



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**PAULO GIOVANI SARAIVA DE OLIVEIRA**

**DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL INTEGRADO EM SOLO E ÁGUA**  
**SUBTERRÂNEA EM ÁREA INDUSTRIAL ENERGÉTICA NO MUNICÍPIO DE**  
**MARACANAÚ – CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2026**

PAULO GIOVANI SARAIVA DE OLIVEIRA

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL INTEGRADO EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA  
EM ÁREA INDUSTRIAL ENERGÉTICA NO MUNICÍPIO DE MARACANAÚ – CEARÁ

Trabalho de Defesa da dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geologia. Linha de Pesquisa: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Gonçalves  
Neves Lopes Salgueiro

FORTALEZA

2026

PAULO GIOVANI SARAIVA DE OLIVEIRA

INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL PASSIVO AMBIENTAL EM SOLO E ÁGUA  
SUBTERRÂNEA NA ÁREA DA COMPANHIA ENERGÉTICA DO CEARÁ – ENEL –  
MARACANAÚ

Trabalho de Defesa da dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geologia. Linha de Pesquisa: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: 18/05/2026.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Jackson Alves Martins  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Cláudio César Aguiar Cajazeiras  
Serviço Geológico do Brasil (CPRM)

A Deus,  
por ter iluminado meus caminhos e fortalecido  
minha caminhada até aqui.

À minha família, à minha esposa e, em especial,  
ao meu pai, José Milton de Oliveira, por terem  
sido exemplos de dedicação e por sempre  
incentivarem, por meio do estudo, a construção  
de um futuro pautado no conhecimento, na ética  
e na perseverança.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter concedido sabedoria, força e perseverança ao longo desta caminhada acadêmica.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico e científico. Formatação adequada

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro, pela orientação, dedicação, confiança e valiosas contribuições durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Jackson Alves Martins e Dr. Cláudio César Aguiar Cajazeiras, pelas relevantes contribuições, sugestões e pelo tempo dedicado à avaliação deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFC, pelos ensinamentos e contribuições fundamentais para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas trocas de conhecimento, reflexões, incentivo e companheirismo ao longo desta trajetória.

À minha família, à minha esposa e aos amigos, pelo apoio, compreensão e incentivo durante todos os momentos desta caminhada.

Por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“O presente é a chave do passado.”

(James Hutton)

## RESUMO

O crescimento industrial e urbano observado nas últimas décadas tem intensificado a pressão sobre os recursos naturais, especialmente sobre o solo e as águas subterrâneas, que atuam como importantes reservatórios ambientais e fontes estratégicas de abastecimento. O método empregado compreendeu a execução integrada de levantamentos planialtimétricos e geofísicos, sondagens, coletas de amostras de solo e água, medições de compostos orgânicos voláteis (VOC) e ensaios de infiltração, organizados em etapas sequenciais e complementares, visando garantir a confiabilidade, precisão e representatividade dos dados obtidos. Nos resultados obtidos observou-se a presença de uma camada superficial com elevada condutividade elétrica até aproximadamente 12 m de profundidade. Destaca-se, entre as estacas 35 e 75 m, uma anomalia marcadamente condutiva, com valores de resistividade da ordem de até  $2 \Omega \cdot m$ , apresentando maior intensidade próxima à estaca de 40 m. O Imageamento Elétrico – Linha 02 apresentou uma camada superficial com resistividades variando entre 100 e  $300 \Omega \cdot m$ , sobreposta a uma camada altamente condutiva que se estende, praticamente, por toda a seção investigada, com maior intensidade entre as estacas 40 e 100 m. O valor médio do coeficiente de infiltração obtido foi 25,58, o que indica um comportamento hidráulico intermediário do solo. Para a realização destes furos de sondagem (poços de inspeção) foram utilizados os trados manuais de 4". A profundidade final atingida foi de 1,00m. Foram feitas medições a 0,00 m, 0,50 m e 1,00 m de VOC com o equipamento utilizado para análise do diagnóstico ambiental (Phocheck Tiger – PidGas Detector). Em nenhum poço de inspeção foi atingindo o nível d'água. os resultados analíticos das amostras de solo coletadas nos pontos E-01 a E-15, contemplando os compostos do grupo BTEX e os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH). De modo geral, todas as substâncias analisadas apresentaram concentrações inferiores aos respectivos limites de quantificação laboratoriais, sendo reportadas como “<LQ”.

**Palavras-chave:** Contamination; Geology; BTEX Group.

## ABSTRACT

Industrial and urban growth observed in recent decades has intensified pressure on natural resources, especially on soil and groundwater, which act as important environmental reservoirs and strategic sources of supply. The methodology employed comprised the integrated execution of planialtimetric and geophysical surveys, boreholes, soil and water sampling, measurements of volatile organic compounds (VOCs), and infiltration tests, organized into sequential and complementary stages to ensure the reliability, accuracy, and representativeness of the data obtained. The results revealed the presence of a surface layer with high electrical conductivity down to approximately 12 m depth. Notably, between chainages 35 m and 75 m, a markedly conductive anomaly was identified, with resistivity values as low as  $2 \Omega \cdot \text{m}$ , showing greater intensity near the 40 m mark. Electrical Imaging – Line 02 showed a surface layer with resistivities ranging from 100 to  $300 \Omega \cdot \text{m}$ , overlying a highly conductive layer that extends across almost the entire investigated section, with greater intensity between chainages 40 m and 100 m. The average infiltration coefficient obtained was 25.58, indicating an intermediate hydraulic behavior of the soil. For the execution of these boreholes (inspection wells), 4-inch manual augers were used, reaching a final depth of 1.00 m. VOC measurements were carried out at depths of 0.00 m, 0.50 m, and 1.00 m using the equipment applied in the environmental diagnostic analysis (PhoCheck Tiger – PID gas detector). The water table was not reached in any of the inspection wells. Analytical results of soil samples collected at points E-01 to E-15, covering compounds from the BTEX group and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), showed that, in general, all analyzed substances presented concentrations below their respective laboratory quantification limits, being reported as “<LQ”.

**Keywords:** palavra 1; palavra 2; palavra 3.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Acesso à Companhia Energética do Ceará – Enel – Maracanaú/CE.....	16
Figura 2 - Zoneamento urbano e ambiental da área .....	18
Figura 3 - Vista da Companhia Energética do Ceará – Enel .....	18
Figura 4 - Mapa geológico do estado do Ceará simplificado, com o município de Maracanaú em relação aos domínios cristalinos e sedimentares do estado do Ceará.....	20
Figura 5 - Mapa hidrogeológico, com foco na Região Metropolitana de Fortaleza/CE.....	22
Figura 6 - Aerofotografia da área levantada e sua localização, com vista para oeste	23
Figura 7 - Base geodésica instalada dentro do terreno com o objetivo de registrar, de forma estática, as coordenadas para posterior correção .....	27
Figura 8 - Registro e marcação dos pontos de controle e checagem no campo .....	28
Figura 9 - Aerofotografia da área levantada e sua localização, com vista para leste ....	29
Figura 10 - Aerofotografia da área levantada e sua localização, com vista para sudeste .....	29
Figura 11 - Linhas de voo executadas para aquisição das imagens aéreas da área de estudo .....	30
Figura 12 - Distribuição das altitudes e cotas do terreno levantado.....	31
Figura 13 - Distribuição dos pontos de controle e de checagem pela área sobrevoada, com as delimitações das áreas-alvo.....	35
Figura 14 - Modelo Digital de Terreno versus Modelo Digital de Superfície.....	37
Figura 15 - Desenvolvimento dos métodos de eletrorresistividade.....	41
Figura 16 - Configuração do imageamento elétrico utilizando o arranjo Dipolo-Dipolo.....	43
Figura 17 - Localização da linha de pesquisa 01, junto ao muro lateral norte da área de estudo.....	43
Figura 18 - Linha de pesquisa da Sondagem Elétrica Vertical (SEV 02), localizada na região central da área.....	44
Figura 19 - Linha de pesquisa da Sondagem Elétrica Vertical (SEV 03).....	44
Figura 20 - Esquema do arranjo geoeletrico quadrangular AMNB utilizado nos levantamentos de eletrorresistividade .....	47

Figura 21 - Embasamento a 25 m de profundidade e linha de pesquisa SEV 01 .....	48
Figura 22 - Embasamento a 24 m de profundidade.....	49
Figura 23 - Linha 01 .....	50
Figura 24 - Linha 02 .....	50
Figura 25 - Linha 03 .....	51
Figura 26 - Locais dos poços de inspeção .....	54
Figura 27 - Poço de inspeção.....	54
Figura 28 - Realização do furo de sondagem a trado .....	56
Figura 29 - Tradados utilizados .....	56
Figura 30 - Locais de coleta de água .....	57
Figura 31 - Equipamentos utilizados na medição da concentração de VOC: A) antigo lavador; B) armazenamento de tanques e tambores; C) transformadores; D) tanque de armazenamento; E) estufa; F) manutenção dos transformadores .....	60
Figura 32 - Ambientes (pontos verdes) e poços de inspeção (pontos vermelhos) com medição de VOC .....	61
Figura 33 - Poço de Inspeção E1 .....	63
Figura 34 - Poço de Inspeção E2 .....	64
Figura 35 - Poço de Inspeção E3 .....	64
Figura 36 - Poço de Inspeção E4 .....	64
Figura 37 - Poço de Inspeção E5 .....	65
Figura 38 - Poço de Inspeção E6 .....	65
Figura 39 - Poço de Inspeção E7 .....	66
Figura 40 - Poço de Inspeção E8 .....	66
Figura 41 - Poço de Inspeção E9 .....	67
Figura 42 - Poço de Inspeção E10 .....	67
Figura 43 - Poço de Inspeção E11 .....	68
Figura 44 - Poço de Inspeção E12 .....	68
Figura 45 - Poço de Inspeção E13 .....	69
Figura 46 - Poço de Inspeção E14 .....	69
Figura 47 - Poço de Inspeção E15 .....	70
Figura 48 - Localização dos ensaios de absorção.....	71
Figura 49 - Mapa de localização dos ensaios de absorção de solo.....	72

Figura 50 - EAS 01 – 0545518 / 9574422.....	72
Figura 51 - Mapa de fluxo superficial .....	83
Figura 52 - Mapa de fluxo subterrâneo .....	84
Figura 53 - Mapa de topografia geral .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Parâmetros do levantamento geodésico da base topográfica utilizada no georreferenciamento das imagens .....	32
Tabela 2 -	Pontos cotados em campo para realização das correções nas imagens obtidas, contendo os pontos de controle (PC) e checagem (PH) .....	33
Tabela 3 -	Pontos de controle e correção dos erros estimados pelo software (X – Este; Y – Norte; Z – Altitude).....	34
Tabela 4 -	Pontos de checagem para verificação da acurácia dos erros estimados pelo software (X – Leste; Y – Norte; Z – Altitude).....	34
Tabela 5 -	Discrepâncias estatísticas dos pontos de verificação do levantamento GNSS .....	38
Tabela 6 -	Resultado do teste de acurácia da PEC para planimetria (E, N) e altimetria (H) .....	38
Tabela 7 -	Resumo das sondagens realizadas no período.....	55
Tabela 8 -	Locais de coleta de água .....	57
Tabela 9 -	Identificação das metodologias .....	59
Tabela 10 -	Ambientes com medição de gases .....	61
Tabela 11 -	Concentrações de VOC da campanha aplicada na área do empreendimento	62
Tabela 12 -	Faixas de variação do coeficiente de infiltração .....	71
Tabela 13 -	Síntese interpretativa dos ensaios de absorção do solo.....	75
Tabela 14 -	Valores obtidos nas medições dos ensaios de absorção do solo .....	75
Tabela 15 -	Resultados analíticos das amostras de solo para BTEX e PAH (E01 a E05)	77
Tabela 16 -	Resultados analíticos das amostras de solo para BTEX e PAH (E06 a E10)	78
Tabela 17 -	Resultados analíticos das amostras de solo para BTEX e PAH (E11 a E15)	79
Tabela 18 -	Resultados analíticos das amostras de água para BTEX e PAH.....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMNB	Arranjo geométrico composto pelos eletrodos A, M, N e B
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EAS	Ensaio de Absorção de Solo
ENEL	Companhia Energética do Ceará
EPA	Environmental Protection Agency
GCP	Ground Control Point
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
HCl	Ácido clorídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Imageamento Elétrico
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
	International Organization for Standardization / International Electrotechnical
ISO/IEC	Commission
LQ	Limite de Quantificação
MAPGEO	Modelo de Ondulação Geoidal
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NBR	Norma Brasileira

PAH	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
PCB	Bifenilas Policloradas
PC	Ponto de Controle
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PH	Ponto de Checagem
PI	Poço de Inspeção
PID	Photoionization Detector
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RTK	Real Time Kinematic
SASC	Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis
SEV	Sondagem Elétrica Vertical
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFC	Universidade Federal do Ceará
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
$\Omega \cdot m$	Ohm-metro
$\mu g/kg$	Micrograma por quilograma
$\mu g/L$	Micrograma por litro
mg/kg	Miligrama por quilograma
$L/m^2 \cdot dia$	Litros por metro quadrado por dia
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
m/s	Metro por segundo
ppm	Partes por milhão
Ci	Coeficiente de infiltração
E	Coordenada Este / Leste
N	Coordenada Norte
H	Altitude ortométrica
X	Coordenada UTM no eixo Este
Y	Coordenada UTM no eixo Norte
Z	Altitude
	Abertura entre eletrodos de corrente no arranjo
AB	geométrico
A, B	Eletrodos de corrente elétrica
M, N	Eletrodos de potencial elétrico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Localização .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Classificação do Empreendimento .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Contexto Geológico Regional.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Hidrogeologia Local.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5</b>	<b>Caracterização Hídrica .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Etapa Pré-Campo .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Equipamento GPS Geodésico/RTK.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Características do VANT (DJI Phantom 4 Pro) .....</i></b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Etapa de Campo.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4</b>	<b>Etapa Pós-Campo .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4.1</b>	<b><i>Integração dos Dados Obtidos em Campo .....</i></b>	<b>31</b>
<b>4.4.2</b>	<b><i>Coordenadas GPS e Processamento .....</i></b>	<b>31</b>
<b>4.4.3</b>	<b><i>Processamento das Imagens.....</i></b>	<b>33</b>
<b>4.5</b>	<b>Acurácia e Validade do Levantamento .....</b>	<b>36</b>
<b>4.6</b>	<b>Discussão de resultados e recomendações sobre a análise topográfica .....</b>	<b>38</b>
<b>4.7</b>	<b>Metodologia de Investigação Geofísica .....</b>	<b>39</b>
<b>4.7.1</b>	<b><i>Aquisição dos dados de eletrorresistividade.....</i></b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Investigação Analítica .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1.1</b>	<b><i>Caracterização Geológica-Geotécnica (Sondagens a Trado).....</i></b>	<b>47</b>
<b>5.2</b>	<b>Investigação Geofísica .....</b>	<b>47</b>
<b>5.3</b>	<b>Estudos de Investigação.....</b>	<b>52</b>
<b>5.3.1</b>	<b><i>Etapa I – Avaliação Intrusiva .....</i></b>	<b>52</b>
<b>5.3.2</b>	<b><i>Apresentação.....</i></b>	<b>52</b>
<b>5.3.2.1</b>	<b><i>Medição de Organovoláteis – VOC .....</i></b>	<b>52</b>

5.3.2.2	<i>Caracterização Geológica-Geotécnica e metodologia.....</i>	53
5.3.2.3	<i>Plano de amostragem do solo e água.....</i>	57
5.3.2.4	<i>Conservação e envio de amostras .....</i>	58
5.3.2.5	<i>BTEX e PAH.....</i>	58
5.3.2.6	<i>Metodologia de análise.....</i>	59
5.3.2.7	<i>Análise de cromatografia gasosa.....</i>	59
5.3.2.8	<i>Campanha de medição da concentração de VOC.....</i>	60
5.3.2.9	<i>Poços de Inspeção – PI.....</i>	63
5.3.2.10	<i>Ensaio de absorção de solo .....</i>	70
5.3.2.11	<i>Resultados e interpretações dos ensaios de absorção do solo .....</i>	72
<b>5.4</b>	<b>Resultados Laboratoriais .....</b>	<b>76</b>
<b>5.5</b>	<b>Caracterização e Direção dos Fluxos Superficial e Subterrâneo.....</b>	<b>82</b>
5.5.1	<i>Fluxo Superficial.....</i>	82
5.5.2	<i>Fluxo Subterrâneo.....</i>	83
5.5.3	<i>Interações entre Fluxos Superficial e Subterrâneo.....</i>	84
5.5.4	<i>Implicações Ambientais e de Gestão .....</i>	85
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO B – ENSAIOS DE ABSORÇÃO.....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento industrial e urbano observado nas últimas décadas tem intensificado a pressão sobre os recursos naturais, especialmente sobre o solo e as águas subterrâneas, que atuam como importantes reservatórios ambientais e fontes estratégicas de abastecimento (FREEZE; CHERRY, 1979; TUCCI, 2008). Atividades associadas à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica apresentam potencial significativo de geração de passivos ambientais, em função do uso histórico de óleos isolantes, combustíveis, solventes e outros compostos químicos que, quando manejados inadequadamente, podem resultar na contaminação do meio físico (CETESB, 2001; USEPA, 1997).

Entre os contaminantes de maior relevância ambiental associados a esse tipo de atividade destacam-se os hidrocarbonetos aromáticos voláteis (BTEX) e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), amplamente reconhecidos por sua toxicidade, mobilidade no meio poroso e potencial de impacto à saúde humana e aos ecossistemas. A presença desses compostos em áreas industriais representa um risco ambiental que exige investigação técnica detalhada, sobretudo em ambientes urbanos e periurbanos, onde a interação entre solo, água subterrânea e uso antrópico é mais intensa.

A identificação e a avaliação de passivos ambientais demandam abordagens integradas, que considerem não apenas análises químicas diretas, mas também a caracterização geológica, hidrogeológica e geofísica da área investigada. Método geofísico, como a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o imageamento elétrico, têm se mostrado ferramentas eficazes no apoio à investigação ambiental, permitindo a identificação indireta de características geoelétricas do subsolo, além de subsidiar a definição de pontos estratégicos para amostragem de solo e água subterrânea (SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2009; SOUZA et al., 2006, LUIZ et al., 2007; PEDROSA SOARES, A.C, 2018-2019).

Nesse contexto, a área ocupada pela Companhia Energética do Ceará (ENEL), localizada no município de Maracanaú, insere-se em uma região historicamente marcada por intensa atividade industrial, o que reforça a necessidade de avaliações ambientais sistemáticas. A investigação do potencial passivo ambiental nessa área é fundamental para subsidiar decisões técnicas relacionadas à gestão ambiental, à prevenção de riscos e ao planejamento de ações futuras, incluindo a necessidade ou não de medidas de remediação e monitoramento ambiental.

