

Método DAGE (Detecção de Anomalias Geoeletricas) aplicado na Eletrorresistividade: Superando desafios na locação de poços tubulares no Meio Cristalino

DAGE Method (Detection of Geoelectrical Anomalies) applied to electrical resistivity: overcoming challenges in the location of boreholes in crystalline environments

Alexsandro dos Santos Garces¹; Itabaraci Nazareno Cavalcante²; Eneas Oliveira Lousada³; Antônio Flávio Costa Pinheiro⁴; Talita Fernanda Carvalho Gentil⁵

¹Inovageo Geologia e engenharia LTDA, São Paulo, São Paulo - Brasil, alexgarces20@gmail.com

²Universidade do Ceará, Fortaleza, Ceará - Brasil, itabaracicalcavalcante@gmail.com

³Universidade do Ceará, Fortaleza, Ceará - Brasil, enead@ufc.br

⁴Universidade do Ceará, Fortaleza, Ceará - Brasil, fpinheiro666@gmail.com

⁵Instituto Federal da Bahia, Jacobina, Bahia - Brasil, profa.talitagentil@gmail.com.br

Recebido:

28 de janeiro de 2025

Recebido no formato de revisão:

01 de março de 2025

Aceito:

06 de março de 2025

Disponível online:

25 de abril de 2025

Seção:

Artigos

Palavras-chave:

Geofísica.

Locação de poços.

Aquífero fissural.

Keywords:

Geophysics.

Well siting.

Fissured aquifer.

RESUMO

Este estudo apresenta o desenvolvimento do método DAGE (Detecção de Anomalias Geoeletricas), uma abordagem inovadora para aumentar a precisão na locação de poços tubulares em ambientes de rochas cristalinas. Antes do DAGE, não existia uma metodologia consolidada que relacionasse estudos geofísicos à eficiência na perfuração de poços nesse tipo de terreno. O método baseia-se na análise geométrica das curvas de anomalias geoeletricas, valores de resistividade aparente e dados de litotipos e produtividades de 30 poços no município de Iracema, Ceará. A pesquisa identificou dois padrões de curvas geoeletricas: a forma de "U", que apresenta anomalias amplas com dois ou mais valores de resistividade baixa ($<200 \Omega m$), comum em rochas gnáissicas fraturadas, e a forma de "V", associada a anomalias estreitas com resistividade baixa a moderada ($200-400 \Omega m$), típica de rochas graníticas. A aplicação do DAGE alcançou 80% de acertos na locação, com 24 poços produtivos e uma vazão média de $3,56 m^3/h$, 78% superior à média regional de $2,0 m^3/h$ no embasamento cristalino do Ceará. O DAGE se destaca como uma importante contribuição técnico-científica, reduzindo significativamente o número de poços secos em terrenos cristalinos. Em, quanto maior for a extensão das curvas/anomalias geoeletricas refletidas em forma de "U" e detectadas no DAGE, maior será a chance de produtividade do poço locado, sendo este método aplicável a qualquer contexto cristalino (rochas ígneas e metamórficas).

ABSTRACT

This study presents the development of the DAGE method (Detection of Geoelectrical Anomalies), an innovative approach to enhance the accuracy of tubular well siting in crystalline rock environments. Prior to DAGE, there was no established methodology linking geophysical studies to drilling efficiency in this type of terrain. The method is based on the geometric analysis of geoelectrical anomaly curves, apparent resistivity values, and lithotype and productivity data from 30 wells in the municipality of Iracema, Ceará, Brazil. The research identified two geoelectrical curve patterns: the "U" shape, characterized by broad anomalies with two or more low resistivity values ($<200 \Omega m$), commonly associated with fractured gneissic rocks, and the "V" shape, associated with narrow anomalies with low to moderate resistivity ($200-400 \Omega m$), typical of granitic rocks. The application of DAGE achieved an 80% success rate in well siting, with 24 productive wells and an average yield of $3.56 m^3/h$, 78% higher than the regional average of $2.0 m^3/h$ in the crystalline basement of Ceará. DAGE stands out as a significant technical-scientific contribution, substantially reducing the number of dry wells in crystalline terrains. The greater the extent of "U"-shaped geoelectrical anomaly curves detected using DAGE, the higher the probability of productivity for the located well, making this method applicable to any crystalline context (igneous and metamorphic rocks).

<https://doi.org/10.14295/ras.v39i1.30303>



1. INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro possui uma extensão territorial de 1.182.697 Km² (SUDENE 2017; 2021). Conforme Melo e Souza (2021), desse total, 895.254,4 km² corresponde ao Polígono das Secas (PS), que abrange 1.042 municípios, distribuídos pelos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Essa área representa 57,53% da região Nordeste, cuja extensão total é de 1.561.117,8 Km², correspondendo a 18,27% do território brasileiro.

O Polígono das secas caracteriza-se por um clima semiárido, marcado por elevados índices anuais de evapotranspiração, chuvas mal distribuídas e a escassez de rios perenes com grande vazão. Então dessas condições climáticas, a região enfrenta frequentes períodos de estiagem, resultando em secas que impactam negativamente a agropecuária, sobretudo a de pequeno porte, além de afetar o abastecimento da população e outras atividades econômicas. No estado do Ceará, esses desafios climáticos têm sido persistentes ao longo da história, comprometendo a qualidade de vida e impossibilitando o desenvolvimento regional (AB'SÁBER, 2021; SUDENE, 2021; GOMES e ZANELLA, 2023).

O estado do Ceará ocupa entre 75% e 80% de terrenos cristalinos pré-cambrianos da Província Borborema, os quais se destacam pelo baixo potencial hidrogeológico (SOUZA, 1988; SOUZA, 2002; PINHEIRO, 2024). Nesse terrenos a água é armazenada em zonas fraturadas, composta por planos abertos e, preferencialmente interconectados. A identificação dessas zonas fraturadas representa um desafio constante na locação de poços potencialmente produtivos (GARCÊS, 2019). Acerca da locação de poços nesse domínio hidrogeológico, Manoel Filho (2008, p. 69) afirma que:

Poucas tarefas em hidrogeologia são mais difíceis do que a locação de poços em rochas cristalinas. Variações extremas de litologia e estrutura, associadas com zonas produtoras de água localizadas em pontos preferenciais, dificultam as investigações geológicas e geofísicas. O solo e a vegetação, muitas vezes, mascaram os afloramentos e impedem um mapeamento geológico detalhado. Além disso, pequenas fraturas que produzem a maior parte da água dos poços em rochas não intemperizadas não são detectadas por métodos geofísicos. Não surpreende, portanto, que em algumas regiões a porcentagem de insucesso na perfuração de poços seja alta, mesmo quando as locações são feitas por hidrogeólogos experientes.

A ausência de uma metodologia eficiente diminui consideravelmente o êxito na locação de poços produtivos. Portanto, faz-se necessário desenvolver uma abordagem que possibilite a melhoria efetiva na interpretação de dados geoeletrico para a locação de poços tubulares em terrenos cristalinos, ao mesmo tempo em que permita compreender os processos que influenciam os resultados obtidos.

A pesquisa geofísica raramente estabelece uma relação direta entre a geometria das fraturas e a produtividade de poços, sobretudo porque a obtenção de testemunhos de sondagens em perfurações para poços é um procedimento oneroso, assim, se reduz drasticamente o conhecimento geológico/estrutural de subsuperfície.

