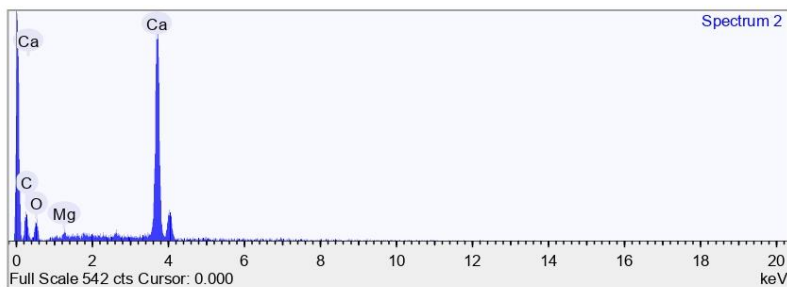
Spectrum name: Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 1.593 mm

**Acquisition conditions**Acquisition time (s) : 10.0
Accelerating voltage (kV) : 15.0

Process time : 5

**Quantification Settings**Quantification method : Stoichiometry (normalised)
Number of anions : 8.0Combined element : Oxygen
Coating element : None**Summary results**

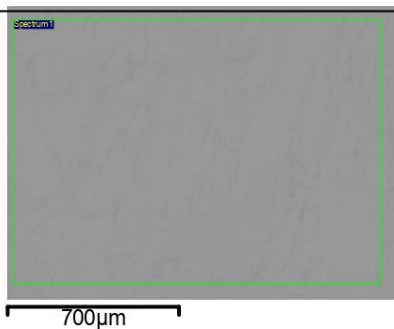
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	10.187	0.934	17.676	37.326	CO ₂
Magnesium	0.803	0.186	0.689	1.332	MgO
Calcium	43.842	1.002	22.797	61.343	CaO
Oxygen	45.168	1.128	58.838		

Análise MEV Área 03

Spectrum details
 Project: New project

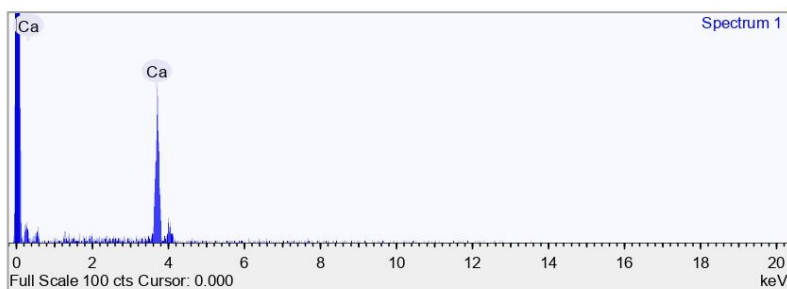
Electron Image
 Image Width: 1.593 mm

Spectrum name: Spectrum 1

**Acquisition conditions**

Acquisition time (s) : 10.0
 Accelerating voltage (kV) : 15.0

Process time : 5

**Quantification Settings**

Quantification method : Stoichiometry (normalised)
 Number of anions : 8.0

Combined element : Oxygen
 Coating element : None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Calcium	71.471	2.146	50.000	100.000	CaO
Oxygen	28.529	2.146	50.000		

Análise MEV Ponto 03

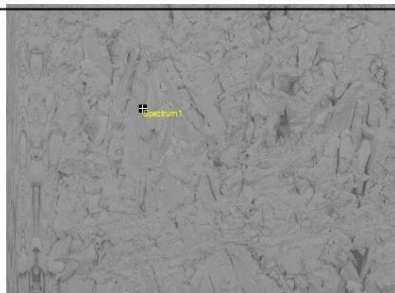
Spectrum details

Project: New project

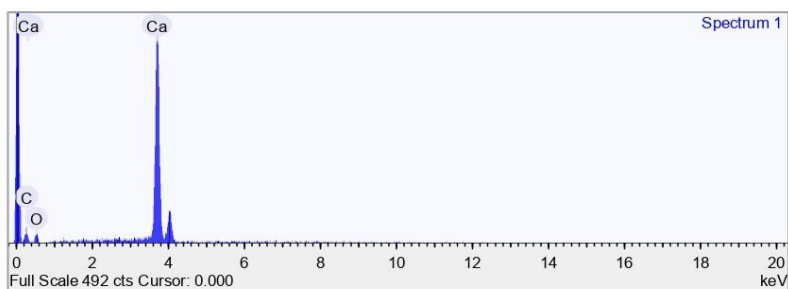
Spectrum name: Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 1.593 mm

**Acquisition conditions**Acquisition time (s) : 10.0
Accelerating voltage (kV) : 15.0

Process time : 5

**Quantification Settings**Quantification method : Stoichiometry (normalised)
Number of anions : 8.0Combined element : Oxygen
Coating element : None**Summary results**

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	6.728	0.831	12.826	24.653	CO ₂
Calcium	53.851	1.100	30.762	75.347	CaO
Oxygen	39.421	1.110	56.413		