Assim, o presente estudo propõe uma investigação integrada do potencial passivo ambiental em solo e água subterrânea na área da ENEL – Maracanaú, utilizando Métodos

Geoelétricos, análises laboratoriais e parâmetros normativos vigentes, com o objetivo de avaliar a presença de contaminantes, compreender o comportamento hidrogeológico local focando nas coberturas sedimentares e fornecer subsídios técnicos confiáveis para a gestão ambiental da área estudada.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Investigar o potencial passivo ambiental em solo e água subterrânea na área da Companhia Energética do Ceará (ENEL), localizada no município de Maracanaú–CE, por meio da integração de Métodos Geoelétricos (eletrorresistividade) geofísicos, análises laboratoriais e parâmetros normativos, visando à avaliação de possíveis contaminações e à caracterização das condições ambientais locais.

### **2.2 Objetivo Específicos**

- Caracterizar os aspectos geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos da área de estudo, com ênfase na dinâmica do solo e da água subterrânea;
- Aplicar métodos geofísicos, incluindo sondagem elétrica vertical (SEV) e imageamento elétrico, para identificar possíveis Anomalias Geoelétricas associadas a alterações físico-químicas no subsolo;
- Definir e executar um plano de amostragem ambiental de solo e água subterrânea com base nos resultados geofísicos e nas características da área;
- Realizar análises laboratoriais para a determinação de BTEX e PAHs em amostras de solo e água subterrânea;
- Comparar os resultados analíticos obtidos com os valores orientadores estabelecidos pela legislação ambiental vigente, avaliando a conformidade ambiental da área;
- Avaliar a Superfície Potenciométrica dos contaminantes a partir das características físico-químicas do solo, incluindo ensaios de infiltração e absorção;
- Integrar os resultados geofísicos, hidrogeológicos e químicos para avaliar a existência ou não de passivo ambiental e subsidiar recomendações técnicas quanto à necessidade de monitoramento ou intervenções futuras.



Ocupação do Solo do município de Maracanaú. Segundo essa legislação, são consideradas Atividades Especiais aquelas caracterizadas por usos variados que, em função das peculiaridades de natureza técnica, operacional e ambiental associadas ao empreendimento exigem a condução de estudos específicos, fundamentados em critérios técnicos e metodológicos proporcionais à magnitude e à significância dos impactos potenciais que possam incidir sobre a estrutura urbana e o sistema ambiental do município.

Adicionalmente, a Lei Complementar nº 1.945/2012 instituiu o Plano Diretor de Maracanaú, estabelecendo a organização territorial do município por meio da divisão em duas grandes Macrozonas: Macrozona Urbana e Macrozona Ambiental. Nos termos do artigo 64 do referido Plano Diretor, a Macrozona Urbana tem como objetivo identificar áreas que, em função de suas características ambientais e dos usos urbanos já consolidados, devem ser objeto de ações voltadas à orientação, ordenamento e qualificação da ocupação do solo.

A Macrozona Urbana é subdividida em diferentes zonas e setores, dentre os quais se destacam: Zona de Amortização Urbana (ZAU), Zona de Estruturação Urbana Sustentável (ZEUS), Zona de Estruturação Urbana a Consolidar (ZEUS C), Zona de Estruturação Urbana Sustentável Ampliada (ZEUS A), Zona de Requalificação Urbana (ZRU), Zona Industrial, Corredores Prioritários de Projetos Ampliados e Diversificados, Setor de Interesse de Lazer e Setor Institucional.

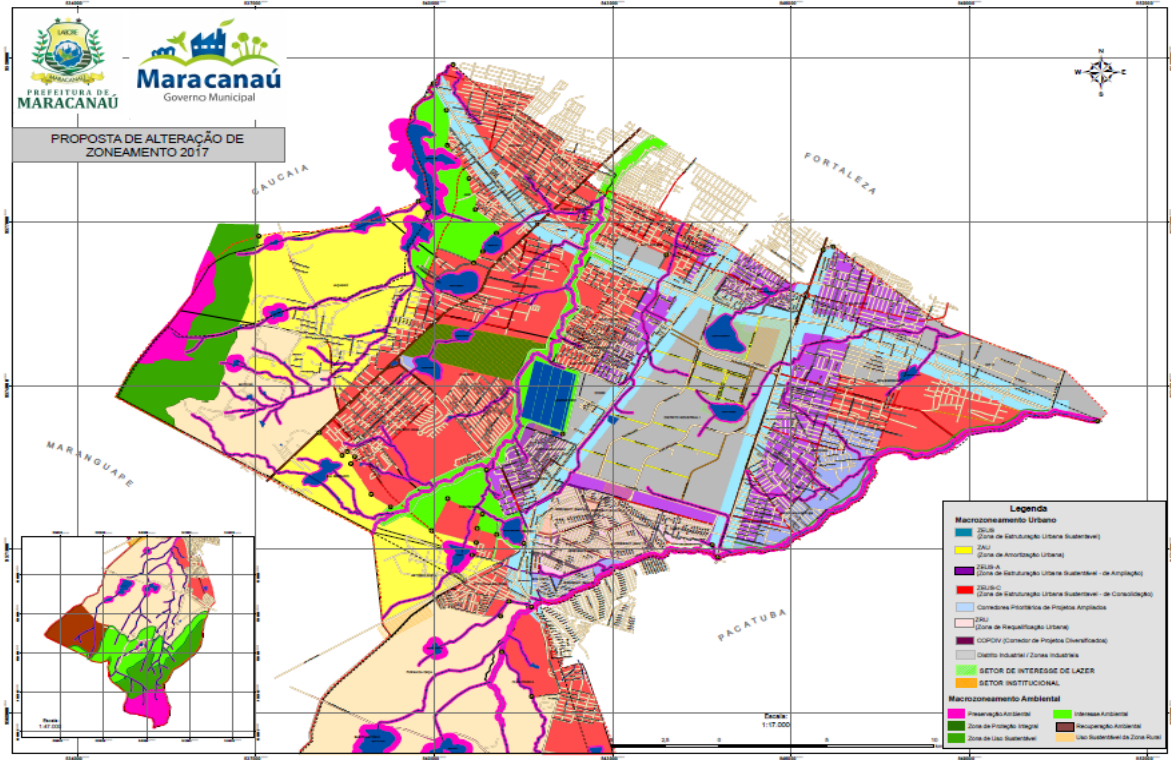
De acordo com a análise do enquadramento legal e do zoneamento territorial definido pelo Plano Diretor, a área de estudo está inserida na Zona Industrial, caracterizada como uma área planejada e dotada de infraestrutura adequada para a instalação e operação de atividades industriais, parques tecnológicos e edificações destinadas a centros de distribuição. Essa classificação é compatível com o uso atual do empreendimento, considerando suas características operacionais e a natureza das atividades desenvolvidas.

Mais especificamente, o terreno em análise enquadra-se na Zona Industrial – Setor Institucional, conforme estabelecido pela legislação municipal, o que indica a coexistência de atividades industriais com usos institucionais e de interesse público. Esse enquadramento reforça a necessidade de avaliações ambientais detalhadas, uma vez que áreas classificadas como Zona Industrial, especialmente em contexto urbano consolidado, apresentam maior potencial para a geração de passivos ambientais associados às atividades antrópicas historicamente desenvolvidas.

A localização e o enquadramento do empreendimento na Zona Industrial – Setor Institucional estão representados graficamente na Figura 2, destacando-se na cor vermelha, conforme o mapa de zoneamento oficial do município.

O empreendimento é composto por 03 (três) áreas distintas, o centro de serviços, centro técnico de manutenção de equipamentos e uma subestação. A Figura 3 mostra a vista geral do empreendimento.

Figura 2 - Zoneamento urbano e ambiental da área



Fonte: Adaptado de Cavalcante (1999, 2003)

Figura 3 - Vista da Companhia Energética do Ceará – Enel



- Legenda:**
- Centro de serviços
  - Centro técnico de manutenção de equipamentos
  - Subestação

Fonte: Google Earth (2024)

### 3.3 Contexto Geológico Regional

Na área de estudo, o embasamento geológico é representado pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico, constituído predominantemente por rochas paraderivadas, como biotita-gnaisses total ou parcialmente migmatizados. Segundo Brandão (1995).

Conforme mapeamentos geológicos realizados na Região Metropolitana de Fortaleza, essas rochas ocorrem de forma contínua no município de Maracanaú, funcionando como encaixantes de corpos de leuco-ortognaisses, pegmatóides e augen-ortognaisses (CAVALCANTE et al., 2003). Na área investigada, o Complexo Gnáissico-Migmatítico apresenta-se intensamente foliado, resultado da superposição de eventos deformacionais, com desenvolvimento de zonas de cisalhamento estreitas e alongadas, que influenciam diretamente a fraturamento do maciço rochoso.

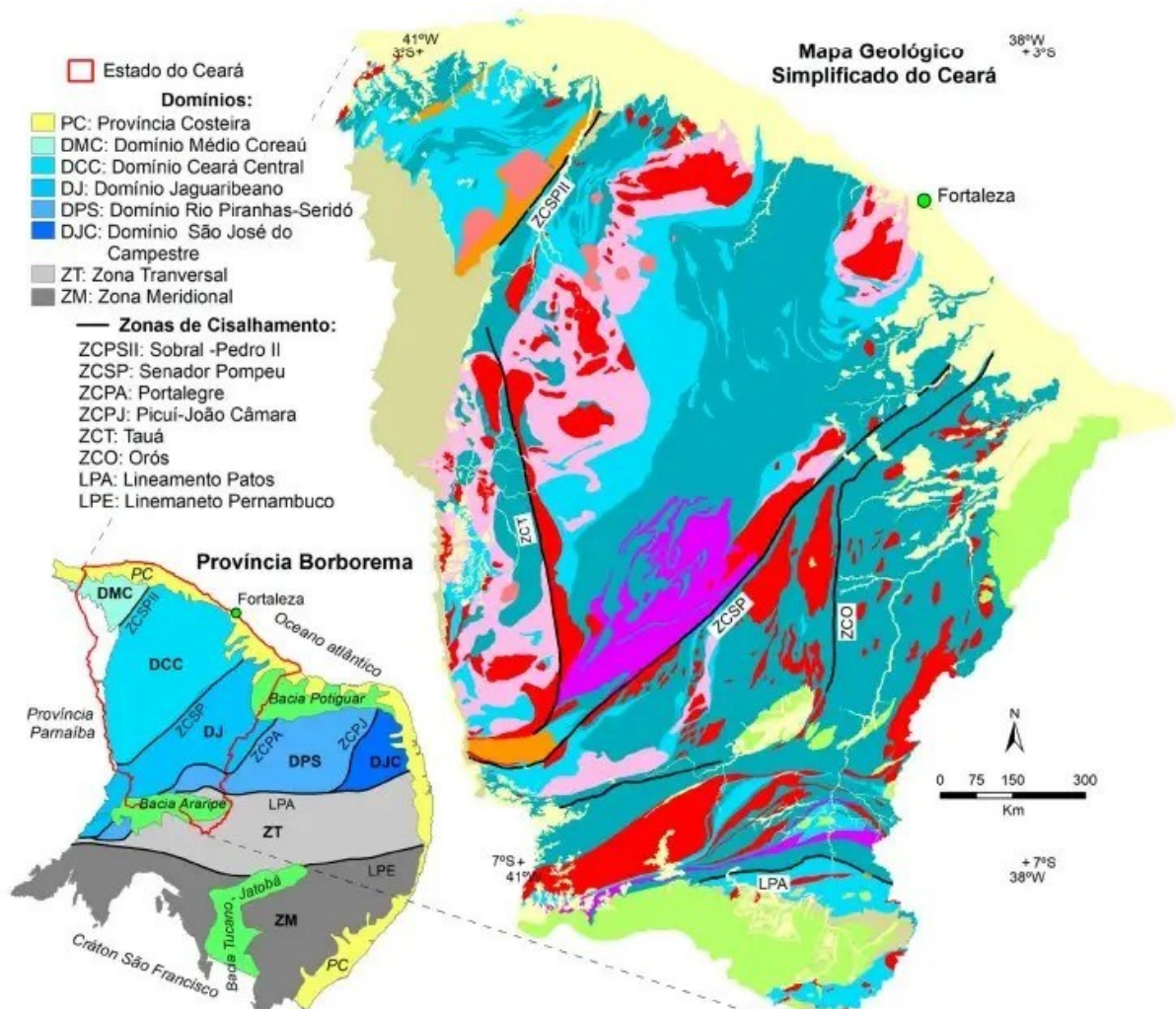
Essas estruturas desempenham papel relevante no comportamento hidrogeológico local, uma vez que controlam a circulação de água subterrânea no embasamento cristalino, especialmente em áreas onde o manto de alteração é pouco espesso (CAVALCANTE et al., 2003).

Sobre o embasamento cristalino ocorre a Formação Barreiras, amplamente distribuída na área de Maracanaú e adjacências. Essa unidade é composta por arenitos argilosos de coloração avermelhada, creme ou amarelada, com presença de níveis conglomeráticos e concreções lateríticas. Segundo Cavalcante et al. (2003), esses sedimentos são de origem continental e foram depositados em ambientes fluviais e de leques aluviais.

Na área de estudo, a Formação Barreiras apresenta espessura variável, controlada principalmente pela paleotopografia do embasamento cristalino, podendo atingir dezenas de metros. Do ponto de vista hidrogeológico, essa unidade comporta-se localmente como um meio poroso de permeabilidade variável, influenciando a infiltração e a retenção de contaminantes no solo e na zona não saturada.

Na Figura 4 observa-se que o município de Maracanaú está inserido em uma área de transição entre os domínios cristalinos do embasamento pré-cambriano e as coberturas sedimentares cenozoicas, característica que condiciona diretamente a geologia local. Conforme Cavalcante et al. (2003), o embasamento cristalino do Ceará é predominantemente constituído por complexos gnáissico-migmatíticos, intensamente deformados e metamorfizados, os quais afloram ou encontram-se recobertos por espessuras variáveis de sedimentos mais recentes.

Figura 4 - Mapa geológico do estado do Ceará simplificado, com o município de Maracanaú em relação aos domínios cristalinos e sedimentares do estado Ceará



Fonte: SGB - Serviço Geológico do Brasil (2025)

No contexto específico de Maracanaú, essa configuração geológica favorece a ocorrência de um embasamento cristalino fraturado, recoberto por unidades sedimentares como a Formação Barreiras e por depósitos flúvio-aluvionares recentes. A sobreposição litológica exerce influência direta sobre as características geotécnicas e hidrogeológicas da área, controlando processos de infiltração, armazenamento e circulação de água subterrânea, bem como o comportamento de eventuais contaminantes no solo e na subsuperfície (CAVALCANTE et al., 2003).

Assim, a análise integrada do mapa geológico evidencia que a área de estudo apresenta condições geológicas compatíveis com a necessidade de investigações ambientais, uma vez que a interação entre domínios cristalinos e sedimentares pode favorecer tanto a

retenção quanto a migração de contaminantes, dependendo das propriedades físicas e estruturais das unidades presentes. Dessa forma, a caracterização geológica local constitui elemento fundamental para a interpretação dos resultados obtidos neste estudo e para a avaliação do potencial passivo ambiental da área investigada.

### **3.4 Hidrogeologia Local**

No município de Maracanaú, podem ser distinguidos três domínios hidrogeológicos principais: o domínio das rochas cristalinas, o dos depósitos aluvionares e o das formações sedimentares. Essa compartimentação reflete diretamente a diversidade litológica local e condiciona o comportamento do armazenamento e da circulação das águas subterrâneas (CAVALCANTE et al., 2003).

No local estudado pequenos indícios de rochas cristalinas na área e constituem o denominado aquífero fissural, mas sem nenhum afloramento significativo para evidenciar algum tipo de fissura. Nesse domínio, a ausência ou reduzida expressão de porosidade primária faz com que a ocorrência de água subterrânea seja controlada exclusivamente por porosidade secundária, representada por fraturas, fendas e zonas de cisalhamento. Conforme Cavalcante et al. (2003). Os depósitos aluvionares, por sua vez, são constituídos por sedimentos areno-argilosos recentes, associados às planícies de inundação e às calhas dos principais rios e riachos que drenam a região. De acordo com Cavalcante et al. (2003),

As coberturas sedimentares correspondem a ocorrências descontínuas de sedimentos detríticos, cujas espessuras geralmente reduzidas limitam seu potencial como manancial subterrâneo. Segundo Cavalcante et al. (2003), essas unidades apresentam comportamento hidrogeológico pouco expressivo, funcionando predominantemente como meio de infiltração e armazenamento temporário de água na zona não saturada.

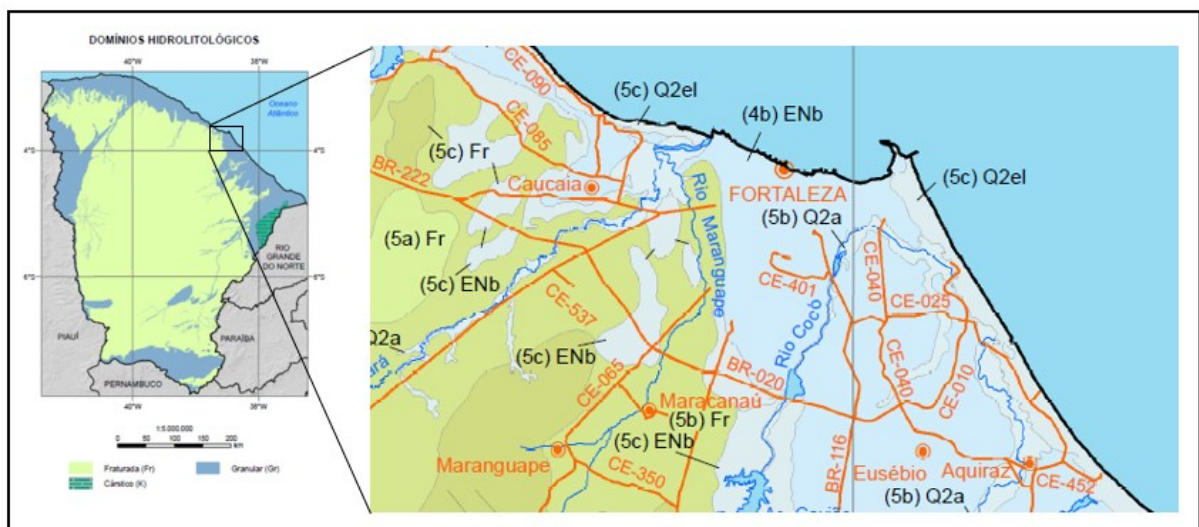
Esses depósitos apresentam como principal relevância hidrogeológica na área dos estudos, sua alta permeabilidade dos termos arenosos tende a compensar as pequenas espessuras, permitindo a obtenção de vazões relativamente significativas em poços rasos.

Do ponto de vista dos sistemas hidrogeológicos sedimentares, a área pode ser compartimentada nos sistemas Barreiras, O Sistema Hidrogeológico Barreiras caracteriza-se por baixa produtividade, uma vez que é constituído predominantemente por sedimentos argilosos e areno-argilosos, apresentando porosidade e permeabilidade reduzidas, o que limita a circulação e o armazenamento de água subterrânea (CAVALCANTE et al., 2003).

No caso específico do empreendimento estudado, verificou-se que a área está assentada sobre a Formação Barreiras, sendo caracterizada por solos predominantemente areno-argilosos. Essa condição confere baixo potencial hidrogeológico para captação de água subterrânea, ao mesmo tempo em que influencia os processos de infiltração, retenção e atenuação natural de possíveis contaminantes, aspecto relevante para a avaliação do potencial passivo ambiental da área.