O uso de métodos geofísicos para a análise estrutural é geralmente considerado satisfatório, apresentando um percentual significativo de locação de poços com água. No entanto, no que se refere à locação de poços, é desconhecido um estudo sistemático que, a partir de um número estatisticamente expressivo de experimentos, estabeleça uma correlação entre esses e outros parâmetros de geometria das fraturas e os resultados de vazão dos poços destinados à captação de água.

O objetivo deste estudo é propor um método eficaz para superar os desafios associados à locação de poços em ambientes fissurais, estabelecendo uma relação clara e objetiva entre as propriedades geométricas e hidráulicas desse tipo de terreno. A solução apresentada consiste na identificação de locais favoráveis à construção de poço tubulares com vazões otimizadas, visando aumentar em até 90% a taxa de sucesso na perfuração. Para isso, o método integra técnicas de mapeamento geológico e estrutural, levantamentos geofísicos e análises detalhadas de curvas geoeletricas, garantindo maior precisão na seleção dos pontos ideais para a captação de água.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área estudada está localizada no município de Iracema, na Microrregião da Serra do Pereiro e na Mesorregião do Jaguaribe, Ceará. As coordenadas UTM da área são: 573429m E, 9371916m N, 587088m E, 9359116m N, 573760m E, 9338538m N e 560011m E, 9338538m N. O município é composto por quatro distritos: Iracema (sede), Bastiões, Ema e São José. Limita-se ao Norte com os municípios de Alto Santo; ao Sul com Pereiro e Ererê; a Leste com Potiretama e a Oeste com Jaguaribara. O acesso ao município de Iracema, a partir de Fortaleza, é feito pela BR-116 até o município de Alto Santo, percorrendo um total de 228 km. A partir de Alto Santo, deve-se seguir à esquerda na CE-138, totalizando uma distância de 283 km até o município de Iracema, conforme ilustra a Figura 1.

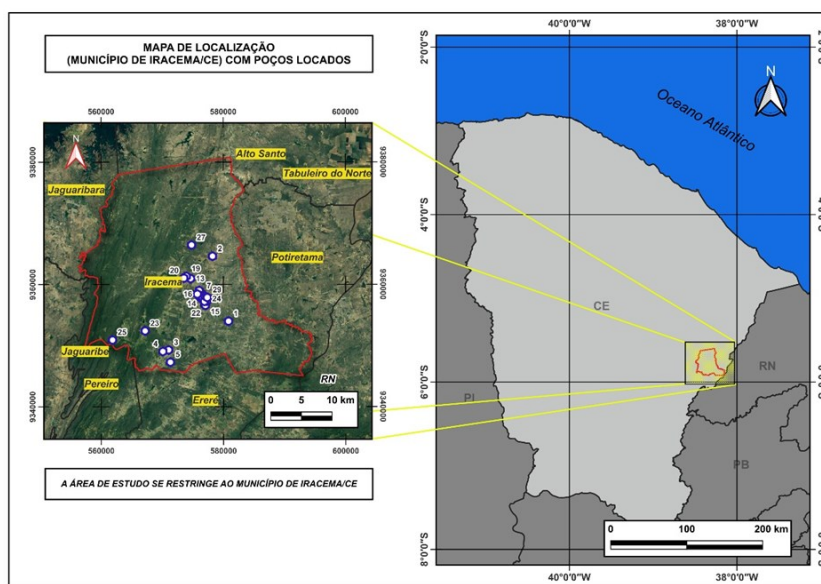


Figura 1. Localização da área estudada e dos poços tubulares

3. CONTEXTO GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE IRACEMA

A geologia local, tendo como referência o Mapa Geológico do Ceará, Escala 1: 500.000 (CAVALCANTE *et al.*, 2003), e no Mapa Geológico do Estado do Ceará, Escala 1:500.000 (PINÉO *et al.*, 2020). Foram importantes, também, Magini e Hackpacher (2008); Garcês (2019); Pinéo e Palheta, 2021.

A Geologia Local é composta por três unidades geológicas: Complexo Jaguaretama localizado nas porções nordeste e sudeste; Suíte intrusiva Serra do Deserto, situada nas porções noroeste e sudoeste; e os Granitoides Plutônicos (Plúton Pereiro e Plúton sem Denominação), que são encontrados na porção sudoeste e sudeste, conforme ilustrado na Figura 2.

O Complexo Jaguaretama é caracterizado por ortognaisses tonalíticos, compostos por mobilizados trondhjemiticos, ortognaisses graníticos, bandados parcialmente migmatizados e rochas metassedimentares comumente pelíticas, com biotita granada-sillimanita e migmatizados, além de raros quartzitos e rochas calcissilicáticas. Ressalta-se que a unidade paraderivada constitui uma parte importante do Bloco Jaguaretama, provavelmente representando uma cobertura da sequência tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG). Sua história tectono-termal registra uma tectônica policíclica (PARENTE e ARTHAUD, 1995; CAVALCANTE, 1999; ALMEIDA *et al.*, 2011; GARCÊS, 2019; PINÉO e PALHETA, 2021; PINHEIRO, 2024).

A Suíte Intrusiva Serra do Deserto foi designada por Cavalcante (1999) com o propósito de formalizar os augen-gnaisses estudados por Sá (1991) na porção leste da Faixa Orós. As rochas são constituídas basicamente por anfibólio-biotita augen-gnaisses de composição granítica a granodiorítica, com porfiroclastos de feldspatos atingindo até quatro centímetros de comprimento.

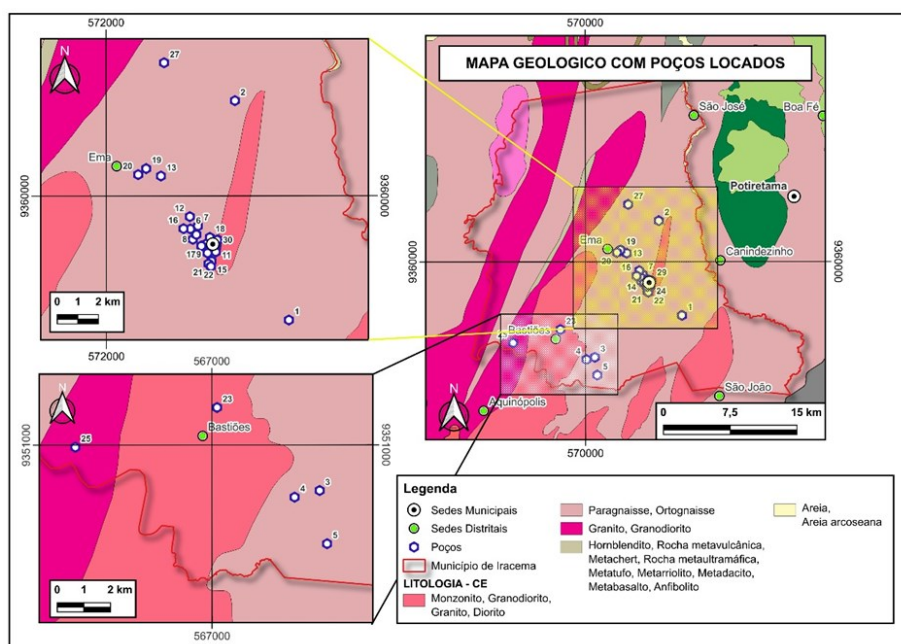


Figura 2. Geologia do município de Iracema evidenciando a área de estudo e os poços localizados

Nessa unidade, também foram encontradas rochas com textura granoblástica média a grossa, incluindo metassienitos (SÁ *et al.*, 1995; CAVALCANTE, 1999). Os referidos autores classificaram essa suíte como de tendência alcalina e de ambiente intraplaca (anorogênico), correlacionando-a com o vulcanismo félsico da Formação Campo Alegre do Grupo Orós.

A litologia desta unidade é predominantemente composta por ortognaisses graníticos de estrutura facoidal (augen gnaisses), incluindo Hornblenda Gnaiss. Também podem ser encontradas lentes de Calcissilicáticas e de Moscovita Xistos, balizada pela Zona de Cisalhamento Jaguararibe, similar ao que ocorre na Faixa Orós. Essa unidade ocupa a parte noroeste da área estudada. São rochas com tonalidades rosadas e cinzentas (PINÉO *et al.*, 2020; PINÉO e PALHETA, 2021; PINHEIRO, 2024).

No que se refere ao Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação, ambos situam-se no Domínio Rio Grande do Norte, inseridos na Província Borborema, formada pelas Suítes São Miguel e Dr. Severiano, com dimensões e regimes reológicos variados e alinhados na direção N-S, NE-SW (MAGINI e HACKPACHER, 2008; GRACÊS, 2019).

A Suíte São Miguel (SSM) é composta por corpos graníticos com áreas variando de dezenas a centenas de km², manifestando-se na forma de Plutons e batólitos. Entre essas feições, destacam-se o Batólito São Miguel/Pereiro (Monzogranitos), Batólito Luis Gomes (Monzogranito-Granito), Plúton Marcelino Vieira (Granito), Plúton Panatis (Monzogranito), Plúton Padre Cosme (Alcaligranito) e Leucrogranito Castelo (MAGINI e HACKPACHER, 2008; GARCÊS, 2019).

A Suíte Dr. Severiano (SDS) é caracterizada por um pulso básico e totalizam 20% do magmatismo do arco magmático e as rochas desta suíte foram denominadas de Dioritos Dr. Severiano, Gabros Riacho de Santana e Plúton Poço Dantas (MAGINI e HACKPACHER, 2008; GARCÊS, 2019).

5. CONCLUSÃO

Conforme os dados geológicos da área estudada, o Domínio Hidrogeológico é predominantemente cristalino, caracterizado pela presença marcante de rochas magmáticas e/ou metamórficas, correspondendo ao que é comumente denominado de "Aqüífero Fissural ou Fraturado".

Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, o armazenamento da água subterrânea é condicionado por uma porosidade secundária, representada por planos estruturais rúpteis do tipo falhas, fraturas, fissuras e juntas. O que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão, ou

seja, heterogêneos e anisotrópicos. A infiltração da água ocorre essencialmente nas zonas fraturadas com circulação mais efetiva às fraturas abertas. Dessa forma, a capacidade dessas rochas de armazenar e ceder água está condicionada à densidade, abertura e interconexão de redes de fraturas abertas (FEITOSA et al., 2008; PINHEIRO e PINHO, 2015; PINHEIRO, 2024).

Os mantos de intemperismos ou as coberturas colúvio-eluviais estabelecidas sobre essas rochas podem armazenar, dependendo de suas espessuras, volumes de água que, eventualmente, podem ser aproveitados em captações pontuais. No entanto, a maior importância dessas coberturas está no fato de funcionarem como áreas de recarga para o meio fraturado subjacente (FEITOSA et al., 2008; PINHEIRO, 2024).

Os aquíferos fissurais apresentam elevada complexidade devido às condições de disjunções, assim como pela composição dos litotipos. O meio litológico pode apresentar fraturamento contínuo, condição mais favorável para o armazenamento e a circulação hídrica. Já o meio litológico com fraturamento descontínuo não apresenta uma interconexão significativa e contínua em diversas direções. Sabe-se que as fraturas, em geral, não são compostas por um único plano paralelo, mas por famílias de planos subparalelos. As linhas de drenagem encaixadas em fraturas e diáclases do embasamento são fundamentais, juntamente com aluviões a eles associados, para a alimentação dos aquíferos fraturados, constituindo importantes guias na prospecção de água subterrânea (MANOEL FILHO, 2008; SÁ et al., 2008; PINHEIRO, 2024).

Esse Domínio Hidrogeológico, consoante Cavalcante (1998), apresenta fraca vocação aquífera e as melhores áreas são condicionadas pela existência de zonas cisalhantes, com fraturas abertas. Frequentemente, essas fraturas encontram-se relacionadas a reservatórios superficiais de água, que atuam como importantes fontes de recarga. As vazões produzidas por poços são pequenas, geralmente inferiores a 2 m³/h, com capacidade específica predominantemente abaixo de [1,0 m³/h/m], em função da deficiência de circulação e dos efeitos do clima semi-árido e, na maior parte das vezes, a água é salinizada. No estado do Ceará, conforme Möbus et al. (1998), a vazão média para o domínio das rochas cristalinas é de 1,7 m³/h (MANOEL FILHO, 2008).

Apesar do baixo potencial hidrogeológico desse domínio, sua relevância não pode ser negligenciada, especialmente como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (FEITOSA et al., 2008; PINHEIRO, 2021; PINHEIRO, 2024).

A geofísica aplicada contribui, de maneira direta, no entendimento do modelo geológico e hidrogeológico em subsuperfície. A geofísica aplicada pode ser dividida em: Métodos Elétricos e Eletromagnéticos, Métodos Sísmicos, Métodos Potenciais (dividido em Gravimetria e Magnetometria) e Métodos Geotérmicos (PINHEIRO, 2024). Acerca do uso da geofísica para os estudos sobre águas subterrâneas, Cabral e Paiva (2004, p.162) afirmam que:

A geofísica aplicada contribui, de maneira direta, no entendimento do modelo geológico e hidrogeológico em subsuperfície. A geofísica aplicada pode ser dividida em: Métodos Elétricos e Eletromagnéticos, Métodos Sísmicos, Métodos Potenciais (dividido em Gravimetria e Magnetometria) e Métodos Geotérmicos. Os métodos geofísicos mais utilizados na hidrogeologia são os métodos elétricos, dos quais podemos destacar os métodos de eletrorresistividade, polarização induzida, potencial espontâneo, radar de penetração e eletromagnético [...]

Ainda sobre o uso da Geofísica para locação de poços em terrenos cristalinos Garcês (2019, p. 84) reforça:

Salientamos que a locação de poços em terrenos cristalinos é uma tarefa complexa, exigindo do geólogo não só um conhecimento prático do manuseio de equipamentos e domínio na aplicação de arranjos geoeletricos, mas também de um conhecimento geológico e hidrogeológico da região. Ressalta-se também que existem métodos e equipamentos mais modernos para locações de poços, como a Tomografia Elétrica (ou Imageamento Elétrico) 2D, 3D e 4D, com sistemas de aquisição automática de dados, a técnica se baseia em um número grande de medições de resistividade elétrica, usando diferentes arranjos de eletrodos. As informações são processadas e o resultado é apresentado na forma de imagens bi e tridimensionais de resistividade verdadeiras, em função da profundidade, com alta resolução.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram realizadas duas campanhas de levantamento geofísico utilizando o método da eletrorresistividade com arranjo gradiente. Esse método geofísico usa uma linha de transmissão de corrente elétrica para medir a resistividade do subsolo.