O mapa hidrogeológico pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5 - Mapa hidrogeológico, com foco na região metropolitana de Fortaleza/CE



Fonte: SGB - Serviço Geológico do Brasil (Souza, 2022)

### 3.5 Caracterização Hídrica

O regime hidrológico de uma região é condicionado por um conjunto de fatores naturais que controlam os processos de escoamento superficial, infiltração e armazenamento de água nas bacias hidrográficas. Entre os principais elementos determinantes destacam-se as condições pluviométricas, a distribuição espacial e temporal das chuvas, a forma de ocorrência dos eventos pluviométricos, as características físicas das bacias, a configuração da rede de drenagem e a presença ou ausência de cobertura vegetal, fatores que atuam de forma integrada no comportamento hídrico regional.

O município de Maracanaú insere-se no contexto da Bacia Hidrográfica Metropolitana, caracterizada por um regime hídrico fortemente condicionado pela sazonalidade climática típica do semiárido cearense. Nesse cenário, os cursos d'água apresentam, predominantemente, regime intermitente, com escoamento concentrado no período chuvoso e ausência ou redução significativa de fluxo durante a estação seca. Essa

dinâmica influencia diretamente a disponibilidade hídrica superficial e a recarga dos sistemas aquíferos locais.

No entorno imediato da área de estudo, foi identificado um corpo hídrico superficial localizado a aproximadamente 150 m do terreno investigado (Figura 5), denominado Lagoa do Acaracuzinho. A presença desse recurso hídrico próximo à área do empreendimento constitui um aspecto relevante do ponto de vista ambiental, uma vez que, em situações de contaminação do solo e do nível estático possibilidade de migração de poluentes para a zona não saturada e, conseqüentemente, para águas subterrâneas rasas, favorecida pela proximidade do corpo hídrico e pela interação entre águas superficiais e subterrâneas.

Corpos hídricos próximos ao local de estudo, justificou a necessidade deste monitoramento ambiental, mesmo em cenários onde os resultados analíticos indiquem baixa contaminação, o estudo contribuiu para a prevenção de riscos e possível contaminação dos recursos hídricos locais.

Figura 6 - Aerofotografia da área levantada e sua localização, com vista para oeste



Fonte: Autor (2024)

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Os procedimentos técnicos adotados nesta Investigação de Análises de Potenciais Contaminantes Ambientais no empreendimento da Companhia Energética do Ceará – ENEL foram desenvolvidos e/ou supervisionados pela Scitech Environmental Science and Technology Ltda., em conformidade com as normas técnicas vigentes e boas práticas aplicáveis à área ambiental.

A metodologia empregada compreendeu a execução integrada de levantamentos planialtimétricos e geofísicos, sondagens, coletas de amostras de solo e água, medições de compostos orgânicos voláteis (VOC) e ensaios de infiltração, organizados em etapas sequenciais e complementares, visando garantir a confiabilidade, precisão e representatividade dos dados obtidos.

Para a aquisição e tratamento das informações, foram aplicados dois métodos principais, posteriormente integrados em um fluxo metodológico único, conforme descrito a seguir.

### **4.1 Etapa Pré-Campo**

A etapa pré-campo consistiu inicialmente na delimitação da área-alvo conforme solicitado, seguida da verificação prévia de restrições legais, consulta ao espaço aéreo, análise das condições climáticas e estudo preliminar do relevo local, com base nas Cartas da SUDENE na escala 1:100.000.

Após a identificação e avaliação dos fatores limitantes, procedeu-se à elaboração do plano de voo, considerando parâmetros técnicos como altura máxima de operação, velocidade de deslocamento, resolução espacial das imagens (GSD), recobrimento longitudinal e lateral, bem como as características do sensor embarcado.

Concluída a definição do plano de voo, realizou-se a verificação operacional dos equipamentos, incluindo inspeção técnica, manutenção preventiva, carregamento e checagem das baterias, além do armazenamento e validação das missões previamente planejadas, assegurando a execução segura e eficiente das atividades de campo.

### **4.2 Equipamento GPS Geodésico/RTK**

Para o georreferenciamento e controle de qualidade cartográfica, utilizou-se equipamento GNSS L1/L2, marca CHC, modelo i80, dotado de 220 canais, capaz de rastrear

simultaneamente os sistemas GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, SBAS, WAAS, EGNOS e MSAS.

O equipamento apresenta as seguintes precisões declaradas pelo fabricante:

- Pós-processado:
  - Horizontal: 2,5 mm + 0,1 ppm
  - Vertical: 3,5mm + 0,4 ppm
- RTK:
  - Horizontal:  $\pm 8$  mm + 1 ppm
  - Vertical:  $\pm 15$ mm + 1 ppm

A utilização do modo RTK com múltiplas constelações GNSS combinadas permitiu a redução de erros associados à atenuação e perda de sinais, garantindo maior robustez na coleta de dados, inclusive em áreas com interferências ou irregularidades topográficas.

O sistema foi empregado na aquisição de pontos de controle em solo (GCPs) e pontos de checagem, fundamentais para o georreferenciamento e correção geométrica das imagens aéreas obtidas pelo Veículo Aéreo Não Tripulado (RPA). Para otimização do tempo de operação, foi utilizada bateria adicional acoplada à base fixa, possibilitando maior autonomia durante as atividades de campo.

#### ***4.2.1 Características do Vante (DJI Phantom 4 PRO)***

O registro fotográfico aéreo foi realizado por meio do RPA DJI Phantom 4 Pro equipamento amplamente empregado em levantamentos aerofotogramétricos, cujas principais especificações técnicas são apresentadas a seguir:

- Peso (com bateria): 1.380 g;
- Velocidade máxima: 20 m/s (modo livre);
- Tempo máximo de voo: aproximadamente 28 minutos por bateria;

- Frequência de operação do rádio: 2,4 GHz / 5,8 GHz;
- Alcance máximo de transmissão (FCC): até 5 km;
- Câmera com sensor CMOS de 1” e resolução de 20 MP;
- Sensibilidade ISO:
  - Vídeo: 100 a 3200;
  - Fotografias: 100 a 1600;
- Resolução das imagens:  $4864 \times 3648$  pixels (proporção 4:3).

O planejamento e posicionamento das linhas de voo foram realizados inicialmente no Google Earth Pro, com posterior refinamento por meio do aplicativo Litchi (VC Technology Ltda.), que permitiu o ajuste preciso dos parâmetros de voo, tais como recobrimento das imagens, autonomia das baterias e adequação à área de interesse.

As operações seguiram rigorosamente o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94 e a ICA 100-40, bem como as diretrizes estabelecidas pela ANAC, DECEA e ANATEL, garantindo a legalidade, segurança e conformidade das atividades com RPA.

Ressalta-se que as baterias do equipamento foram submetidas a verificações prévias de integridade, atualização de firmware e avaliação das células, de modo a minimizar riscos operacionais e assegurar a estabilidade do voo durante a aquisição dos dados.

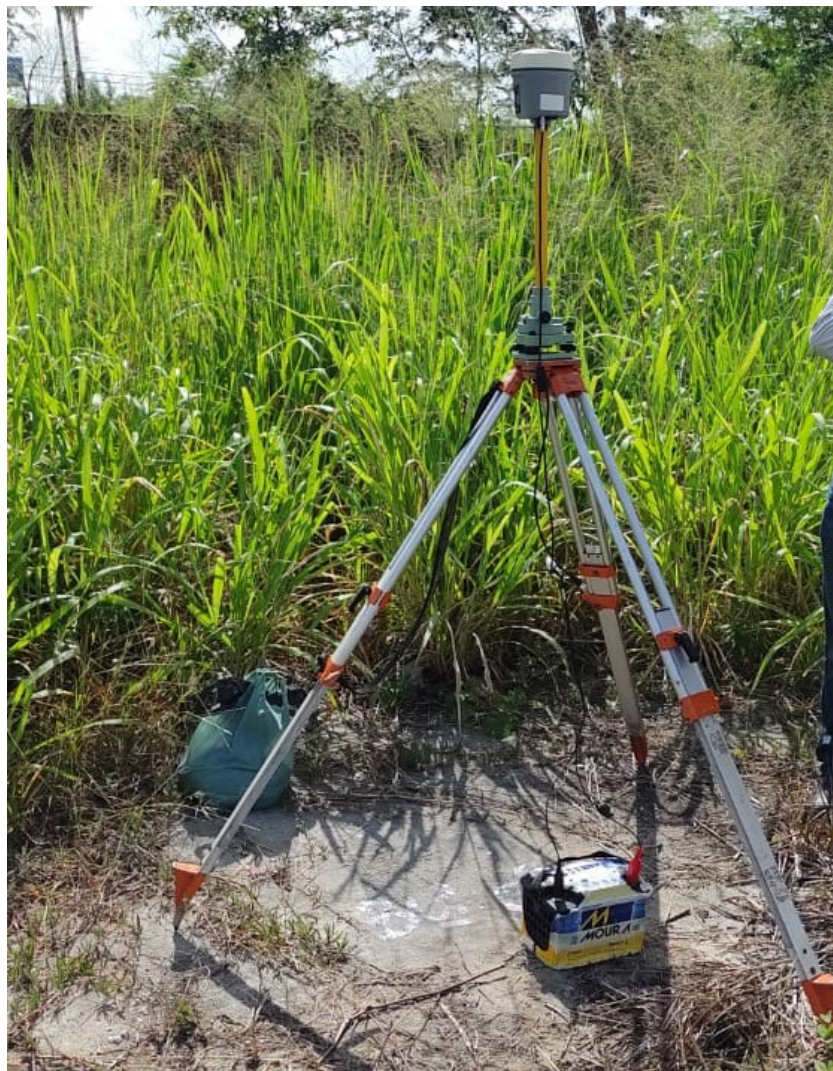
### **4.3 Etapa de Campo**

A visita de campo foi realizada no dia 24 de julho de 2024, e constou inicialmente do reconhecimento da área de estudo, treinamento prévio sobre segurança durante as atividades propostas, visitação e seleção previa dos locais de controle. Foi, também, selecionado o local de decolagem do VANT e quando necessário, pequenas correções nas linhas de voo.

Após o reconhecimento, procedeu-se imediatamente com a instalação da “base” do GPS Geodésico (Figura 6) e à montagem do equipamento “rover” e logo após a configuração, e teste do sistema, percorreu-se a área para instalação dos pontos de controle e aquisição dos dados de GPS local.

Em seguida, procedeu-se com a montagem do equipamento e configuração e, logo após, decolagem para aquisição dos dados de imagem. Vale salientar que estas imagens apresentam georreferenciamento do equipamento (DRONE), com GPS do tipo navegação, resultando um erro de ordem métrica, por este motivo existe a necessidade do uso de GPS de precisão para correção posterior, que contam com o auxílio dos pontos de marcação pontos de controle, Figura 8 (a, b, c, d) a seguir.

Figura 7 - Base geodésica instalada dentro do terreno com o objetivo de registrar de forma estática as coordenadas para que sejam posteriormente corrigidas



Fonte: Autor (2024)

Figura 8 - Registro e marcação dos pontos de controle e checagem no campo



Fonte: Autor (2024)

Como característica de voo, decolou-se em relevo médio e o equipamento teve operação em uma altitude média de voo obedecendo os 35 metros, a uma velocidade média de 10 m/s.

O voo foi na direção Norte-Sul, obedecendo a direção média dos ventos locais, tendo sobreposição nas imagens na lateral de 70% e frontal de 80%, tentando garantir a qualidade da aquisição das aerofotografias (Figuras 9 e 10) e pontos.

Figura 9 - Aerofotografia da área levantada e sua localização com vista para leste



Fonte: Autor (2024)

Figura 10 - Aerofotografia da área levantada e sua localização com vista para sudeste



Fonte: Autor (2024)

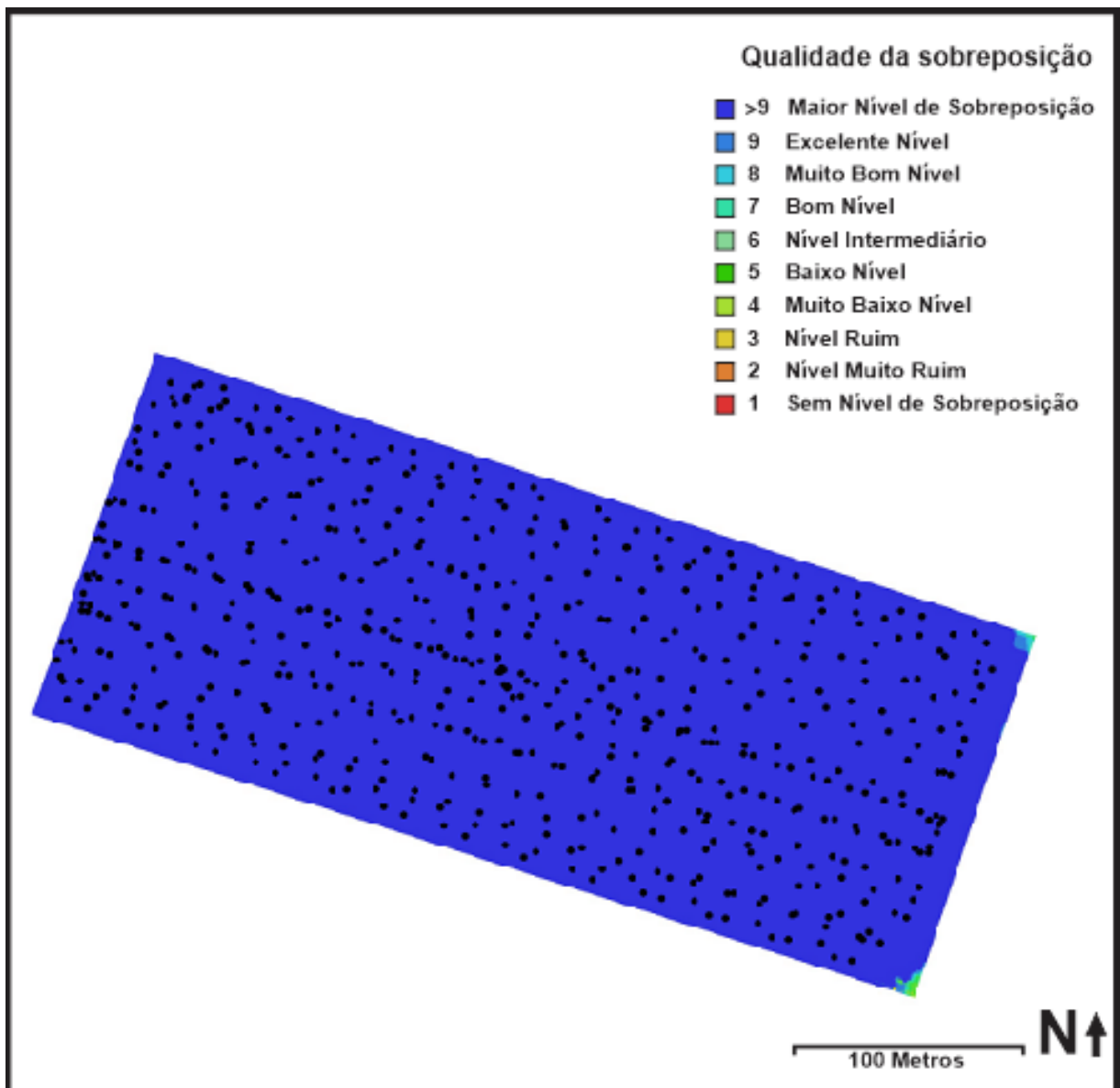
#### 4.4 Etapa Pós-Campo

Esta fase consiste na integração dos dados, incluindo o processamento das coordenadas obtidas, correção e ortorretificação das imagens, com a avaliação dos produtos e

obtenção dos produtos e resultados finais.

A Figura 11 apresenta as linhas de voo executadas durante o levantamento aerofotogramétrico, evidenciando os pontos de aquisição das imagens aéreas e o recobrimento frontal e lateral entre elas. A variação de cores indica a qualidade da sobreposição, sendo os tons em azuis associados aos maiores níveis de recobrimento, o que contribui para a confiabilidade do processamento fotogramétrico e geração dos produtos cartográficos.

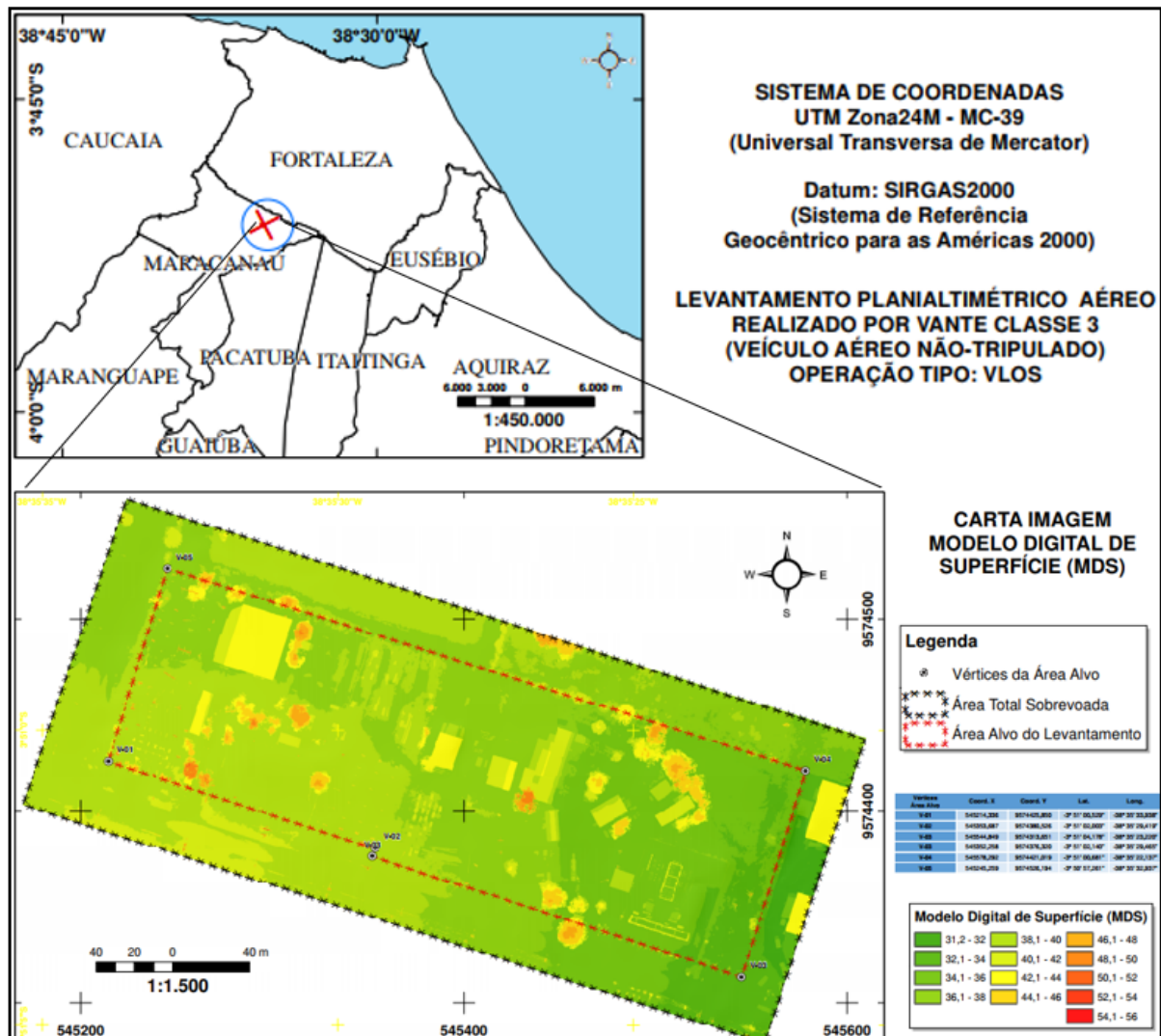
Figura 11 - Linhas de voo executadas para aquisição das imagens aéreas da área de estudo



Fonte: Autor (2026)

A Figura 12 apresenta a distribuição das altitudes e cotas do terreno obtidas a partir do levantamento planialtimétrico realizado na área de estudo.