Para isso, dois eletrodos de corrente (A e B) injetam corrente elétrica no solo, enquanto a diferença de potencial resultante é obtida por outros dois eletrodos (M e N), que são deslocados sobre perfis paralelos à linha A – B. A partir dos dados obtidos, são produzidos perfis justapostos e/ou mapas de contorno.

Entre as informações captadas, destacam-se: tipo de material geológico de subsuperfície, assim como as estruturas presentes, espessura, profundidade (GARCÊS, 2019). Ainda sobre esse método, Soares *et al.* (2022, p. 2), reforça que:

À medida que o dipolo MN se afasta do eletrodo A o ponto x se afasta para a direita e se torna mais profundo, atingindo sua profundidade máxima quando o dipolo MN se encontra no centro do spread. Ao passar pelo centro do segmento e se aproximar do eletrodo B, o ponto assinalado em subsuperfície se torna cada vez menos profundo e mais próximo do eletrodo B, descrevendo uma trajetória em “V”.

As campanhas de estudos geofísicos resultaram na construção de 30 poços tubulares no município de Iracema. Dentre esses, 19 foram destinados ao abastecimento da sede municipal, que enfrentava uma crise de abastecimento devido à seca, com os reservatórios superficiais (açudes) secos. Os outros 11 poços, foram distribuídos nas seguintes localidades: Chapada, Jurema, Mororó, Foz de Cima, Foz/Germano, Tabuleiro Alto, Serra Vermelha, Água Nova/Ema, Bom Sucesso/Ema, Sítio Bom Sucesso e Fazenda Bom Sucesso. Acerca dos poços estudados na relação com o contexto estrutural, observar a Figura 3.

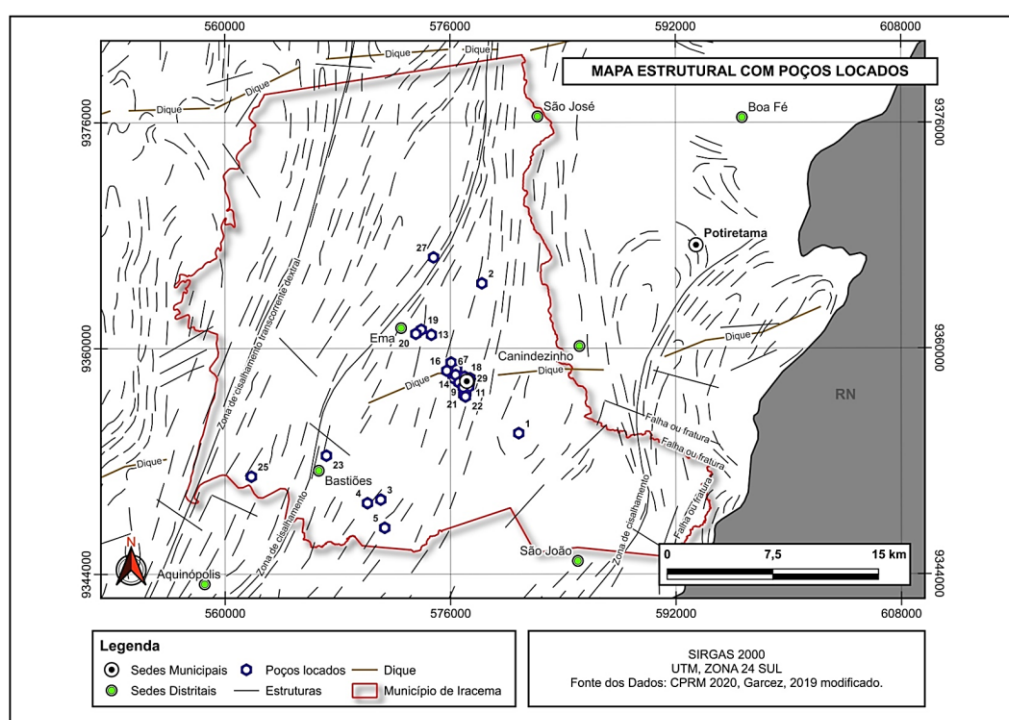


Figura 3. Mapa de análise estrutural da área de estudo com os poços locados

Em cada perfil geolétrico executado, foram coletados dados locais, por meio do mapeamento litológico (ígneas e metamórficas), bem como do mapeamento estrutural, com medições das direções de foliação, fraturas e falhas. Essas informações foram fundamentais para definir o método de locação, o ajuste da orientação dos perfis geolétricos e a correlação dos resultados obtidos com a produtividade hídrica dos poços.

Os perfis foram realizados com uma abertura dos eletrodos de corrente $AB = 240$ m e uma abertura dos eletrodos de recepção $MN = 8$ m, permitindo alcançar uma profundidade de investigação teórica de 60 m. Todos os poços foram construídos pela Superintendência de Obras Hídricas (SOHIDRA) com a finalidade de abastecimento público e encontram-se quantificados em Brasil (2023).

Para a execução dos perfis de resistividade, foram utilizados dois resistivímetros: o CTRL TECH CDC 12/1000 Vcc, equipado com um conversor com entrada de 12 V e saída de até 1000 mV (milivolts), além de um milivoltímetro alimentado por pilhas AA recarregáveis; um resistivímetro X5xtal da auto energia, que possui um conversor com entrada de 12 V e saída de até 600 mV (milivolts), juntamente com um milivoltímetro alimentado por pilhas AA. Os dados de resistividade aparente obtidos foram processados no software Excel 2010 e plotados ao longo dos perfis em uma dimensão (1D), considerando as estações de leitura e seus respectivos espaçamentos.

Para as interpretações das curvas de resistividade elétricas obtidas nos levantamentos geofísicos, que serviram como base para locações dos poços, foi empregado um método interpretativo desenvolvido no âmbito desta pesquisa, denominado DAGE – Detecção de Anomalias Geoelétricas, apresentado nos resultados a seguir.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, será detalhado o desenvolvimento do método DAGE, bem como os resultados obtidos com sua aplicação na locação e construção dos 30 poços tubulares.

6. Método DAGE – Detecção De Anomalias Geoelétricas

O método DAGE utiliza os dados das curvas geoelétricas de campo para determinar, graficamente, os locais mais adequados para a construção de poços tubulares. A análise baseia-se na extensão e configuração das anomalias geoelétricas e litotipos locais.

O método parte da premissa de que há um diferencial gráfico no comportamento das curvas de resistividade, que diferenciam as zonas fraturadas das zonas não fraturadas. Em que as primeiras representam potenciais armazenadores de águas subterrâneas representando aquíferos fraturados, heterogêneos e anisotrópicos.

No desenvolvimento do método, foram analisados os padrões das curvas geoelétricas obtidas para a locação dos 30 poços, considerando as características das zonas anômalas (estreitas ou extensas), os valores de resistividade (baixos, moderados ou altos), as informações sobre litotipos e, *a posteriori*, as profundidades e vazões dos poços tubulares construídos durante a pesquisa.

A partir da análise dessas informações, foram identificados dois tipos distintos de curvas geoelétricas:

1. **Curva em forma de “U”:** Caracterizada por apresentar uma anomalia geoelétrica em forma de “U”, com dois ou mais valores de baixa resistividade aparente ($< 200 \Omega m$) e uma extensa zona anômala. Na área de estudo, esse padrão de curva é geralmente associado às rochas gnáissicas fraturadas do Complexo Jaguaretama. Todos os poços construídos em áreas com esse tipo de curva e litotipos foram produtivos, com vazões máximas de até $16 \text{ m}^3/\text{hora}$, um valor extremamente anômalo para aquíferos fraturados no Nordeste, onde a vazão média é de $2 \text{ m}^3/\text{h}$.
2. **Curva em forma de “V”:** Apresenta uma anomalia geoelétrica em forma de “V”, com um único valor de baixa ou moderada resistividade (200 a $400 \Omega m$) e por uma zona anômala estreita. Na área de estudo, esse padrão ocorre nas rochas graníticas dos Plútons Pereiro e Plúton Sem Denominação. Dos 10 poços construídos em locais associados a esses litotipos, seis foram improdutos e os demais apresentaram vazões inferiores a $1,14 \text{ m}^3/\text{h}$.

Essas distinções permitem uma previsão mais precisa da produtividade dos poços com base nas características das curvas geoelétricas observadas em campo, evidenciando a eficácia do método DAGE, otimizando a locação dos poços no meio cristalino.

6.1.1. Modelo de classificação qualitativa das curvas (Anomalias Geométricas)

A classificação qualitativa das curvas construídas com os dados dos perfis geoeletricos de campo resultou, basicamente, na individualização de dois comportamentos geométricos descritos a seguir.

- ✓ **Curva Geoeletrica em "U":** Representa um modelo com padrões resistivos e condutivos, podendo incluir mais de dois pontos de **baixa resistividade**. Esse tipo de curva é caracterizado por uma configuração em "U", indicando uma ampla zona de condutividade elevada. A presença de múltiplos pontos condutivos sugere um ambiente de rochas fraturadas e zonas de alta porosidade, conforme ilustrado na Figura 4.

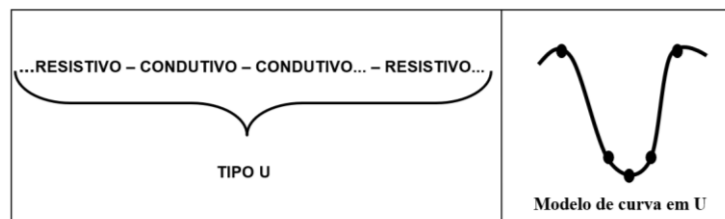


Figura 4. Modelo de curva com anomalia geoeletrica em "U"

- ✓ **Curva Geoeletrica em "V":** Apresenta um modelo com padrões resistivos e condutivos, mas com uma característica principal de um único ponto de baixa resistividade. Esta curva forma um "V" e indica uma zona de condutividade mais estreita e menos extensa em comparação com a curva em "U". Sendo assim, sugere uma área por rochas pouco ou não fraturadas e de menor porosidade, conforme representado na Figura 5.

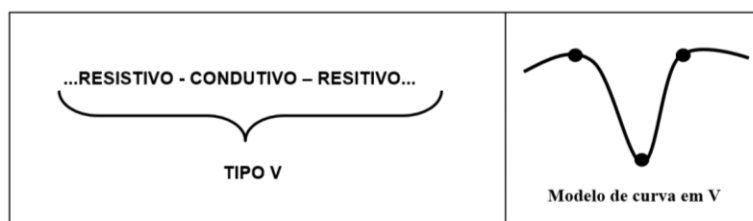


Figura 5. Modelo de curva com anomalia geoeletrica em "V"

6.1.2. Modelos esquemáticos dos perfis geoeletricos

Para facilitar a visualização e compreensão do método, foram criados modelos esquemáticos para cada tipo de curvas (U e V), fundamentados nos dados obtidos do levantamento geofísico, conforme ilustrado nas Figuras 6a e 6b.

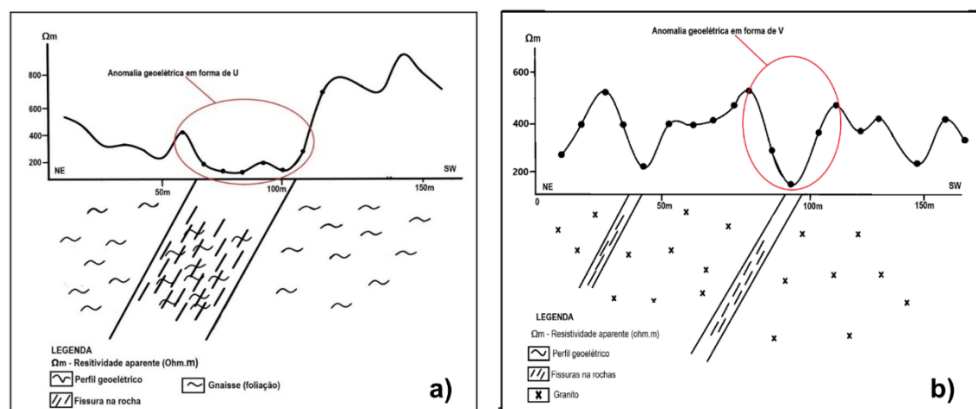


Figura 5. Perfis de resistividade elétrica. Em 6a) mostra um perfil em forma de U executados na localidade Água Nova/Ema, município de Iracema - Ceará, que resultou em um poço tubular com vazão de 10,3 m³/h. Em 6b) observa-se um perfil em forma de V executado na localidade Serra Vermelha, município de Iracema - Ceará resultando na construção de um poço tubular com vazão de 0,85 m³/h.

6.1.3. Conceitos associados a interpretação no Método DAGE

A predominância das curvas em forma de "U" nas rochas gnáissicas do Complexo Jaguaretama, no Ceará, associada às extensas anomalias geoeletricas e à elevada produtividade dos poços, pode ser atribuída às características geológicas dessas rochas. Segundo Dunne e Hancock (1994); Van der Pluijm e Marshak (1997); Aydin (2000), os xistos e gnaisses apresentam uma forte anisotropia estrutural, o que favorece o desenvolvimento de fraturas densas e de dimensões reduzidas.

Esse padrão de fraturamento denso, melhora a conectividade entre as fraturas, facilitando a infiltração e acumulação de água. Nos gnaisses, o plano de descontinuidade primária (foliação), combinado com estruturas secundárias (fraturas), aumenta a interconexão, a porosidade e a permeabilidade da rocha, justificando a maior produtividade dos poços construídos nesse litotipo. O adensamento das fraturas e sua interação com a foliação resultam em anomalias geoeletricas mais extensas, caracterizadas por múltiplos pontos de baixa resistividade.

Em contraste, as curvas em forma de "V", associadas a estreitas anomalias geoeletricas, predominam nas rochas graníticas, em razão do elevado grau de competência dessas rochas. De modo geral, essas rochas são maciças e carecem de planos de fraqueza, como foliação, clivagem ou xistosidade, tornando-as menos propensas ao desenvolvimento de fraturas que possam armazenar água.