Figura 12 - Figura gerada das altitudes e cotas do terreno levantado



Fonte: Autor (2026)

#### 4.4.1 Integração Dos Dados Obtidos Em Campo

Nesta fase realizou-se a integração dos dados obtidos aliado ao processamento dos dados obtidos com objetivo de obtenção de produtos correlacionáveis.

#### 4.4.2 Coordenadas GPS e Processamento

A utilização de receptores GNSS classificados como geodésicos, resultam em produtos mais precisos, desde que aplicados os devidos pós-processamentos, gerando produtos que podem ser utilizados no apoio a levantamentos topográficos (DALFORNO et al., 2009).

Os dados de GPS geodésico foram obtidos por meio do método “pós-processado”, onde uma faz-se uso de uma “base” fixa e os pontos de controle e checagem são obtidos pelo “rover” (dispositivo que fica móvel) procedemos com o registro de cada ponto, com um

intervalo médio de 10 minutos, onde foram registrados 12 pontos, onde 8 foram de controle e 4 de checagem. A “base” registrou um tempo de aquisição de dados de 2:30h horas, que conferiu ao levantamento uma precisão de ordem centimétrica a milimétrica (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros do levantamento geodésico da base topográfica utilizada no georreferenciamento das imagens

<b>Informação</b>	<b>Latitude (gms)</b>	<b>Longitude (gms)</b>	<b>Alt. Geo. (m)</b>	<b>UTM N (m)</b>	<b>UTM E (m)</b>	<b>MC</b>
Em 2000.4 (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-3° 50' 59,4909"	-38° 35' 26,7550"	29,16	9574458	545435.9	-39
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-3° 50' 59,4828"	-38° 35' 26,7575"	29,16	9574458	545435.8	-39
Sigma (95%) <sup>6</sup> (m)	0,002	0,009	0,008	-	-	-
Modelo Geoidal	MAPGEO2015		-	-	-	-
Ondulação Geoidal (m)	-9,05	-	-	-	-	-
Altitude Ortométrica (m)	38,21	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2026)

Utilizou-se o processamento dos dados por meio do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), método que utiliza as observações não diferenciadas, através das efemérides precisas das órbitas dos satélites. Sendo assim, no decorrer do ajustamento, tanto os erros de relógios dos satélites, quanto ao das órbitas por eles descritas, são considerados conhecidos (Azambuja, 2015).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE-PPP, faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP e disponibiliza a rotina de maneira gratuita. Segundo IBGE (2017), o PPP-IBGE permite aos usuários com receptores GPS e/ou GLONASS, obterem coordenadas de precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas-SIRGAS2000.

Os arquivos são carregados na plataforma do IBGE, conforme orientação no próprio site, e após o processamento nos servidores do IBGE são disponibilizados para “download”, onde estas informações já consideram a correção pelo atual Modelo de Ondulação Geoidal (MAPGEO2015). A lista de coordenadas processadas e corrigidas ortometricamente, visto no Tabela 2.

Tabela 2 - Pontos cotados em campo para realização das correções nas imagens obtidas, contendo os pontos de controle (PC) e checagem (PH)

Ponto	UTM X	UTM Y	Cota Altimétrica Ortométrica (M)
BASE	545435,813	9574457,882	38,210
PC-01	545401,668	9574447,899	36,729
PC-02	545405,933	9574415,372	36,840
PC-03	545349,045	9574440,001	38,026
PC-04	545324,565	9574460,732	37,892
PC-05	545271,782	9574472,887	38,027
PC-06	545267,533	9574428,844	39,085
PC-07	545432,087	9574357,327	36,303
PC-08	545496,028	9574417,166	35,207
PH-01	545424,180	9574448,741	36,483
PH-02	545396,818	9574394,291	37,043
PH-03	545481,773	9574414,619	35,052
PH-04	545290,959	9574508,755	37,480

Fonte: Autor (2026)

#### 4.4.3. Processamento das imagens

O processamento digital das imagens colhidas através dos voos com RPA (Drone) foi realizado com um *software fotogramétrico stand-alone* para geração automática de nuvens de pontos densos, modelos texturizados, ortomosaicos georreferenciados, modelo digital de superfície e modelo digital de terreno.

Baseado na tecnologia *state-of-the-art* desenvolvido pelo *software* permite processamento georreferenciado, e, ao mesmo tempo, resultados precisos. Todos os produtos e peças técnicas foram gerados utilizando o *Datum Horizontal SIRGAS 2000* e o *Datum vertical* corrigindo os valores elipsoidais obtidos para cotas ortométricas usando o *software MAPGEO2015™* do IBGE.

Ao final obteve-se o total de 1212 imagens, cobrindo cerca de 3,8122 hectares, que foram processadas e geradas a nuvem esparsa com 725.495,0 pontos e uma nuvem densa contendo 116.728.602,0 pontos com a aplicação de procedimentos de análise no *software* dos valores de pixel e conversão para pontos.

Essa nuvem de pontos foi submetida ao procedimento de georreferenciamento pelos pontos geodésicos processados e corrigidos. O tempo total de processamento foi de cerca de oito horas (8:00h), e após um total de 60 horas técnicas somada todas as etapas até a confecção dos resultados.

O mosaico final, com as correções aplicadas, é denominado de Ortofotomosaico, em um arquivo no formato padrão de imagens georreferenciadas (.tif), com resolução final de 1,53 cm/pix. Quanto aos parâmetros de correção das imagens pelos pontos de controle, obtivemos os pontos de controle com erros da ordem de milímetro (Tabela 3), da mesma forma que os pontos de checagem (PC) (Tabela 4).

Tabela 3 - Pontos de controle e correção dos erros estimados pelo software (X - Este; Y - Norte; Z - Altitude)

<b>Rótulo</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagem (pix)</b>
PC-01	0.590629	0.066329	0.341095	0.685265	0.606 (44)
PC-07	-0.26445	0.122565	0.882784	0.929658	0.482 (41)
PC-08	-1.35964	1.77265	-0.94322	2.42499	0.728 (27)
PC-03	-0.18648	1.32755	-0.81391	1.56832	0.707 (39)
PC-04	-0.48615	1.02868	1.94474	2.25312	0.734 (40)
PC-06	0.833033	-0.89948	-1.26918	1.7646	0.575 (38)
PC-02	0.438854	-1.59703	-1.3552	2.14002	0.613 (47)
PC-05	0.175874	0.333306	2.53401	2.56188	0.243 (40)
<b>Total</b>	<b>0.657265</b>	<b>1.08702</b>	<b>1.41855</b>	<b>1.90418</b>	<b>0.6</b>

Fonte: Autor (2026)

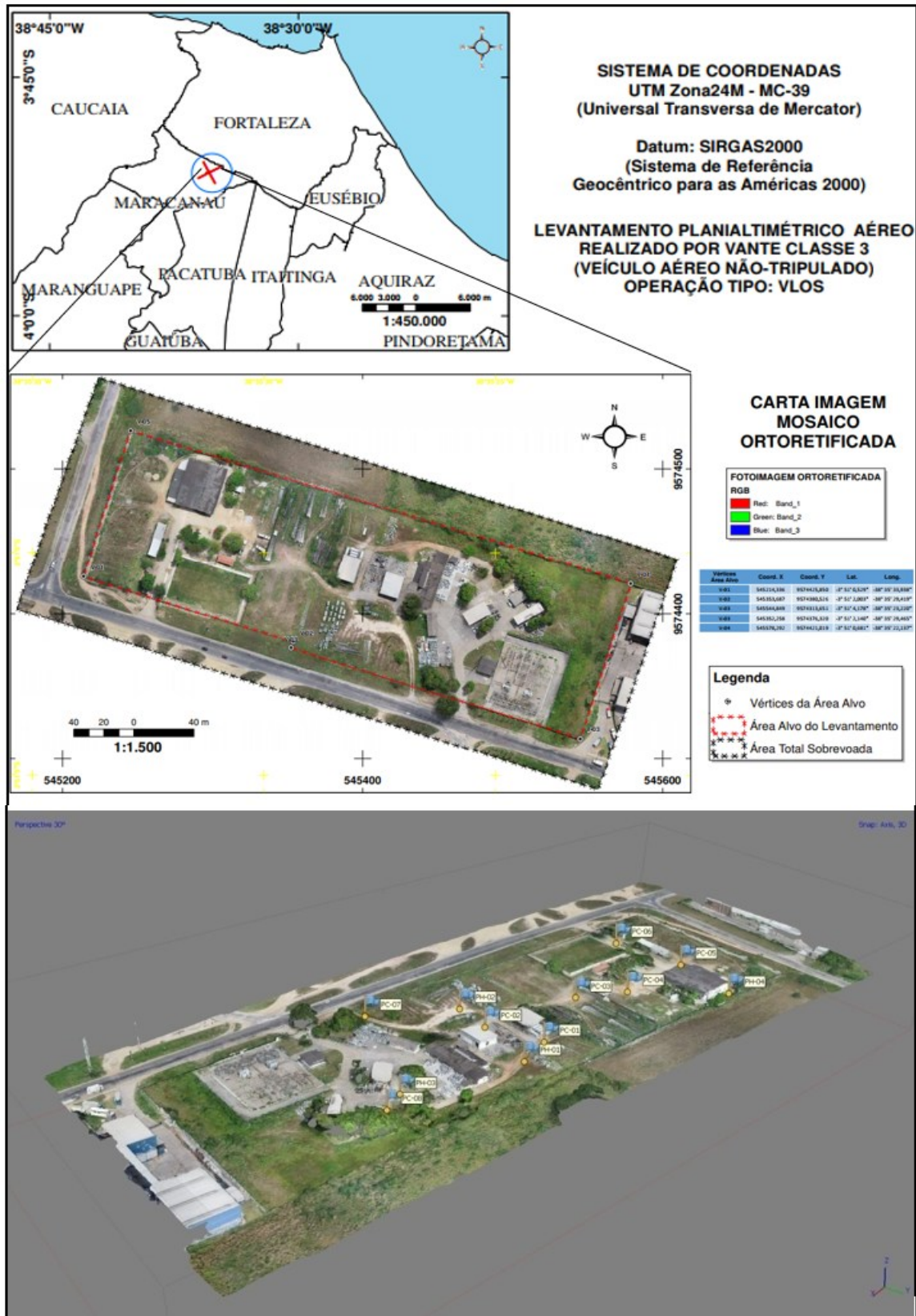
Tabela 4 - Pontos de checagem para verificação da acurácia dos erros estimados pelo software (X - Leste; Y - Norte; Z - Altitude)

<b>Rótulo</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagem (pix)</b>
PH-01	0.491723	-0.41234	-0.1878	0.668646	0.690 (35)
PH-02	-1.16145	-0.56574	0.51607	1.39117	0.567 (44)
PH-03	1.11316	-0.99126	0.430143	1.55137	0.586 (36)
PH-04	-0.50515	0.400881	0.403439	0.760687	0.141 (34)
<b>Total</b>	<b>0.87822</b>	<b>0.639021</b>	<b>0.402922</b>	<b>1.15843</b>	<b>0.542</b>

Fonte: Autor (2026)

A Figura 13 ilustra a distribuição espacial dos pontos de controle e de checagem ao longo da área sobrevoada, bem como as delimitações das áreas alvo consideradas no levantamento, evidenciando a cobertura adequada para o georreferenciamento e validação dos produtos cartográficos gerados.

Figura 13 - Distribuição dos pontos de controle de checagem pela área sobrevoada, com as delimitações das áreas alvo



Fonte: Autor (2026)

Ao final do processamento os pontos da nuvem densa deram origem ao Modelo Digital de Elevação – MDE. Após a aplicação de ferramentas de classificação automática, combinada com a classificação manual, retirou-se as feições acima do solo, sem representatividade cartográfica, e assim foi obtido o Modelo Digital de Superfície (MDS ou MDT) (Planta em Anexo). Concluída a constituição do MDS obtiveram-se as curvas de nível como resultado final deste trabalho (Planta em Anexo), registrados em forma de arquivos digitais (shapes) de equidistâncias de 0,5 metro.

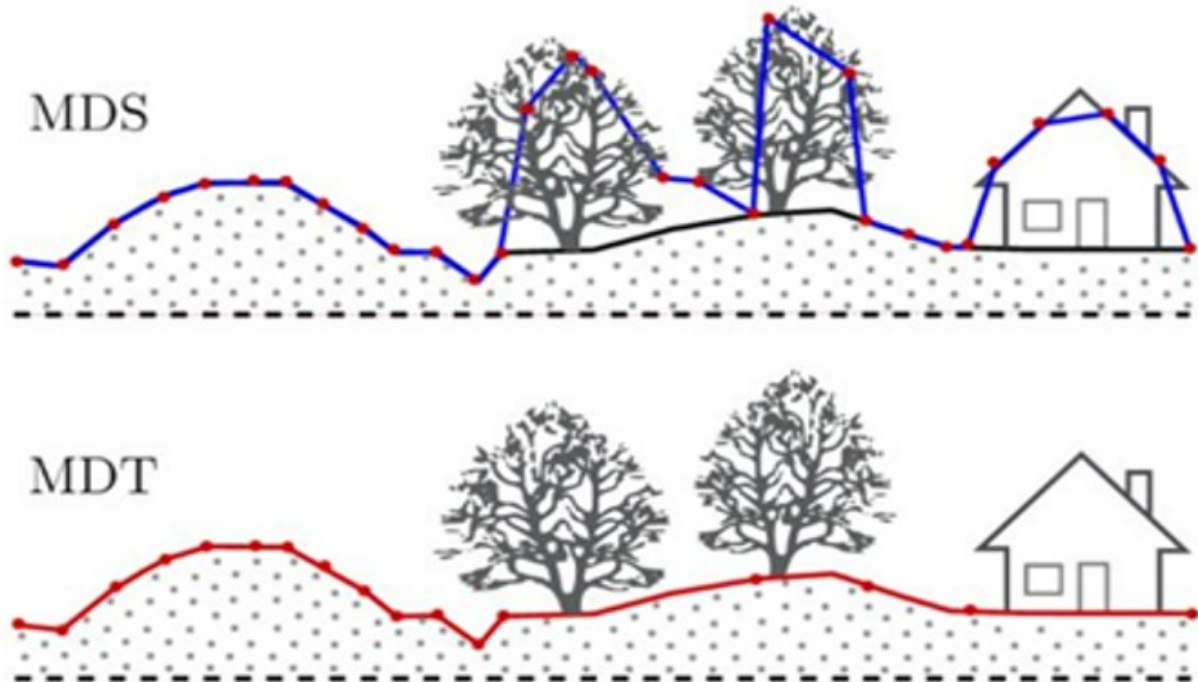
#### **4.5 Acurácia e Validade Do Levantamento**

O processamento dos dados para a realização das mensurações envolveu uma criteriosa classificação da nuvem de pontos gerada a partir das imagens aerofotogramétricas obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), devidamente georreferenciadas. Esse procedimento permitiu a separação dos elementos superficiais e a extração de informações representativas do relevo real, resultando na geração de modelos altimétricos com elevado nível de detalhamento.

De acordo com estudos desenvolvidos por Silva et al. (2016), Leitão et al. (2016) e Esposito et al. (2017), levantamentos baseados em aerofotogrametria, quando associados a pontos de controle obtidos por GNSS de alta precisão, apresentam resultados compatíveis e, em muitos casos, mais próximos do volume e da geometria real do terreno quando comparados aos levantamentos topográficos convencionais realizados exclusivamente com GNSS. Tal desempenho está diretamente relacionado à elevada densidade de pontos da nuvem gerada.

Nesse contexto, o Modelo Digital de Superfície (MDS), após os processos de filtragem e correção, deu origem ao Modelo Digital de Terreno (MDT), o qual representa de forma mais fidedigna a superfície natural do terreno. O MDT possui uma malha significativamente mais densa de pontos amostrais em relação aos métodos tradicionais, agregando maior precisão e confiabilidade às análises planialtimétricas. A utilização do MDT, em detrimento do MDS bruto, minimiza a interferência de ruídos, como edificações, vegetação e outros elementos artificiais, que poderiam comprometer a interpretação dos dados (Figura 14).

Figura 14 - Modelo Digital de Terreno vs. Modelo Digital de Superfície



Fonte: Autor (2026)

A acurácia do levantamento foi avaliada à luz do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), estabelecido pelo Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, o qual define os critérios para a elaboração, avaliação da exatidão e controle de qualidade de produtos cartográficos. Conforme disposto no artigo 8º, inciso I, a estatística de exatidão deve atender a uma probabilidade mínima de 90%, o que significa que 90% dos pontos bem definidos no produto cartográfico, quando comparados às medições de campo, não devem apresentar erros superiores aos limites estabelecidos pelo PEC.

Dessa forma, os modelos de terreno gerados, apresentados no Anexo I, atendem aos critérios normativos vigentes, assegurando a validade técnica, a acurácia dos dados obtidos e a confiabilidade dos produtos cartográficos utilizados como base para as análises ambientais e planialtimétricas do empreendimento.

Este limiar é importante porque norteia os testes estatísticos (Santos, 2016). O PEC também disponibiliza uma classificação para as cartas, conforme sua exatidão, em A, B, C e D, para os dados planimétricos e altimétricos.

A Tabela 5 apresenta o cálculo estatístico das discrepâncias obtidas por meio da aplicação dos pontos de verificação do levantamento GNSS, permitindo avaliar a qualidade do georreferenciamento das imagens e a conformidade dos resultados com os critérios de exatidão cartográfica estabelecidos pelas normas vigentes.

Tabela 5 - Discrepâncias estatísticas dos pontos de verificação do levantamento GNSS

<b>Discrepâncias</b>			
<b>Ponto</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>H (m)</b>
PH-01	0,00491723	-0,00412344	-0,00187799
PH-02	-0,0116145	-0,00565741	0,0051607
PH-03	0,0111316	-0,00991258	0,00430143
PH-04	-0,0050515	0,00400881	0,00403439
Somatório	-0,000617	-0,015685	0,011619
Média	-0,000021	-0,000523	0,000387
Variância	0,000011	0,000005	0,000002
Desvio Padrão	0,003262	0,002313	0,001444
Erro Padrão (E N)	0,0040		
Erro Padrão (H)	0,0014		

Fonte: Autor (2026)

Aplicando o teste estatístico presente na PEC obtemos a avaliação do uso dos resultados para as classes de exatidão, para a escala de trabalho de detalhe em planimetria e altimetria, atendendo a classe A de acurácia, conforme quadro abaixo (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultado do teste de acurácia da PEC para planimetria (E, N) e altimetria (H)

<b>Qui-Quadrado (90%)</b>					
	<b>Tabela</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>	<b>Classe D</b>
XE	6,2514	0,0022	0,0007	0,0003	0,0002
XN	6,2514	0,0011	0,0327	0,0196	0,0001
XH	6,2514	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001

Fonte: Autor (2026)

A acurácia obtida com o levantamento permitiu a geração de curvas de até 0,5m de equidistância, mantendo o nível de qualidade em sua representação para a escala de 1:1.000.