De acordo com Dunne e Hancock (1994); Van der Pluijm e Marshak (1997); Aydin (2000), as rochas cristalinas maciças, caracterizadas por anisotropia mais fraca (como foliação em granitoides pouco deformados), tendem a desenvolver fraturas mais longas, porém mais espaçadas.

Esse fator reduz a conectividade entre as fraturas e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração e acumulação de água. Além disso, a ausência de planos de descontinuidade originais, como foliações, diminui a intercomunicação entre as zonas fraturadas, resultando em menor porosidade e permeabilidade da rocha. Esse fenômeno justifica a baixa produtividade dos poços (vazões $< 1,14 \text{ m}^3/\text{h}$) e a ocorrência de poços improdutivos em rochas graníticas.

Do ponto de vista hidrogeológico, o maior espaçamento entre as fraturas e a falta de foliação nesse litotipo resultam em uma baixa interconexão entre as zonas fraturadas, reduzindo a capacidade de armazenamento e transmissão de águas subterrâneas. Esse comportamento é refletido nas anomalias geoeletricas estreitas, caracterizadas apenas um ponto de baixa resistividade.

6.2. Poços tubulares

Os resultados obtidos na construção dos poços utilizando o método DAGE indicaram que 24 (80%) foram produtivos, com vazões variando de $0,40 \text{ m}^3/\text{h}$ a $16 \text{ m}^3/\text{h}$. Em contraste, seis (20%) foram improdutivos, apresentando vazões inferiores a $0,40 \text{ m}^3/\text{h}$. Entre os 20 poços construídos nas rochas gnáissicas, todos foram produtivos. No entanto, dos 10 poços construídos em rochas graníticas, seis mostraram-se improdutivos conforme detalhado na Tabela 1.

Para classificar a produtividade dos poços, utilizou-se a definição da Superintendência de Obras Hídricas do Ceará - SOHIDRA, que considera poços com vazão $< 0,40 \text{ m}^3/\text{h}$ como improdutivos e aqueles com vazão $\geq 0,40 \text{ m}^3/\text{h}$ como produtivos.

Com base nas informações coletadas dos poços tubulares construídos no município de Iracema durante esta pesquisa, foi possível analisar as características hidrodinâmicas dos aquíferos. Foram examinados histogramas de profundidade, vazão, revestimento, fraturas, nível estático (NE) e nível dinâmico (ND). Na Tabela 2 é apresentada uma síntese dos dados estatísticos dos poços.

6.2.1. Perfis de resistividade elétrica dos poços tubulares construídos

Durante o levantamento, identificaram-se 19 perfis com curvas em forma de "U" e nove perfis com curvas em forma de "V". Foram selecionados seis perfis geoeletricos representativos para ilustrar as curvas adquiridas durante essa pesquisa, conforme apresentado nas Figuras 7 e 8.

Tabela 1 – Dados dos 30 poços tubulares construídos em Iracema - CE.

Nº	Localidade	E	N	Prof. (m)	Revest. (m)	NE(m)	ND(m)	Vazão (m³/h)	Fraturas (m)	Litologia
1	Tabuleiro Alto P3	580846	9353987	81,00	5,00	4,40	61,30	16,00	16 - 22 - 32	Gnaiss
2	Água Nova/ Ema	578241	9364610	85,00	8,00	7,70	19,82	10,30	17- 22 - 29	Gnaiss
3	Foz - Germano / Bastiões	571047	9349290	83,70	12,00	5,00	17,19	10,30	12 - 24 -48	Gnaiss
4	Foz de Cima	570106	9349041	90,00	16,00	4,62	39,37	2,12	18- 26 - 39	Gnaiss
5	Mororó - P2	571327	9347292	70,00	8,00	4,60	35,35	2,40		Gnaiss
6	Rua Joaquim Farias de Sousa	576076	9358403	77,00	8,00	4,00	34,30	12,00	16 - 25	Gnaiss
7	Rua José Osvaldo Diógenes	576448	9358547	76,00	12,00	5,30	44,10	8,50	-	Gnaiss
8	Rua Francisco Roque de Oliveira	576196	9357900	60,00	18,00	6,10	36,30	7,20	-	Gnaiss
9	Avenida Gervásio de Holanda - P1	576882	9357583	80,00	8,00	10,00	64,00	1,00	24	Gnaiss
10	Avenida Gervásio de Holanda - P1	576881	9357700	100,00	6,00	12,00	59,00	5,50	76 - 84	Gnaiss
11	Rua Francisco Lucinha de Sousa	577325	9357540	60,00	14,00	10,00	39,00	4,80	10 - 24	Gnaiss
12	Rua Maria Rosa Flor	576050	9358998	80,00	21,00	10,00	48,00	5,70	16 - 36 - 50	Gnaiss
13	Fazenda Bom Sucesso	574653	9360966	85,00	7,00	6,30	57,80	4,70		Gnaiss
14	Rua Fanca Diógenes.	576371	9358127	60,00	18,00	8,50	46,00	3,00	20 - 25	Gnaiss
15	Próximo a Creche	577103	9356843	80,00	4,00	30,00	58,00	1,80	16 - 35	Gnaiss
16	Em frente ao Clube Campo	575746	9358418	60,00	10,60	6,00	53,80	2,00	-	Gnaiss
17	Praça do Carrapicho	576609	9357581	69,00	12,00	15,30	53,00	2,00	17- 24 -32	Gnaiss
18	Rua Francisco das Chagas Queiroz Campelo	577016	9357992	80,00	12,00	10,00	62,00	1,50	-	Gnaiss
19	Bom Sucesso / Ema	573937	9361326	85,00	12,70	7,34	38,75	1,40	16 -19 -31	Gnaiss
20	Sítio Bom Sucesso	573551	9361035	72,00	20,00	7,20	39,40	1,00	-	Gnaiss
21	Rua Maria Florentina	576949	9356714	85,00	11,40	-	-	Seco	-	Granito
22	Bairro CAGECE	577070	9356587	97,00	8,00	-	-	Seco	22	Granito
23	Jurema (Bastiões)	567194	9352410	70,00	8,00	-	-	Seco	13	Granito
24	Rua Ulisses de H. Campelo.	577335	9357669	94,00	8,00	-	-	Seco	-	Granito
25	Chapada/ Bastiões	561867	9350925	80,00	4,00	8,04	17,44	0,12	13 -19 29 - 37	Granito
26	Rua São José ao lado do Cemitério	577304	9357289	80,00	8,00	6,00	53,80	0,20	-	Granito
27	Serra Vermelha	574812	9366448	70,00	12,00	6,26	41,98	0,85	21 - 28 -58	Granito
28	Avenida Maria Nilde de Queiroz	576908	9357237	80,00	11,00	6,00	64,60	1,14	25	Granito
29	Rua Cap. Manoel Rufino de N. - P1	577423	9357868	80,00	8,00	10,00	63,00	1,00	24	Granito
30	Rua Cap. Manoel Rufino - P2	577374	9357868	80,00	14,00	11,60	69,40	0,40	16 - 32	Granito

Tabela 2 – Variáveis estatísticas dos poços tubulares construídos em Iracema - CE com a metodologia interpretativa DAGE.