#### 4.6 Discussão de resultados e recomendações sobre a análise topográfica

O levantamento topográfico foi executado com base em metodologia amplamente consolidada na prática técnica, contemplando de forma integrada as etapas de aquisição de dados, processamento das informações e geração dos produtos cartográficos, assegurando níveis de acurácia compatíveis com os objetivos propostos e em conformidade com as normas vigentes.

Em relação às características da área, a topografia revelou um terreno predominantemente plano, com elevações discretas concentradas no setor oeste. O

levantamento foi realizado no período matutino, incluindo a aquisição das imagens por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), em área ocupada por uma empresa de manutenção de equipamentos utilizados na distribuição de energia elétrica. Apesar da presença significativa de estruturas, edificações e materiais distribuídos sobre o terreno, foi possível obter amostragem adequada da superfície natural, permitindo a geração dos produtos finais com acurácia satisfatória.

Com base nos objetivos estabelecidos, podem ser destacadas as seguintes considerações:

- A metodologia aplicada assegurou o atendimento ao erro padrão de exatidão exigido para a obtenção de resultados planialtimétricos confiáveis, possibilitando a adequada caracterização do relevo local;
- A acurácia do posicionamento apresentou erros da ordem de milímetros a centímetros, atendendo aos critérios estabelecidos pelo Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, para representação cartográfica confiável;
- Os produtos cartográficos gerados incluem:
  - Ortofoto mosaico, correspondente à data do levantamento, constituindo registro atualizado da situação da área no momento da aquisição;
  - Curvas de nível com equidistância de 1,0 metro, permitindo a adequada representação do relevo local na escala de 1:1.100;
  - Modelos Digitais de Superfície (MDS) e de Terreno (MDT), que expressam de forma contínua e detalhada a configuração altimétrica da área de estudo.

Como recomendação, caso haja interesse no acompanhamento técnico ou ambiental de futuras intervenções, obras ou ações previstas para o terreno, sugere-se a realização de novos sobrevoos periódicos. Esses levantamentos permitirão a atualização dos produtos cartográficos e a construção de um banco de dados histórico, subsidiando análises comparativas e o monitoramento da evolução das atividades desenvolvidas na área.

#### **4.7 Metodologia de Investigação Geofísica**

Este tópico apresenta metodologia da investigação geofísica voltada à prospecção de possíveis zonas de contaminação na área de estudo, realizada nos dias 04, 06, 08 e 09 de agosto de 2024.

A investigação geofísica teve como objetivo identificar anomalias geoelétricas no subsolo potencialmente associadas a maiores concentrações hídricas que favoreceriam a presença de contaminantes, de modo a subsidiar a interpretação das condições ambientais da área e orientar a locação estratégica de poços de monitoramento. Dessa forma, os resultados obtidos contribuem para o direcionamento das etapas subsequentes de investigação direta, otimizando a amostragem e reduzindo incertezas quanto à distribuição espacial dos possíveis impactos ambientais.

A aplicação de métodos geofísicos em estudos ambientais tem se intensificado nas últimas décadas, especialmente na caracterização e no monitoramento de áreas potencialmente contaminadas (Eze et al., 2021). Essa abordagem se destaca por possibilitar a aquisição de dados contínuos e em larga escala, permitindo uma avaliação mais abrangente das condições do meio físico, sobretudo quando integrada a métodos diretos de investigação, como sondagens, coletas de solo e água subterrânea.

Nesse contexto, a investigação geofísica desenvolvida neste estudo constitui uma ferramenta complementar essencial, fornecendo subsídios técnicos para a compreensão da dinâmica do subsolo e para a tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental da área investigada.

Pertencente ao grupo dos métodos geoelétricos, a eletrorresistividade é uma técnica geofísica utilizada para determinar a resistividade elétrica dos materiais geológicos em subsuperfície. Esse parâmetro físico permite inferir características do meio, como grau de alteração, fraturamento, saturação hídrica e, em alguns casos, diferenciação litológica, sem a necessidade de escavações ou perfurações diretas (TELFORD et al., 1990; KEAREY et al., 2002).

O método fundamenta-se na aplicação de corrente elétrica no terreno por meio de um arranjo eletrodico, geralmente composto por quatro eletrodos. Os eletrodos A e B são responsáveis pela injeção de corrente elétrica no solo, enquanto os eletrodos M e N medem a diferença de potencial gerada no meio (Figura 15). A partir desses valores, calcula-se a resistividade aparente do subsolo, que reflete as propriedades elétricas dos materiais investigados (Braga, 2016).

Figura 15 - Desenvolvimento dos métodos de eletrorresistividade



Fonte: Adaptado de Braga (2016)

A condução da corrente elétrica nos materiais geológicos ocorre predominantemente por transporte iônico nos fluidos presentes nos poros e fraturas das rochas. Dessa forma, variações na resistividade estão diretamente associadas a mudanças na litologia, porosidade, grau de saturação e concentração de sólidos dissolvidos. As pseudo-seções e seções geoeletricas obtidas por modelagem expressam a distribuição espacial dessas variações de resistividade em profundidade, permitindo a interpretação das estruturas e possíveis anomalias do subsolo.

Nesse contexto, o método da eletrorresistividade tem sido amplamente empregado com sucesso em áreas de disposição de resíduos sólidos e em estudos de contaminação do solo e da água subterrânea, destacando-se na identificação de lixiviados e plumas contaminantes (GALLAS et al., 2011). A eficiência do método decorre da relação direta entre elevadas concentrações de sólidos dissolvidos (típicas de lixiviados) e o aumento da condutividade elétrica, resultando em valores reduzidos de resistividade.

#### ***4.7.1 Aquisição dos dados de eletrorresistividade***

O levantamento de eletrorresistividade foi realizado por meio da técnica de Imageamento Elétrico (IE), método indicado para a investigação de variações laterais e verticais de resistividade elétrica no subsolo. De acordo com a NBR 15.935 (ABNT, 2011), essa técnica é amplamente utilizada na identificação e no mapeamento de heterogeneidades geológicas e ambientais.

Foram executadas três linhas de imageamento elétrico utilizando o arranjo Dipólo-Dipólo, cada uma com extensão de 120 metros, distribuídas sobre a área de interesse. Adicionalmente, foram realizadas três Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), com o objetivo de caracterizar o pacote sedimentar e identificar o contato com o embasamento cristalino.

A Figura 16 ilustra o arranjo do método de imageamento elétrico Dipólo–Dipólo empregado durante a aquisição dos dados em campo.

A Figura 17 apresenta a localização da Linha de Pesquisa 01 (SEV01), posicionada junto ao limite norte da área, próxima ao muro lateral do empreendimento.

A Figura 18 corresponde à montagem da Linha de Pesquisa associada à Sondagem Elétrica Vertical SEV02, implantada na região central do terreno, nas proximidades da guarita.

Por fim, a Figura 19 corresponde à Linha de Pesquisa referente à terceira Sondagem Elétrica Vertical (SEV03), utilizada para complementar a caracterização geométrica do subsolo.

Figura 16 – Configuração do imageamento elétrico utilizando o arranjo Dipolo-Dipolo



Fonte: Autor (2026)

Figura 17 - Localização da linha de pesquisa 01, junto ao muro lateral norte da área de estudo



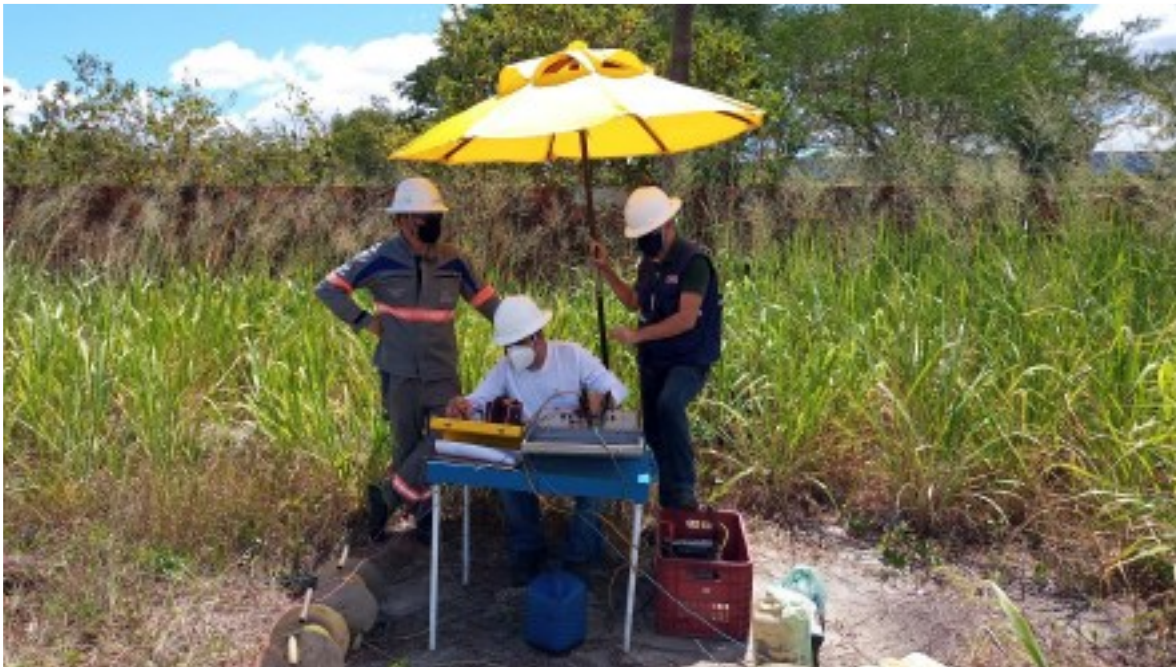
Fonte: Autor (2026)

Figura 18 - Linha de pesquisa da Sondagem Elétrica Vertical (SEV 02), localizada na região central da área



Fonte: Autor (2024)

Figura 19 - Linha de pesquisa da Sondagem Elétrica Vertical (SEV03)



Fonte: Autor (2024)

As potenciais zonas de contaminação identificadas ao longo dos perfis ensaiados manifestam-se nos dados geoeletricos como zonas de baixa resistividade elétrica em subsuperfície. Essas anomalias estão associadas à presença de contaminantes com elevado

conteúdo iônico, os quais aumentam a condutividade elétrica do meio devido a biodegradação. Nessas condições, a corrente elétrica se propaga com maior facilidade, resultando em zonas condutivas que subsidiam a identificação e o mapeamento de áreas potencialmente contaminadas (TELFORD et al., 1990).

Para o desenvolvimento da técnica aplicada na área de estudo, foi utilizado equipamento geofísico da marca CTRLTECH, usado em levantamentos de eletrorresistividade adequado para os níveis de investigações ambientais na profundidade estudada.

A interpretação dos dados geofísicos foi realizada por meio do software RES2DINV versão 3.5 (2D Resistivity and IP Inversion), desenvolvido pela Geotomo Software (Malásia), o qual emprega um algoritmo de inversão baseado no método dos mínimos quadrados associado à técnica de suavização restringida (smoothness-constrained), amplamente utilizada para a obtenção de modelos bidimensionais consistentes de resistividade elétrica (LOKE, 2011).

O posicionamento espacial das seções geoeletricas foi realizado por meio do levantamento das coordenadas geográficas utilizando receptor GPS portátil, marca Garmin, modelo eTrex, assegurando o adequado georreferenciamento das linhas de aquisição e sua integração com os demais dados ambientais do estudo.

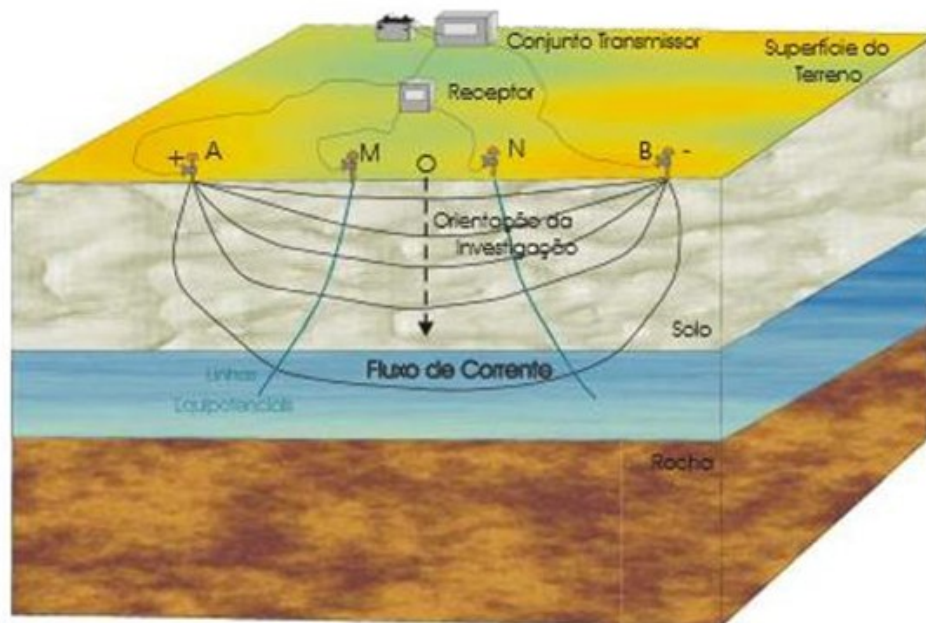
No caso das Sondagens Elétricas Verticais (SEV), o objetivo principal consiste na investigação da variação da resistividade elétrica em função da profundidade, possibilitando a elaboração de cortes geoeletricos do subsolo. Essa abordagem permite a estimativa dos parâmetros de resistividade e espessura dos horizontes elétricos, destacando-se, na área de estudo, a diferenciação entre os sedimentos da Formação Barreiras e o embasamento cristalino subjacente, conforme descrito por Orellana e Mooney (1966).

Por sua vez, os perfis de resistividade elétrica têm como finalidade a identificação de variações laterais de resistividade ao longo de uma profundidade de investigação aproximadamente constante, permitindo a delimitação de zonas condutivas contrastantes em relação às zonas mais resistivas, as quais podem estar associadas a estruturas geológicas como fraturas, zonas alteradas ou áreas com maior saturação hídrica (DARLIN, 2001).

O arranjo geoeletrico quadrangular AMNB, ilustrado na Figura 20, representa a disposição dos eletrodos empregada durante os ensaios de eletrorresistividade realizados na área de estudo. Nesse arranjo, os eletrodos A e B são responsáveis pela injeção de corrente elétrica no solo, enquanto os eletrodos M e N realizam a medição da diferença de potencial gerada no meio. A geometria quadrangular do dispositivo permite maior estabilidade nas

medições e adequada sensibilidade às variações laterais e verticais de resistividade elétrica, sendo amplamente utilizada em investigações ambientais voltadas à identificação de heterogeneidades do subsolo.

Figura 20 - Esquema do arranjo geoeletrico quadrangular AMNB utilizado nos levantamentos de eletrorresistividade



Fonte: Modificado de Braga (1997)

A adoção desse arranjo mostrou-se compatível com os objetivos do estudo, possibilitando a aquisição de dados confiáveis para a interpretação das condições geoeletricas da área investigada (Braga, 1997). A correta configuração dos eletrodos, associada à metodologia de aquisição e processamento dos dados, contribuiu para a identificação de zonas com contrastes de resistividade, fornecendo subsídios técnicos consistentes para a avaliação ambiental e para o direcionamento das etapas subsequentes da investigação.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Investigação Analítica**

Os estudos de investigação analítica são fundamentais para, quer confirmar os resultados obtidos na investigação geofísica, quer quantificar os potenciais contaminantes presentes na área.

Função da atividade industrial presente na área de estudo, os elementos com potencial contaminante associados são, essencialmente, compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

As investigações se concentram em locais previamente definidos, adotando as diretrizes mínimas para avaliação primária de passivo ambiental, com o intuito de identificar indícios de contaminação de solo e água na área de interesse. A definição dos locais de amostragem teve por base os estudos de topografia, que potencializaram o terreno e possíveis locais com maior facilidade de fluxo devido ao desnível do terreno, os estudos geofísicos, divididos em linhas de SEV com definição do topo rochoso e pacote sedimentar e a provável área de pluma de contaminantes, coleta de multi-incremento e a própria avaliação da equipe multidisciplinar que através de análises dos relatórios e visitas técnicas aos locais, definiu os possíveis pontos com potencial para contaminação dentro da área estudada.

#### ***5.1.1 Caracterização Geológica-Geotécnica (Sondagens a Trado)***

A investigação geotécnica contemplou a execução quinze furos de sondagem a trado na área de estudo para caracterização solo em dois níveis de profundidade, através de coleta de amostras e respectivos ensaios.

A localização dos poços foi determinada com base na investigação geofísica e na visita às instalações.

Todas as sondagens seguiram as normas da NBR 6484/01 e ABGE 2013 para execução dos serviços geotécnicos. A localização, foi auxiliada pela topografia e realizadas também através de um GPSMAP 64st – Garmin.

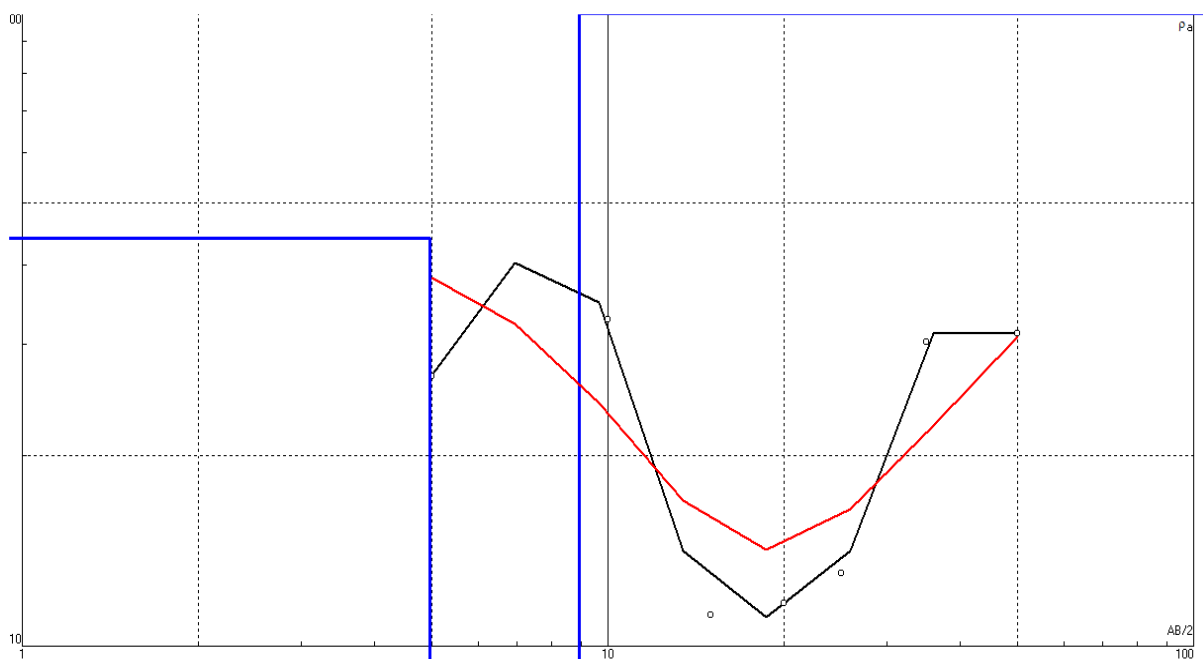
### **5.2 Investigação Geofísica**

A Etapa 2 da investigação geofísica correspondeu à execução das Sondagens Elétricas Verticais (SEV), com o objetivo de investigar a variação da resistividade elétrica em função da profundidade e definir a geometria dos principais horizontes geoeletricos do

subsolo, em especial a espessura do pacote sedimentar e a profundidade do contato com o embasamento cristalino. As sondagens foram realizadas em três pontos estrategicamente selecionados dentro da área de estudo, alinhados predominantemente na direção N-S, com espaçamento máximo  $AB = 200$  m, garantindo profundidade de investigação compatível com os objetivos ambientais do estudo.

A SEV01 – Guarita, localizada nas coordenadas 9574404 N / 0545427 E, indicou a presença do embasamento cristalino a aproximadamente 25 m de profundidade, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Embasamento em 25m de profundidade e linha de pesquisa SEV01

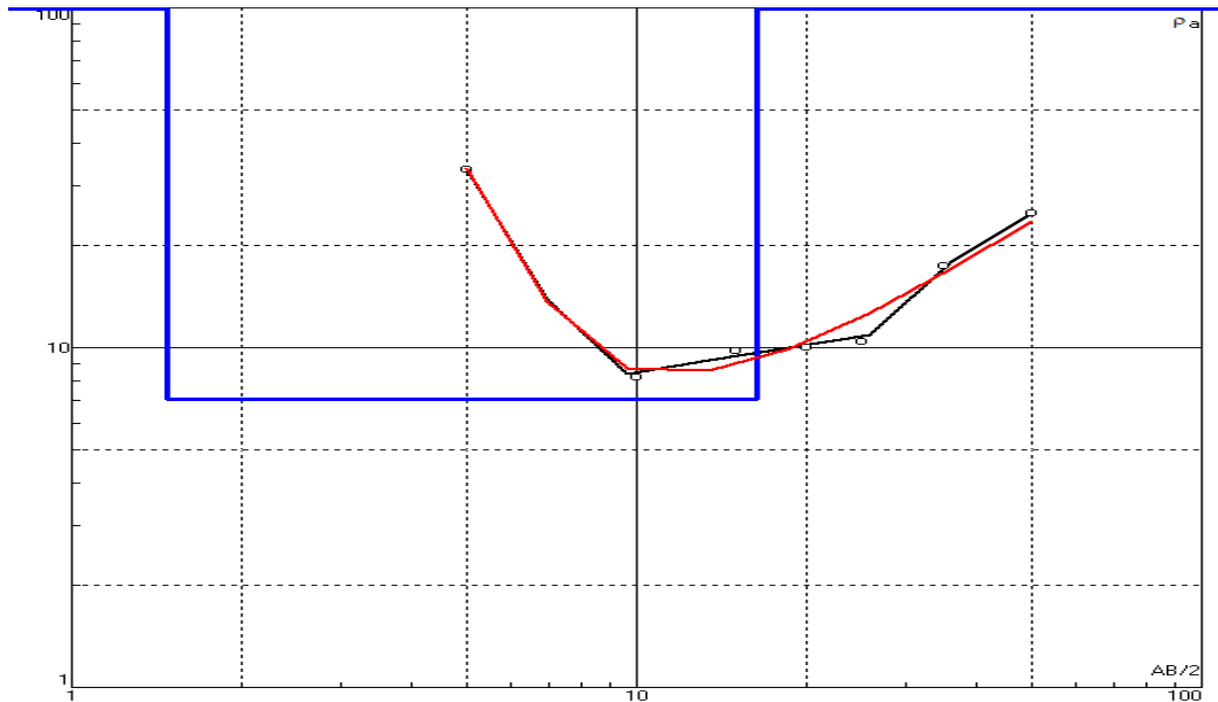


Fonte: Autor (2026)

Na SEV02 – Transformador, executada nas coordenadas 9574460 N / 0545438 E, o embasamento foi identificado a cerca de 24 m de profundidade, conforme apresentado na Figura 22. Já a SEV03 – Campo de Treino (Postes), posicionada nas coordenadas 9574349 N / 0545424 E, também revelou o contato com o embasamento cristalino em torno de 24 m de profundidade.

De forma integrada, os resultados das sondagens elétricas verticais evidenciam relativa homogeneidade na espessura do pacote sedimentar na área investigada, reforçando a interpretação de um substrato cristalino relativamente raso e contínuo. Essas informações são fundamentais para a compreensão do comportamento hidrogeológico local e para a avaliação da vulnerabilidade do aquífero, além de fornecerem subsídios técnicos relevantes para o planejamento das etapas subsequentes de monitoramento ambiental.

Figura 22 - Embasamento em 24m de profundidade

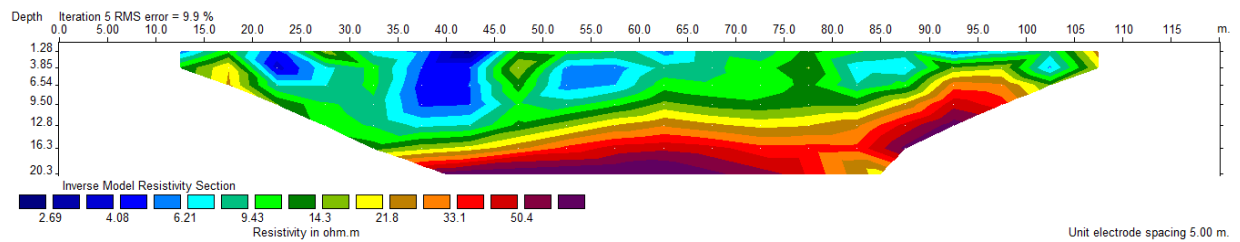


Fonte: Autor (2026)

Os resultados obtidos por meio dos levantamentos de imageamento elétrico permitiram uma avaliação integrada das condições geoeletricas da área de estudo, possibilitando a identificação de zonas com comportamento anômalo e a interpretação de sua possível relação com processos de potencial contaminação do meio subsuperficial.

No Imageamento Elétrico - Linha 01 (Figura 23), observa-se a presença de uma camada superficial com elevada condutividade elétrica até aproximadamente 12 m de profundidade. Destaca-se, entre as estacas 35 e 75 m, uma anomalia marcadamente condutiva, com valores de resistividade da ordem de até  $2 \Omega \cdot m$ , apresentando maior intensidade próxima à estaca de 40 m. Esse padrão geoeletrico é compatível com a presença de materiais com maior teor de umidade e/ou substâncias dissolvidas no meio poroso, condição frequentemente associada à ocorrência de contaminantes, conforme discutido por Loke (2014), que destaca a eficácia do método elétrico na identificação de plumas contaminantes devido à redução significativa da resistividade elétrica.

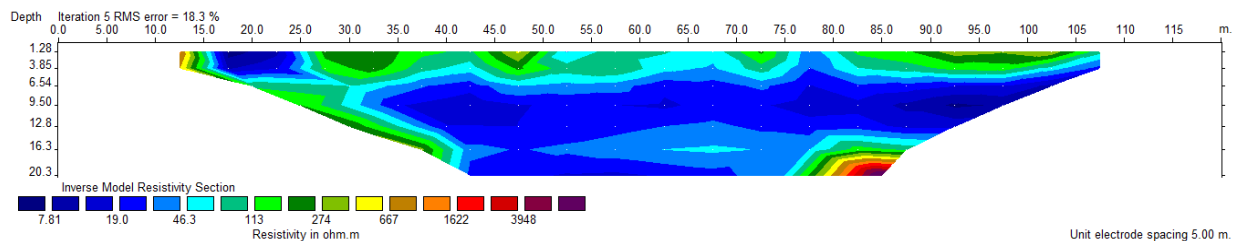
Figura 23 - Linha 01



Fonte: Autor (2026)

O Imageamento Elétrico – Linha 02 (Figura 24) apresenta uma camada superficial com resistividades variando entre 100 e 300  $\Omega\cdot\text{m}$ , sobreposta a uma camada altamente condutiva que se estende praticamente por toda a seção investigada, com maior intensidade entre as estacas 40 e 100 m. A continuidade lateral dessa zona de baixa resistividade sugere um meio relativamente homogêneo do ponto de vista geológico, possivelmente relacionado à presença de solos saturados. Segundo Dahlin e Zhou (2004), esse tipo de resposta geológica é comum em áreas com potencial histórico de contaminação, mesmo quando as concentrações químicas medidas são baixas ou próximas aos limites de detecção.

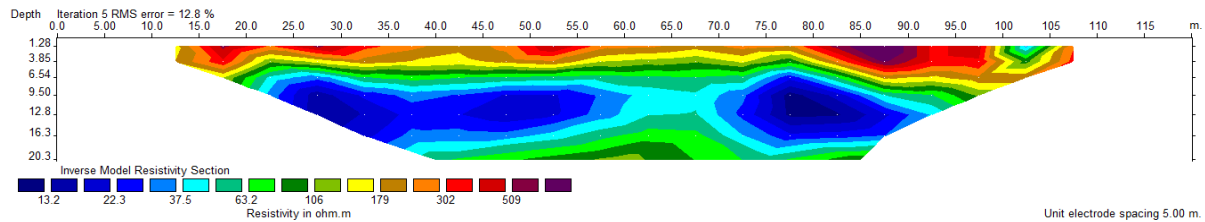
Figura 24 - Linha 02



Fonte: Autor (2026)

Em contraste, o Imageamento Elétrico - Linha 03 (Figura 25) apresenta valores de resistividade com maiores valores quando comparados às demais seções. Observa-se um padrão horizontal das camadas geológicas, sem a presença de anomalias. Esse comportamento sugere a ausência de perturbações relevantes no meio, permitindo associar essa área a condições naturais do solo, sem indícios de contaminação significativa. Resultados semelhantes são descritos por Binley e Kemna (2005), que apontam que áreas não impactadas tendem a apresentar respostas geológicas mais uniformes e resistivas.

Figura 25 - Linha 03



Fonte: Adaptado pelo autor (2026)

Estudos internacionais demonstram que, mesmo em sistemas elétricos com potencial histórico de uso de PCBs, a maioria dos transformadores apresenta concentrações baixas ou não detectáveis desses compostos. Pelitli (2015) analisou óleos de transformadores na Turquia e observou que apenas uma amostra apresentou valores superiores a 50 ppm, enquanto a maioria permaneceu abaixo dos limites regulatórios. De forma semelhante, Saeedi (2017) identificou que mais de 85% dos transformadores avaliados no Irã apresentavam concentrações inferiores a 5 ppm, e Shin (2006) reportou valores abaixo de 50 ppm em todos os transformadores analisados na Coreia. Esses resultados reforçam que a ocorrência de níveis baixos de PCBs no ambiente é estatisticamente comum e compatível com o observado na área de estudo.

No que se refere aos compostos BTEX, estudos recentes indicam que sua detecção em concentrações baixas é frequente, mesmo em áreas com histórico de uso de combustíveis e óleos. Gomes (2023), ao avaliar a contaminação de águas subterrâneas em uma cidade da Amazônia Oriental, identificou BTEX em apenas 19,7% das amostras, todas abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação brasileira. Os autores ressaltam que, embora os valores sejam baixos, a presença desses compostos justifica ações de monitoramento contínuo, uma vez que representam risco potencial ao meio ambiente e à saúde humana.

A literatura aponta ainda que processos naturais, como biodegradação aeróbia, volatilização e dispersão, contribuem para a atenuação natural de BTEX no solo e na água subterrânea, resultando em concentrações reduzidas ao longo do tempo. Revisões recentes destacam que esses processos são particularmente eficientes em ambientes com boa oxigenação e atividade microbiana, explicando por que áreas potencialmente contaminadas podem apresentar baixos níveis desses compostos no momento da investigação (JOURNAL OF HAZARDOUS, 2015).

Do ponto de vista normativo e metodológico, é importante destacar que a ausência de contaminação significativa não invalida a investigação, mas, ao contrário, constitui um

resultado relevante. Diretrizes internacionais, como as adotadas pelo Departamento de Proteção Ambiental da Flórida e pelas normas canadenses para áreas contaminadas, enfatizam que a comparação entre concentrações medidas, valores de fundo e padrões regulatórios é etapa essencial do processo de avaliação ambiental. Relatórios técnicos internacionais demonstram que muitos sítios investigados são classificados como de baixo ou nenhum risco após análises detalhadas, reforçando a importância da geração de dados confiáveis para a tomada de decisão.

### **5.3 Estudos de investigação**

#### ***5.3.1 Etapa I – Avaliação intrusiva***

A Etapa II da investigação de passivo ambiental incluiu procedimentos intrusivos direcionados pelos resultados gerados na Etapa I, conforme metodologia apresentada a seguir.

#### ***5.3.2 Apresentação***

Os estudos foram divididos em etapas de sondagens e caracterização do solo, coleta de amostras de solo e água, medições de gases e ensaios de infiltração.

As investigações se concentraram em locais previamente definidos, baseados na somatória de estudos realizados, entre eles, o relatório passivo ambiental – RPA, realizado na fase 1, Avaliação preliminar, adotando as diretrizes mínimas para avaliação primária de passivo ambiental, com o intuito de identificar indícios de contaminação de solo e água na área de interesse, estudos de topografia, que potencializaram o terreno e possíveis locais com maior facilidade de fluxo devido ao desnível do terreno, estudo geofísico divididos em linhas de SEV com definição do topo rochoso e pacote sedimentar e a provável área de pluma de contaminantes, coleta de multi-incremento e a própria avaliação da equipe multidisciplinar que através de análises dos relatórios e visitas técnicas aos locais, definiu os possíveis pontos com potencial para contaminação dentro da área estudada.

##### ***5.3.2.1 Medição de Organovoláteis – VOC***

A medição da quantidade de hidrocarbonetos presentes em fase de vapor (VOC) foi realizada utilizando-se aparelho eletrônico apropriado, PHOCHECK TIGER - PIDGAS DETECTOR, que detecta e quantifica os vapores por correlação com a explosividade inerente dos hidrocarbonetos voláteis de baixo peso molecular, típico de hidrocarbonetos leves derivados de petróleo (combustíveis, solventes, nafta, Etc.).

A presença ou ausência de hidrocarbonetos voláteis no subsolo do empreendimento foi determinada utilizando-se o equipamento acima descrito, com o registro das leituras e medições para cada perfuração. Podendo-se assim desenvolver uma malha que reproduz com fidelidade o cenário investigado.

O princípio de aplicação baseou-se na oxidação dos gases presentes no ambiente, monitorando e quantificando a energia liberada no processo e fazendo-se a devida correlação da presença de compostos orgânicos. O ar que continha os hidrocarbonetos, provenientes de cada perfuração, é aspirado por uma mini-bomba interna do próprio equipamento Phoccheck Tiger, que evitou a passagem de umidade e poeira por meio de filtro, sendo, então, dirigido aos sensores catalíticos.

A calibração do PHOCHECK TIGER - PIDGAS DETECTOR foi realizada tomando-se como padrão, um hidrocarboneto alcano. Para o caso, foi empregado o hexano e, a partir das características de explosividade deste composto determinou-se a concentração em ppm (partes por milhão) dos demais compostos orgânicos leves.

Assim, o aparelho foi calibrado para não fazer leituras de metano, bem como de hidrocarbonetos com menos de seis carbonos, isto evitou a inclusão de gás natural existente em alguns terrenos ricos em metano (gás que normalmente é encontrado em solos orgânicos que possuem acentuada atividade microbiana), de forma a não produzir interferências e leituras errôneas nas campanhas de VOC de hidrocarbonetos leves derivados de petróleo. A faixa de utilização típica destes aparelhos para concentrações de VOC varia entre 0 e 11.000 ppm. Na campanha de VOC, foram realizadas 6 leituras em ambientes e executadas 15 (quinze) perfurações em torno das edificações e tanque de estocagem de óleo em profundidades médias de 1,00m e três medidas em cada furo (0,00, 0,50 e 1,00m) onde foi inserida a sonda para a leitura das concentrações.

#### *5.3.2.2 Caracterização Geológica-Geotécnica e metodologia*

A investigação geotécnica contemplou a execução quinze furos de sondagem a trado neste empreendimento, Figura 26, para caracterização através de coleta de solo em dois níveis de profundidade e ensaios.

Figura 26 - Locais dos poços de inspeção



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2024)

Nos locais das sondagens após a coleta de solo, foram instalados poços de inspeção com tubos de PVC de 100mm tamponados com capes, Figura 26, para leituras durante a fase de estudo, onde além do solo coletado para análise de Btex e PAH, foram medidos três níveis de voc, boca do poço, 0,50m e 1m.

Figura 27 - Poço de inspeção



Fonte: Autor (2026)

Todas as sondagens mencionadas seguiram as normas da NBR 6484/01 e ABGE 2013 para execução dos serviços geotécnicos. A locação, foi auxiliada pela topografia e

realizadas também através de um GPSMAP 64st – Garmin.

As amostras foram classificadas conforme a norma NBR-7250 - Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. As amostras das sondagens foram encaminhadas para Fortaleza-CE para a análise e classificação do solo e após isso armazenadas em um local apropriado.

Na execução das sondagens a trado foi usado dois processos para avanço do furo. Inicialmente é utilizado o cavador com auxílio de alavanca e posteriormente o trado com concha de 4” ou Helicoidal de 4” até se encontrar material impenetrável a esta ferramenta ou atingir 1m de furo, onde as profundidades para coletadas de amostras para ensaios de voc e descrição litoestatigráfica foram de 0,50m e 1m, onde após a conclusão dos furos e amostragem, foram colocados tubos de PVC e capes de 100mm para tamponamento, também foram medidos as concentrações de gases na boca do poço de inspeção.

A tabela 07 apresentado a seguir mostra um resumo das sondagens realizadas no período.

Tabela 07 - Resumo das sondagens realizadas no período

<b>DATA</b>	<b>FUROS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>PROF(m)</b>
17/02/2025	E - 01	545392	9574419	1,00
	E - 02	545400	9574427	1,00
18/02/2025	E - 03	545436	9574432	1,00
	E - 04	545521	9574423	1,00
	E - 05	545480	9574435	1,00
19/02/2025	E - 06	545476	9574394	1,00
	E - 07	545490	9574424	1,00
	E - 08	545390	9574394	1,00
	E - 09	545438	9574389	1,00
20/02/2025	E - 10	545333	9574447	1,00
	E - 11	545451	9574357	1,00
	E - 12	545430	9574409	1,00
	E - 13	545385	9574443	1,00
	E - 14	545258	9574462	1,00
	E - 15	545465	9574420	1,00

Fonte: Autor (2026)

Figura 28 - Realização do furo de sondagem a trado



Fonte: Autor (2026)

Figura 29 - Trados Utilizados



Fonte: Autor (2026)

### 5.3.2.3 Plano de amostragem do solo e água

Para este estudo adotamos coletar 100 g de amostra de solo, em frascos de vidros fornecidos pela Promatec, nos 15 furos de sondagem realizados, para análise de BTEX e PAH seguindo a metodologia utilizada dentro das exigências sugeridas pelo *EPA (Environmental Protection Agency)*.