Estatística dos poços	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Fraturas (m)
Média	78,32	10,28	3,56	8,55	40,56	27,60
Mediana	80,00	10,80	2,06	7,27	47,00	24,00
Moda	80,00	8,00	1,00	10,00	53,80	16,00
Desvio Padrão	10,38	4,49	4,22	5,18	14,82	15,53
Mínimo	60,00	4,00	0,00	4,00	17,19	10,00
Máximo	100,00	21,00	12,00	30,00	69,40	84,00

Números de dados (poços) - 30

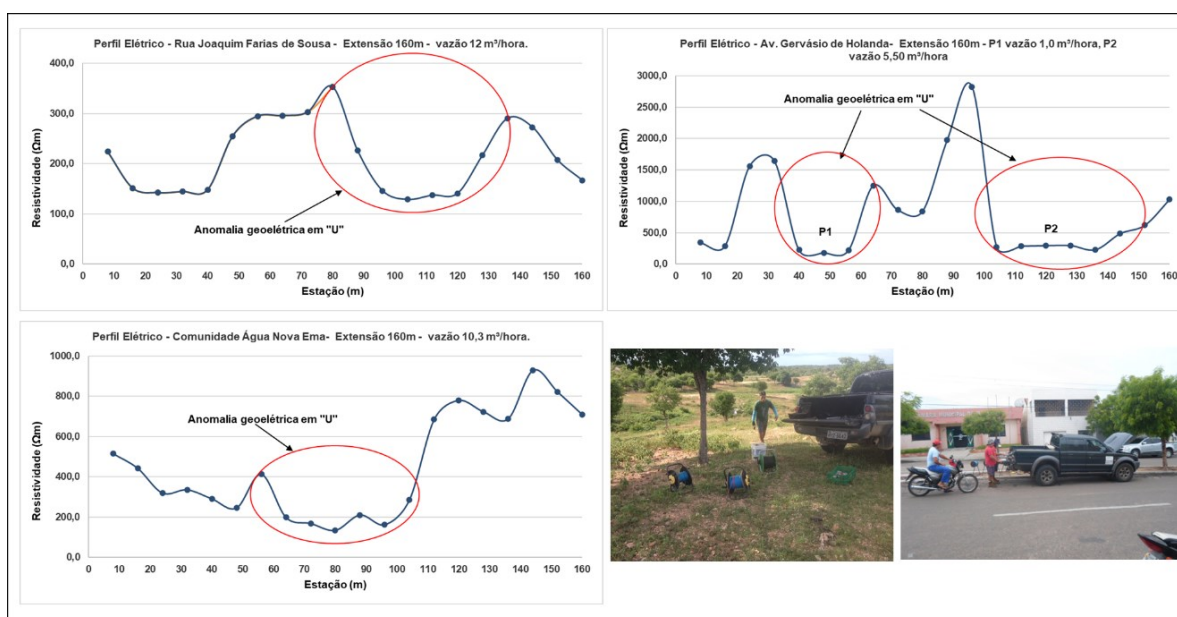


Figura 7. Perfis geoeletricos em forma de “U” obtidas a partir do levantamento geofísico

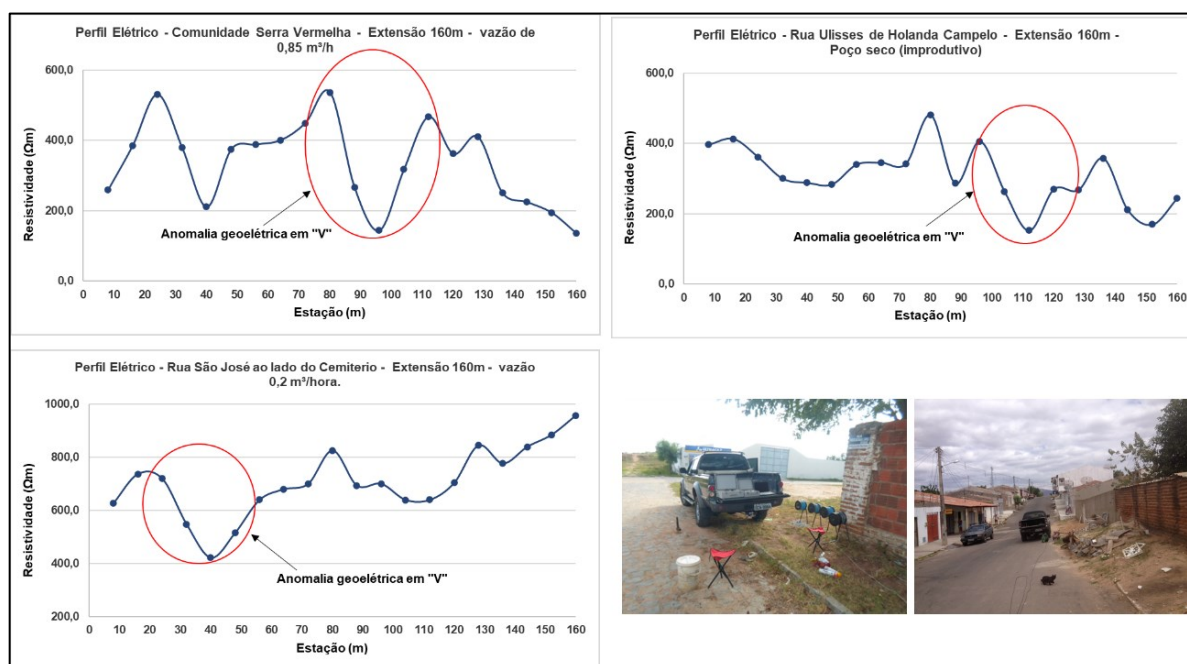


Figura 8. Perfis geoeletricos em forma de “V” obtidas a partir do levantamento geofísico realizado no município de Iracema/CE.

7. CONCLUSÕES

A utilização do método de eletrorresistividade com arranjo gradiente na prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos demonstrou elevada precisão nas locações dos poços. Dos 30 poços construídos, com profundidade média de 78 m, 24 (80%) foram produtivos, apresentando vazões entre 0,40 e 16 m³/h, enquanto seis (20%) foram classificados como improdutivo, com vazões inferiores a 0,40 m³/h. A vazão média dos poços construídos foi de 3,56 m³/h, valor superior à média de 2,0 m³/h observada em poços tubulares perfurados em terrenos cristalinos no estado do Ceará.

A aplicação do método DAGE revelou que todos os 20 poços tubulares localizados em rochas gnáissicas do Complexo Jaguaratama, os quais exibiam curvas geoeletricas do tipo “U” e estavam associados a extensas zonas anômalas, foram produtivos, com vazão máxima de 16 m³/h. Em contraste, os poços situados em rochas graníticas dos Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação, que apresentavam curvas do tipo “V” e estavam associados a

estreitas zonas anômalas, mostraram baixa vazão ou foram improdutivos. Dos 10 poços construídos nesse litotipo, apenas quatro foram produtivos (com vazão > 1,14 m³/h), enquanto seis foram improdutivos (com vazão ≤ 0,40 m³/h).

O método DAGE demonstrou eficácia na melhoria da precisão e da produtividade dos poços tubulares, sendo aplicável a qualquer região composta por terrenos cristalinos. Esse método permitiu a identificação precisa dos tipos de curvas características para rochas metamórficas e ígneas, predominantes nesse contexto geológico. Reforça-se que a localização de poços em rochas gnáissicas, associadas a curvas do tipo "U", tende a resultar em um desempenho superior.