Para amostras de água foram coletadas 10 amostras (5 em tubos de ensaio com HCl e 5 em frascos de vidro marrom escuro de um litro cada, fornecidos pela Promatec) de 5 locais como cisternas, poços e rede de abastecimento, conforme tabela 8 e Figura 30.

Figura 30 - Locais de coleta de água



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2024)

Tabela 08 - Locais de coleta de água

DATA	PONTOS	X	Y	Coleta de água	Coleta de solo	p/ análise
31/03/2025	E A 01	545449,19	9574361,09	Cacimba	08:48	2
31/03/2025	E A 02	545472,50	9574418,92	Cisterna	10:58	2
31/03/2025	E A 03	545437,33	9574406,76	Caixa d'água	14:18	2
31/03/2025	E A 04	545314,90	9574484,90	Poço	15:05	2
31/03/2025	E A 05	545308,32	957445,71	caixa d'água	15:00	2

Fonte: Autor (2026)

As amostras foram enviadas ao laboratório Promatec em Rio Claro/SP. O envio foi acompanhado por cadeia de custódia para assegurar o recebimento dentro do prazo de validade e em condições ideais para análise. As cadeias de custódia e os laudos encontram-se no Anexo.

#### 5.3.2.4 *Conservação e envio de amostras*

As amostras foram coletadas para análise e posteriormente armazenadas em frasco individual específico mantidas em uma caixa de isopor com bastante gelo, pois devem ser conservadas a uma temperatura de até 6° C, conforme norma internacional EPA e enviado pelos correios até o Laboratório Promatec para realizar as análises químicas.

O Laboratório Promatec ao receber as amostras passa por uma inspeção de recebimento (checklist) onde verificam as condições de entrega das amostras.

#### 5.3.2.5 *BTEX e PAH*

Os compostos do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) constituem importantes indicadores de contaminação ambiental associada a combustíveis e óleos derivados de petróleo, sendo amplamente utilizados em estudos de diagnóstico e monitoramento ambiental (ANP, 2006). Esses hidrocarbonetos aromáticos monoaromáticos apresentam elevada mobilidade no solo e na água subterrânea, o que favorece sua dispersão em subsuperfície e amplia o potencial de exposição humana.

Dentre os constituintes do grupo BTEX, o benzeno destaca-se por apresentar maior toxicidade, sendo classificado como substância carcinogênica e mutagênica. A exposição ao benzeno, mesmo em baixas concentrações e por períodos relativamente curtos, pode estar associada ao desenvolvimento de leucemia, enquanto exposições em concentrações elevadas, por via inalatória ou oral, podem resultar em efeitos agudos graves e até óbito (FERNANDES et al., 2002).

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) constituem outra classe relevante de contaminantes orgânicos, caracterizada por ampla distribuição no ambiente e ocorrência frequente em solos, ar e alimentos, principalmente em áreas sujeitas à queima incompleta de matéria orgânica e ao manuseio de derivados de petróleo (Howard; Fazio, 1969; Lo; Sandi, 1978). Diversos compostos desse grupo apresentam toxicidade comprovada em estudos laboratoriais, com destaque para aqueles classificados como potencialmente carcinogênicos (IARC, 1983).

Entre os PAH, o benzo(a)pireno [B(a)P] é frequentemente utilizado como composto indicador devido ao seu reconhecido potencial carcinogênico, o que tem impulsionado o desenvolvimento de pesquisas voltadas à identificação, quantificação e avaliação das fontes de exposição humana a esses contaminantes (IARC, 1983; Larson, 1986).

Nesse contexto, a análise conjunta de BTEX e PAH configura uma ferramenta essencial para a avaliação do risco ambiental e à saúde humana em áreas com histórico ou potencial de contaminação por combustíveis e óleos.

### 5.3.2.6 Metodologia de análise

Todas as análises foram realizadas de acordo com *EPA (Environmental Protection Agency)*. A tabela 9 mostra a identificação das metodologias usadas.

Tabela 9 - Identificação das metodologias

Tipo de amostra	Análise	Quantidade amostrada	Identificação da Metodologia
Solo	BTEX	100 g	EPA - 8260(C):2006 / EPA 5021 (A):2006
	PAH		EPA - 8270(D):2014 / EPA 3550 (C):2007
Água do Poço	BTEX	1 frasco	EPA - 8260(C):2006 / EPA 3510 (A):2006
	PAH	1 frasco	EPA - 8270(D):2014 / EPA 3510 (C): 1996

Fonte: Autor (2026)

As amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório Promatec análises ambientais, localizado na cidade Rio Claro - SP, sendo o mesmo certificado pelo INMETRO de acordo com ABNT NBR ISO/IEC 17025.

### 5.3.2.7 Análise de cromatografia gasosa

Os dados foram obtidos por meio do método de cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas. Tais métodos são indicados como os mais eficazes para a quantificação de resíduos oleosos, já que combinam a resolução do ponto de ebulição com informações sobre o tipo de molécula dos compostos (MARIANO, 2006; NETO et al, 2000).

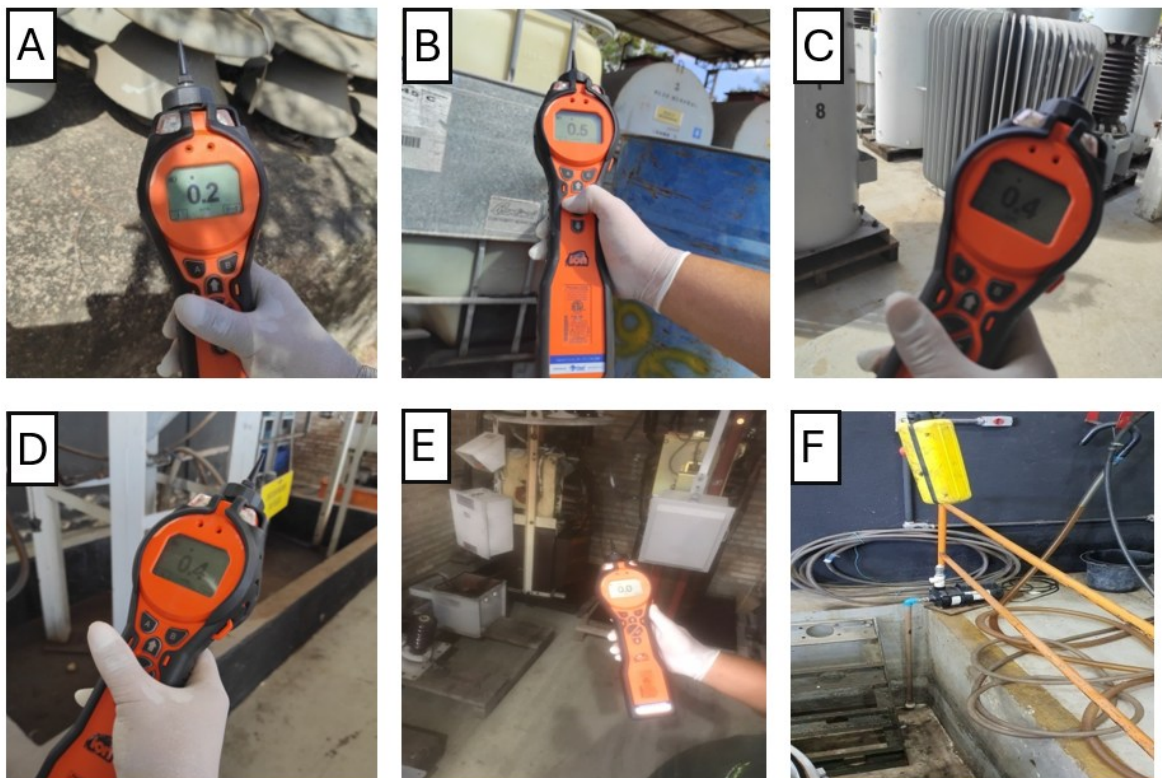
Segundo dados obtidos junto ao laboratório responsável pelas análises, os equipamentos utilizados, para BTEX e PAH são descritos a seguir.

- **Análise BTEX:** coluna DB5-MS 30metros x 0,25 milímetro x 1,0 micrometro, Cromatógrafo Gasoso com Espectrômetro de Massa do tipo Íon Trap (Fabricante: Varian - Modelo: Saturno 2200). A técnica utilizada é a Headspace e possui amostrador automático CombiPal, cujo fabricante é CTCAnalytics.
- **Análise PAH:** coluna DB5-MS 30metros x 0,25milímetros x 0,25 micrometros, Cromatógrafo Gasoso com Espectrômetro de Massa do tipo Íon Trap (Fabricante: Varian - Modelo: Saturno 2200), com amostrador automático (Fabricante: Varian - Modelo: CP8400), os solventes de extração são o n-hexano e tolueno.

### 5.3.2.8 Campanha de medição da concentração VOC

A medição dos VOC'S no ambiente foi em locais com potencial para concentração de gases, nesta sistemática foram realizadas 6 medições de VOC e a locação das perfurações para medição das concentrações de VOC no subsolo foi realizada nas áreas onde não existiam dúvidas sobre a presença de tubulações enterradas de acordo com levantamento prévio e obedecendo a metodologia estabelecida de acordo com as normas, foram realizadas 45 medições de VOC nos poços de inspeção.

Figura 31 - Equipamentos utilizados na concentração VOC. A: Antigo lavador; B: Arm.Tanques e tambores; C: Transformadores; D: Tanque de armazenamento; E: Estufa; F: Manutenção dos transmissores



Fonte: Autor (2026)

A tabela 10 apresenta os ambientes onde foram realizadas as medições de gases na área de estudo, bem como a data de amostragem, a identificação dos pontos, as coordenadas planimétricas e as concentrações registradas em partes por milhão (ppm). As medições foram efetuadas em setores com histórico ou potencial de manipulação, armazenamento ou manutenção de combustíveis, óleos e equipamentos associados, como áreas de transformadores, tanques e antigo lavador de veículos. Os valores obtidos variaram entre 0,00

e 0,50 ppm, permitindo uma avaliação preliminar da presença de gases em subsuperfície e no ambiente imediato, subsidiando a interpretação das condições ambientais locais e a definição de ações de monitoramento.

Tabela 10 - Ambientes com medição de gases

DATA	PONTOS	X - m E	Y - m S	MEDIDA GAS - PPM	LOCAL
14/04/2025	MG01	545477	9574431	0,20	Antigo Lavador de carros
14/04/2025	MG02	545455	9574433	0,40	Transformadores
14/04/2025	MG03	545442	9574432	0,40	Tanques de armazenamento
14/04/2025	MG04	545397	9574430	0,50	Armazenamento Tanques e tambores
14/04/2025	MG05	545448	9574428	0,00	Manutenção dos transformadores
14/04/2025	MG06	545444	9574415	0,00	Estufa

Fonte: Autor (2026)

Figura 32 – Ambientes (pontos verdes) e poços de inspeção (pontos vermelhos) com medição de VOC



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, 2024

Tabela 11 - Concentrações de VOC da campanha aplicada na área do empreendimento


DATA	FUROS	X	Y	PROF (m)	MEDIDA GAS	PROF (m)	MEDIDA GAS	PROF Boca do P.I.	MEDIDA GAS	Nível D'água
17/02/2025	E - 01	545392	9574419	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,10	não atingiu
	E - 02	545400	9574427	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,10	não atingiu
18/02/2025	E - 03	545436	9574432	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,20	não atingiu
	E - 04	545521	9574423	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 05	545480	9574435	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
19/02/2025	E - 06	545476	9574394	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 07	545490	9574424	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 08	545390	9574394	1,00	0,00	0,50	0,10	0,00	0,00	não atingiu
	E - 09	545438	9574389	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 10	545333	9574447	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,30	não atingiu
20/02/2025	E - 11	545451	9574357	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 12	545430	9574409	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 13	545385	9574443	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 14	545258	9574462	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu
	E - 15	545465	9574420	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	não atingiu


Fonte: Autor (2025)

### 5.3.2.9 Poços de Inspeção - PI

Para a realização destes furos de sondagem (PI) foi utilizado os trados manuais de 4". A profundidade final atingida foi de 1,00m. Foram feitas medições a 0,00 m, 0,50 m e 1,00 m de VOC com o equipamento utilizado para análise do diagnóstico ambiental (Phocheck Tiger – PidGas Detector). Em nenhum poço de inspeção foi atingindo o nível d'água.


Figura 33 - Poço de Inspeção: E1

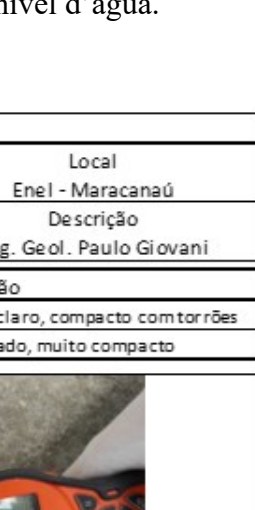
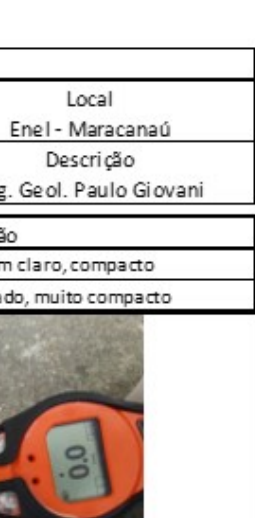
Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E1</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574419	545392	17/02/2025	17/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00 a 0,50	E1 Am-01	0,00		silte areno-argiloso, cor marrom claro, compacto com torrões	
0,50 a 1,00	E1 Am-02	0,00		Silte argiloso, cor alaranjado, muito compacto	




Fonte: Autor (2026)

Figura 34 - Poço de Inspeção: E2

Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E2</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574427	545400	17/02/2025	17/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00 a 0,50	E2 Am-01	0,00		silte arenoso, cor marrom claro, compacto	
0,50 a 1,00	E2 Am-02	0,00		Silte argiloso, cor alaranjado, muito compacto	

Fonte: Autor (2026)

Figura 35 - Poço de Inspeção: E3


Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E3</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574432	545436	18/02/2025	18/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00 a 0,50	E3 Am-01	0,00		Areia média, cor cinza, pouco compacta	
0,50 a 1,00	E3 Am-02	0,00		areia média a fina, cor cinza, compacta	




Fonte: Autor (2026)

Figura 36 - Poço de Inspeção: E4



Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E4</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574423	545521	18/02/2025	18/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00 a 0,50	E4 Am-01	0,00		Areia média a fina, cor cinza, pouco compacta	
0,50 a 1,00	E4 Am-02	0,00		Areia média a fina, cor cinza, compacta	

Fonte: Autor (2026)

Figura 37 - Poço de Inspeção: E5

Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E5</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574435	545480	18/02/2025	18/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00 a 0,50	E5 Am-01	0,00		Areia média a fina, cor cinza, pouco compacta	
0,50 a 1,00	E5 Am-02	0,00		Areia média a fina, cor cinza, compacta	

Fonte: Autor (2026)

Figura 38 - Poço de Inspeção: E6



Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E6</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574435	545480	18/02/2025	18/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00 a 0,50	E6 Am-01	0,00		Areia média a fina, cor cinza, pouco compacta	
0,50 a 1,00	E6 Am-02	0,00		Areia média a fina, cor cinza, compacta	




Fonte: Autor (2026)

Figura 39 - Poço de Inspeção: E7



Perfil de Sondagem a Trado						
Identificação		Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E7</b>		SIRGAS 2000 - ZONA 24				EneI - Maracanaú
Profundidade (m)		Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1		9574424	545490	19/02/2025	19/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovanni
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição		
0,00 a 0,50	E7Am-01	0,00		Areia média, cor cinza, compacta		
0,50 a 1,00	E7Am-02	0,00		Areia fina, cor cinza, muito compacta		

Fonte: Autor (2026)

Figura 40 - Poço de Inspeção: E8


Perfil de Sondagem a Trado						
Identificação		Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E8</b>		SIRGAS 2000 - ZONA 24				EneI - Maracanaú
Profundidade (m)		Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1		9574394	545390	19/02/2025	19/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovanni
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição		
0,00 a 0,50	E8Am-01	0,10		silte arenoso, cor marrom alaranjado, compacto c/torrões		
0,50 a 1,00	E8Am-02	0,00		Silte argiloso, cor alaranjado, muito compacto		

Fonte: Autor (2026)

Figura 41 - Poço de Inspeção: E9



Perfil de Sondagem a Trado						
Identificação		Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E9</b>		SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)		Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1		9574389	545438	19/02/2025	19/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição		
0,00 a 0,50	E9 Am-01	0,00	[Imagem de Perfil]	Areia média com torrões, cor cinza claro, compacta		
0,50 a 1,00	E9 Am-02	0,00		areia fina, cor cinza amarelado, muito compacta		

Fonte: Autor (2026)

Figura 42 - Poço de Inspeção: E10



Perfil de Sondagem a Trado						
Identificação		Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E10</b>		SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)		Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1		9574447	545333	19/02/2025	19/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição		
0,00 a 0,50	E10Am-01	0,00	[Imagem de Perfil]	silte areno-argiloso, cor cinza marrom claro, compacto		
0,50 a 1,00	E10Am-02	0,00		Silte argiloso, cor marrom claro, compacta		

Fonte: Autor (2026)

Figura 43 - Poço de Inspeção: E11

Perfil de Sondagem a Trado						
Identificação		Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E11</b>		SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)		Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1		9574357	545451	20/02/2025	20/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição		
0,00 a 0,50	E11 Am-01	0,00		silte arenoso, cor cinza, compacto		
0,50 a 1,00	E11 Am-02	0,00		Silte argiloso, cor marrom claro, muito compacto		

Fonte: Autor (2026)


Figura 44 - Poço de Inspeção: E12



Perfil de Sondagem a Trado						
Identificação		Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E12</b>		SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)		Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1		9574409	545430	20/02/2025	20/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição		
0,00 a 0,50	E12 Am-01	0,00		Areia média a fina, com cinza claro, compacta		
0,50 a 1,00	E12 Am-02	0,00		Areia média, cor cinza, compacta		




Fonte: Autor (2026)


Figura 45 - Poço de Inspeção: E13



Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E13</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574443	545385	20/02/2025	20/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00a 0,50	E13 Am-01	0,00		Areia média a fina, cor cinza claro, compacta	
0,50a 1,00	E13 Am-02	0,00		Areia siltosa a argilosa, cor marrom claro, muito compacta	

Fonte: Autor (2026)

Figura 46 - Poço de Inspeção: E14



Perfil de Sondagem a Trado					
Identificação	Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E14</b>	SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)	Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1	9574462	545258	20/02/2025	20/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição	
0,00a 0,50	E14 Am-01	0,00		Areia média a fina, com cinza claro, compacta	
0,50a 1,00	E14 Am-02	0,00		Areia siltosa a argilosa, cor cinza, compacta	

Fonte: Autor (2026)

Figura 47 - Poço de Inspeção: E15

Perfil de Sondagem a Trado						
Identificação		Coordenadas UTM		Data da Execução		Local
<b>Furo - E15</b>		SIRGAS 2000 - ZONA 24				Enel - Maracanaú
Profundidade (m)		Latitude - S	Longitude - E	Início	Final	Descrição
1		9574420	545465	20/02/2025	20/02/2025	Eng. Geol. Paulo Giovani
Prof. (m)	Amostra	VOC	Perfil	Descrição		
0,00 a 0,50	E15 Am-01	0,00		Areia média a fina, com cinza claro, compacta		
0,50 a 1,00	E15 Am-02	0,00		Areia siltosa a argilosa, cor cinza, compacta		

Fonte: Autor (2026)

#### 5.3.2.10 Ensaio de absorção de solo

O ensaio mede a propriedade que o solo possui quanto a percolação de água, de maneira geral é um ensaio simples, mas fundamental para a construções de tanques e fossas sépticas. A NBR que regulamenta este procedimento é a ABNT NBR 7229.