Um fato curioso é que, no município de Iracema, estado do Ceará, onde a pesquisa foi conduzida e resultou no desenvolvimento do DAGE, à época estava proibida a locação de poços com métodos geofísicos, função direta do grande índice de insucesso observado. No entanto, em função da escassez hídrica, da necessidade de construção de poços e da participação de órgãos estaduais, bem como de reuniões com representantes políticos locais, autorizou-se o desenvolvimento da pesquisa e construção dos poços. O êxito do projeto resultou na retomada da confiança na aplicação de metodologias técnicas rigorosas conduzidas por profissionais qualificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2021.

ALMEIDA, A. R.; MAIA, L. T. S.; BRAGA, L. R. C.; MARTINS, T. F.; FERNANDES, T. R. C. **Folha Jaguaratama – SB 24- X-C-IV**. Escala: 1:100.000. Fortaleza: CPRM; UFC, 2011. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17779>. Acesso em: 11 ago. 2024.

ANTONELLINI, M.; MOLLEMA, P. A natural analog for a fractured and faulted reservoir in dolomite: Triassic Sella Group, northern Italy. **American Association of Petroleum Geologists bulletin**, [S. l.], v. 84, n. 3, p. 314-344, mar. 2000. Disponível em: Acesso em: https://www.researchgate.net/publication/225038613_A_natural_analog_for_a_fractured_and_faulted_reservoir_in_dolomite_Triassic_Sella_Group_Northern_Italy. Acesso em: 11 ago. 2024.

BRASIL. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS**. Rio de Janeiro: CPRM; SGB, 2023. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em: 31 jan. 2024.

CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R. Salinização de aquíferos costeiros: investigação e modelagem. In: CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. C. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L. M.; COSTA, W. D. (org.). **Água subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento**. Recife: UFPE, 2004. p. 137-181.

CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. 1998. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000973160>. Acesso em: 22 ago. 2024.

CAVALCANTE, J. C. **Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 1999. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/18735>. Acesso em: 20 ago. 2024.

CAVALCANTE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; MEDEIROS, M. F.; PAIVA, I. G. **Mapa geológico do Estado do Ceará**. Fortaleza: Ministério das Minas e Energia - MME; Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, 2003. 1 mapa, color. Escala 1:500.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2355>. Acesso em: 19 ago. 2024.

DUNNE, W. M.; HANCOCK, P. L. Palaeostress analysis of small-scale brittle structures. In: HANCOCK, P. L. (org.). **Continental deformation**. Tarrytown, NY: Pergamon Press, 1994. p. 101-124.

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

GARCÊS, A. S. **Prospecção de água subterrânea por eletrorresistividade em terrenos cristalinos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/46272>. Acesso em: 13 ago. 2024

GOMES, F. I. B. P.; ZANELLA, M. E. Histórico, causas e características da semiaridez do Nordeste do Brasil. **Geografares**, [S. l.], v. 3, n. 37, p. 209-233, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/41515>. Acesso em: 18 ago. 2024.

MAGINI, C.; HACKSPACHER, P. C. Geoquímica e ambiência tectônica do arco magmático de Pereiro, região NE da Província Borborema. **Revista Brasileira de Geociências**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 336-355, 2008. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/2008/n.2/j.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2024.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicação**. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008. p. 53-75.

MELO, V. S.; SOUSA, F. A. S. Análise de frequência de secas utilizando técnica de agrupamento e distribuições de probabilidades. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 1, p. 53-60, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350125912_Analise_de_frequencia_de_secas_utilizando_tecnica_de_agrupamento_e_distribuicoes_de_probabilidades. Acesso em: 10 ago. 2024.

MÖBUS, G.; SILVA, C. M. S. V.; FEITOSA, F. A. C. Perfil estatístico dos poços no cristalino Cearense. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 3., 1998, **Anais [...]**, Recife. Recife: ABAS, 1998. p. 184-185. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24019>. Acesso em: 20 ago. 2024.

PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. O sistema Orós-Jaguaribe no Ceará, NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, [S. l.], v. 25, n. 24, p. 297-306, 1995. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/1995/n.4/6.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024

PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M. **Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Ceará**. Escala: 1:500.000. Fortaleza: CPRM, 2021.

PINÉO, T. R. G. et al. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2020. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

PINHEIRO, A. F. C. **Águas subterrâneas, evolução dos sistemas técnicos de exploração na aluvião do Rio Jaguaribe em São João do Jaguaribe-CE no contexto do uso e ocupação do solo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/63699>. Acesso em: 12 ago. 2024.

PINHEIRO, A. F. C. **Natureza, geologia, aquíferos, expansão capitalista do campo e as implicações no território em São João do Jaguaribe-CE**. 2024. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=116740>. Acesso em: 11 ago. 2024.

PINHEIRO, A. F. C.; PINHO, E. A. **Mapeamento geológico e as águas subterrâneas do município São João do Jaguaribe – Ceará**. 2015. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/42581>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SÁ, E. F. J. et al. Conceitos de análise estrutural aplicados à hidrogeologia de terrenos cristalinos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicação**. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008. p. 97-120. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14818>. Acesso em: 10 ago. 2024.

SÁ, J. M. **Evolution géodynamique de la ceinture protérozoïque d'Orós, Nord-Est du Brésil**. 1991. Tese (Doutorado) - Université de Nancy, França, 1991. Disponível em: <https://theses.fr/1991NAN10318>. Acesso em: 15 ago. 2024

SÁ, J. M.; MCREATH, I.; LETTERRIER, J. Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós fold belt (Borborema Province, Northeast Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 299-314, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0895981195000158>. Acesso em: 11 ago. 2024.

SOARES, J. Â. et al. Arranjo gradiente otimizado para a detecção de lixiviado em aterro sanitário. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 9., 2023, **Anais [...]**, Tocantins: IFTO, 2023. p. 2, 2022. Disponível em: https://sbgf.org.br/mysbgf/eventos/expanded_abstracts/IX_SimBGf/Arranjo%20gradiente%20otimizado%20para%20a%20de%20tec%20C3%A7%20C3%A3o%20de%20lixiviado%20em%20aterro%20sanit%C3%A1rio.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

SOHIDRA. **Superintendência de Obras Hidráulicas**. Banco de Dados de poços tubulares do Ceará, Fortaleza. Disponível em: Acesso em: 20 ago. 2024.

SOUZA, M. J. N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. *In*: LIMA, L. C. (org.).

Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Fortaleza: FUNECE, 2002. Disponível em:

<https://www.sohidra.ce.gov.br/>. Acesso em: 22 ago. 2024

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p 73-91, 1988. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/docs/contribuicao-ao-estudo-das-unidades-morfo-estruturais-do-estado-do-ceara/2679118/>. Acesso em: 11 ago. 2024.

SUDENE. **Relatório Final do grupo de trabalho para delimitação do Semiárido.** [S. l.]: Ministério da Integração Nacional, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/relatoriosemiarido-pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SUDENE. **Relatório final preliminar para delimitação do Semiárido.** [S. l.]: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/relatoriosemiarido-pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

VAN DER PLUIJM, B.; MARSHAK, S. **Earth structure**: an introduction to structural geology and tectonics. [S. l.]: McGraw-Hill, 1997