Essas condições são baseadas no coeficiente de infiltração do solo obtido neste ensaio, o valor será utilizado no dimensionamento de fossas sépticas e campos de absorção, no caso dos estudos realizados na companhia energética do Ceará.

Este procedimento merece destaque justamente para evitar contaminação de qualquer rede de abastecimento, nível freático e corpos d'água, pois caso esses locais sejam contaminados, podem trazer diversos malefícios a saúde humana.

A metodologia é bastante simples:

- Quando estiver bastante saturado, uma régua é posicionada na borda, a cova é preenchida por água novamente e então é anotado o valor que demora para que a coluna d'água percole 1 cm no solo.
- Foram feitos 05 (cinco) determinações de tempo para cada ensaio, e com esses dados é determinado o coeficiente de infiltração do solo ( $L/m^2 \times dia$ ), que pode ser expresso em gráfico ou pela fórmula  $C_i = (490) / (t+2,5)$ .

Para a realização do teste foi adotada a metodologia Manual de Saneamento da

FUNASA (2006) – Capacidade de absorção do solo para destinação final de efluente de esgoto doméstico; E o teste de infiltração, segundo a metodologia da NBR 7229/93 da ABNT, que determina a capacidade de infiltração do terreno, expressa em L/m<sup>2</sup> dia

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de campo, junto com as análises do solo e com os parâmetros da tabela da ABNT – NBR-7229/93 (tabela 12), também se definiu o tipo de solo e a absorção relativa para cada local.

Figura 48 - Localização dos ensaios de absorção



Fonte: Autor (2026)

Tabela 12 - Faixas de variação de coeficiente de infiltração

Faixa	Constituição provável dos solos	Coefficiente de infiltração (L/m <sup>2</sup> x dia)	Absorção relativa
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada.	Menor que 20	Impermeável
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compactas, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas.	20 a 40	Semi-impermeável
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areias argilosas ou siltes argilosos de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60	Vagarosa
4	Areia ou silte pouco argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 a 90	Média
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos.	Maior que 90	Rápida

Fonte: ABNT – NBR-7229/93

Figura 49 – Mapa de localização dos ensaios de absorção de solo



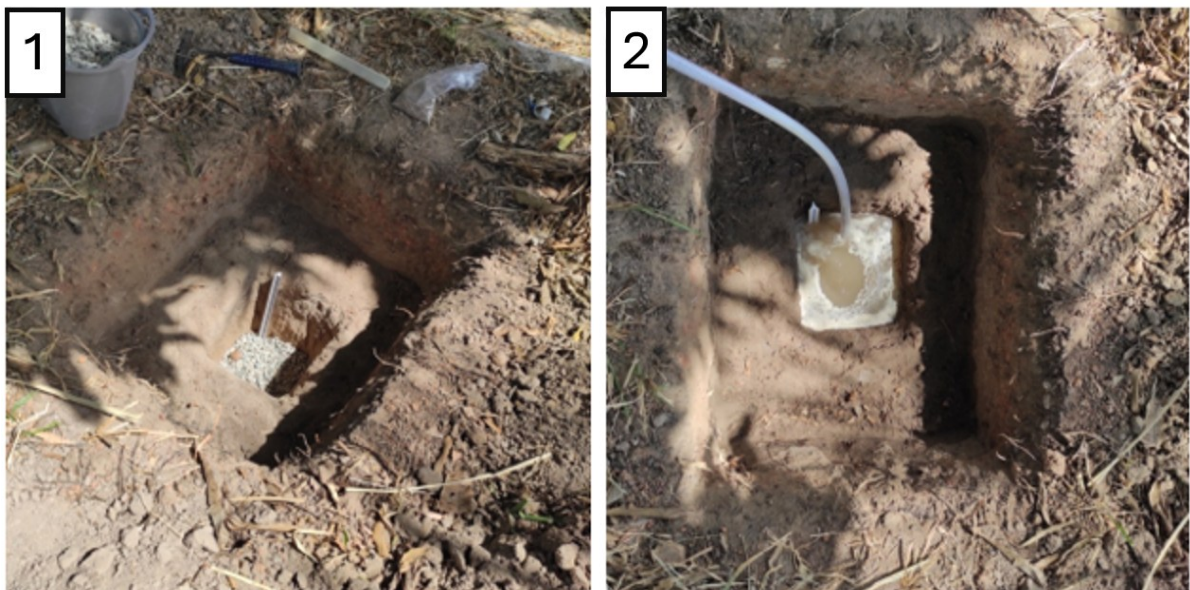
Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2024)

Os ensaios tiveram início no dia 15/05/2025. As fotografias abaixo se referem às covas escavadas durante a fase 2 dos estudos. A primeira cava de 1m x 1m, a outra cava de 30 cm x 30 cm x 30 cm.

#### 5.3.2.11 Resultados e interpretações dos ensaios de absorção do solo

Os resultados dos ensaios evidenciam elevada variabilidade espacial da capacidade de absorção/infiltração do solo na área estudada, indicando comportamento hidrogeológico heterogêneo e possível influência de mudanças texturais, compactação e condições locais do terreno. A figura 50 apresenta um dos locais de ensaio. As demais figuras e tabelas resultados dos ensaios estão dispostos no Anexo B.

Figura 50 – EAS01 – 0545518 / 9574422



Fonte: Autor (2026)

De forma geral, observa-se predominância de classes entre impermeável, semi-impermeável e infiltração vagarosa, indicando que grande parte da área apresenta baixa capacidade de infiltração vertical.

Predomínio de comportamento de baixa infiltração nos ensaios EAS01, EAS05, EAS07, EAS08, EAS10 e EAS11 apresentaram valores médios de  $C_i$  inferiores a aproximadamente 35, sendo classificados como impermeáveis ou semi-impermeáveis.

Esse resultado sugere: menor condutividade hidráulica superficial; maior retenção de água nas camadas superiores; menor velocidade de percolação vertical; potencial aumento do escoamento superficial.

Do ponto de vista geológico, esse comportamento é compatível com: solos argilosos; materiais lateríticos; horizontes compactados; presença de frações finas da Formação Barreiras.

Existência de zonas com infiltração intermediária nos ensaios EAS02, EAS03, EAS04 e EAS06 apresentaram classificação vagarosa, com valores médios entre aproximadamente 40 e 55. Esse padrão indica: infiltração presente, porém limitada; capacidade moderada de transmissão vertical; possibilidade de recarga localizada.

A redução progressiva do  $C_i$  ao longo das medições nesses ensaios demonstra um comportamento esperado de saturação gradual do meio.

- Exemplo: EAS06

$$C_i: 98,00 \rightarrow 84,48 \rightarrow 42,61 \rightarrow 29,52 \rightarrow 21,78$$

Interpretação: Inicialmente o solo absorve rapidamente, porém ocorre redução progressiva da capacidade de infiltração com o aumento da saturação. Esse comportamento sugere: presença de macroporos superficiais; diminuição da condutividade em profundidade.

Identificação de setor com melhor desempenho hidráulico no ensaio EAS09 apresentou o maior valor médio ( $C_i = 78,92$ ), sendo classificado como absorção média.

Além disso:  $C_i: 87,50 \rightarrow 84,48 \rightarrow 83,05 \rightarrow 74,24 \rightarrow 65,33$ . Observa-se pequena redução entre leituras. Isso indica: comportamento mais homogêneo; maior continuidade dos vazios; maior potencial de infiltração.

Geologicamente, esse ponto pode indicar: material mais arenoso; menor compactação; presença de descontinuidades naturais.

Tendência de redução do  $C_i$  ao longo das medições. Em praticamente todos os ensaios observa-se:

$$C_{i\_1} > C_{i\_2} > C_{i\_3} > C_{i\_4} > C_{i\_5}$$

Esse comportamento é esperado em ensaios de infiltração e indica:

- Preenchimento progressivo dos poros; aumento do grau de saturação; aproximação da condutividade hidráulica estabilizada. Esse padrão reforça a confiabilidade metodológica dos resultados.
- Implicações hidrogeológicas e ambientais, a predominância de valores baixos de absorção sugere que: o potencial de recarga direta do aquífero é limitado em grande parte da área; contaminantes superficiais tendem a migrar lentamente em condições naturais; podem ocorrer zonas localizadas de infiltração preferencial.

Para investigação ambiental, isso significa que: áreas semelhantes ao EAS09 merecem maior atenção como possíveis corredores de migração; áreas semelhantes ao EAS05, EAS07 e EAS10 podem atuar como zonas de retenção.

Tabela 13 - Síntese interpretativa

<b>Classe</b>	<b>Nº de Ensaios</b>	<b>Interpretação</b>
Impermeável	3	Baixa infiltração e elevada retenção
Semi-Impermeável	2	Infiltração limitada
Vagarosa	5	Recarga lenta
Média	1	Maior potencial de infiltração

Fonte: Autor (2026)

Tabela 14 - Valores obtidos nas medições realizadas

<b>Ensaio</b>	<b>Ci1</b>	<b>T1</b>	<b>Ci2</b>	<b>T2</b>	<b>Ci3</b>	<b>T3</b>	<b>Ci4</b>	<b>T4</b>	<b>Ci5</b>	<b>T5</b>	<b>Ci Médio</b>	<b>Classe</b>
<b>EAS01</b>	39,20	10,0	23,33	18,5	22,27	19,5	21,59	20,2	21,49	20,3	25,58	Semi-Impermeável
<b>EAS02</b>	45,79	8,2	41,53	9,3	40,83	9,5	38,89	10,1	37,98	10,4	41,01	Vagarosa
<b>EAS03</b>	71,01	4,4	56,98	6,1	50,52	7,2	44,95	8,4	38,58	10,2	52,41	Vagarosa
<b>EAS04</b>	56,32	6,2	56,32	6,2	56,52	7,2	50,00	7,3	46,67	8,0	51,97	Vagarosa
<b>EAS05</b>	21,27	20,5	15,00	30,2	10,32	45,0	10,21	45,5	9,84	47,3	13,33	Impermeável
<b>EAS06</b>	98,00	2,5	84,48	3,3	42,61	9,0	29,52	14,1	21,78	20,0	55,28	Vagarosa
<b>EAS07</b>	10,32	45,0	9,33	50,0	7,46	63,2	6,76	70,0	6,47	73,2	8,07	Impermeável
<b>EAS08</b>	41,18	9,4	41,88	9,2	33,11	12,3	25,93	16,4	20,50	21,4	32,52	Semi-Impermeável
<b>EAS09</b>	87,50	3,1	84,48	3,3	83,05	3,4	74,24	4,1	65,33	5,0	78,92	Média
<b>EAS10</b>	17,01	26,3	10,96	42,2	7,81	60,2	7,11	66,4	6,64	71,3	9,91	Impermeável
<b>EAS11</b>	29,70	14,0	26,06	16,3	17,50	25,5	14,45	31,4	11,40	40,5	19,82	Impermeável*

Fonte: Autor (2026)

## 5.4 Resultados Laboratoriais

Os resultados obtidos nas análises de solo emitidos pelo laboratório foram comparados com a Lista de Valores Orientadores para Solos da Resolução CONAMA N°420/2009 e CETESB de Fevereiro/2014. Esta lista sugere valores de investigação para solo. Os valores orientadores para solos apresentam três divisões, contendo valores de referência de qualidade, valor de prevenção e de investigação. Para os níveis de investigação, os solos são separados de acordo com seus usos: agrícola, residencial ou industrial. Para o caso em estudo, pelas características intrínsecas do empreendimento, será adotado o uso industrial para o solo.

Para efeito da Resolução CONAMA N° 420/2009 são adotados os seguintes termos e definições:

- Valores Orientadores: são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo.
- Valor de Investigação: é a concentração de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Os resultados analíticos das amostras de solo, bem como os valores de referência das tabelas de Valores Orientadores da Resolução CONAMA N°420/2009 encontram-se descritos na Tabela 15. Os laudos laboratoriais com os resultados das análises químicas encontram-se no Anexo.

Os resultados analíticos das amostras de solo dos poços de monitoramento não indicaram concentrações acima dos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA N°420/2009.

A Tabela 15 a 17 apresenta os resultados analíticos das amostras de solo coletadas nos pontos E-01 a E-15, contemplando os compostos do grupo BTEX e os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH). De modo geral, todas as substâncias analisadas apresentaram concentrações inferiores aos respectivos limites de quantificação laboratoriais, sendo reportadas como “<LQ”.

Tabela 15 - Resultados analíticos das amostras de solo BTEX (E01 a E-05)

Substâncias	Valores Orientadores	CONAMA nº 420/2009	CETESB	nº 045/2014	Identificação da coleta (µg/kg) do solo					
	Investigação Industrial (mg.kg-1)	Prevenção (mg.kg-1)	L. Q. (µg/kg)	Intervenção Industrial (mg.Kg <sup>-1</sup> )	E - 01	E - 02	E - 03	E - 04	E - 05	
<b>BTEX</b>										
Benzeno	0,15	0,03	2	0,2	<2	<2	<2	<2	<2	
Tolueno	75	0,14	5	80	<5	<5	<5	<5	<5	
Etilbenzeno	95	6,2	5	1,4	<5	<5	<5	<5	<5	
o-Xileno	-	-	5	-	<5	<5	<5	<5	<5	
m,p- Xileno	-	-	10	-	<10	<10	<10	<10	<10	
Xileno Total	70	0,13	15	19	<15	<15	<15	<15	<15	
BTEX Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>PAH</b>										
Naftaleno	90	0,12	3	5,9	<3	<3	<3	<3	<3	
Acenaftileno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3	
Acenafteno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3	
Fluoreno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3	
Fenantreno	95	3,3	3	9500	<3	<3	<3	<3	<3	
Antraceno	-	0,039	3	10000	<3	<3	<3	<3	<3	
Fluoranteno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3	
Pireno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3	
Benzo (a) Antraceno	65	0,025	3	22	<3	<3	<3	<3	<3	
Criseno	-	8,1	3	1600	<3	<3	<3	<3	<3	
Benzo (b) Fluoranteno	-	-	3	25000	<3	<3	<3	<3	<3	
Benzo (k) Fluoranteno	-	0,38	3	240000	<3	<3	<3	<3	<3	
Benzo (a) Pireno	3,5	0,052	3	2700	<3	<3	<3	<3	<3	
Indeno (1,2,3) Pireno	130	0,031	3	30000	<3	<3	<3	<3	<3	
Dibenzo (a,h) Antraceno	1,3	0,08	3	2900	<3	<3	<3	<3	<3	
Benzo (g,h,i) Perileno	-	0,57	3	-	<3	<3	<3	<3	<3	
Total PAH's	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fonte: Autor (2026)

Tabela 16 - Resultados analíticos das amostras de solo BTEX (E06 a E-10)

Substâncias	Valores Orientadores	CONAMA nº 420/2009	CETESB	nº 045/2014	Identificação da coleta (µg/kg) do solo				
	Investigação Industrial (mg.kg-1)	Prevenção (mg.kg-1)	L. Q. (µg/kg)	Intervenção Industrial (mg.Kg <sup>-1</sup> )	E - 06	E - 07	E - 08	E - 09	E - 10
<b>BTEX</b>									
Benzeno	0,15	0,03	2	0,2	<2	<2	<2	<2	<2
Tolueno	75	0,14	5	80	<5	<5	<5	<5	<5
Etilbenzeno	95	6,2	5	1,4	<5	<5	<5	<5	<5
o-Xileno	-	-	5	-	<5	<5	<5	<5	<5
m,p- Xileno	-	-	10	-	<1 0	<1 0	<1 0	<1 0	<1 0
Xileno Total	70	0,13	15	19	<1 5	<1 5	<1 5	<1 5	<1 5
BTEX Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PAH</b>									
Naftaleno	90	0,12	3	5,9	<3	<3	<3	<3	<3
Acenaftileno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Acenafteno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Fluoreno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Fenantreno	95	3,3	3	9500	<3	<3	<3	<3	<3
Antraceno	-	0,039	3	10000	<3	<3	<3	<3	<3
Fluoranteno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Pireno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (a) Antraceno	65	0,025	3	22	<3	<3	<3	<3	<3
Criseno	-	8,1	3	1600	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (b) Fluoranteno	-	-	3	25000	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (k) Fluoranteno	-	0,38	3	240000	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (a) Pireno	3,5	0,052	3	2700	<3	<3	<3	<3	<3
Indeno (1,2,3) Pireno	130	0,031	3	30000	<3	<3	<3	<3	<3
Dibenzo (a,h) Antraceno	1,3	0,08	3	2900	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (g,h,i) Perileno	-	0,57	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Total PAH's	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2026)

Tabela 17 - Resultados analíticos das amostras de solo BTEX (E12 a E-15)

Substâncias	Valores Orientadores	CONAMA nº 420/2009	CETESB	nº 045/2014	Identificação da coleta (µg/kg) do solo				
	Investigação Industrial (mg.kg-1)	Prevenção (mg.kg-1)	L. Q. (µg/kg)	Intervenção Industrial (mg.Kg <sup>-1</sup> )	E - 11	E - 12	E - 13	E - 14	E - 15
<b>BTEX</b>									
Benzeno	0,15	0,03	2	0,2	<2	<2	<2	<2	<2
Tolueno	75	0,14	5	80	<5	<5	<5	<5	<5
Etilbenzeno	95	6,2	5	1,4	<5	<5	<5	<5	<5
o-Xileno	-	-	5	-	<5	<5	<5	<5	<5
m,p- Xileno	-	-	10	-	<1 0	<1 0	<1 0	<1 0	<1 0
Xileno Total	70	0,13	15	19	<1 5	<1 5	<1 5	<1 5	<1 5
BTEX Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PAH</b>									
Naftaleno	90	0,12	3	5,9	<3	<3	<3	<3	<3
Acenaftileno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Acenafteno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Fluoreno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Fenantreno	95	3,3	3	9500	<3	<3	<3	<3	<3
Antraceno	-	0,039	3	10000	<3	<3	<3	<3	<3
Fluoranteno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Pireno	-	-	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (a) Antraceno	65	0,025	3	22	<3	<3	<3	<3	<3
Criseno	-	8,1	3	1600	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (b) Fluoranteno	-	-	3	25000	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (k) Fluoranteno	-	0,38	3	240000	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (a) Pireno	3,5	0,052	3	2700	<3	<3	<3	<3	<3
Indeno (1,2,3) Pireno	130	0,031	3	30000	<3	<3	<3	<3	<3
Dibenzo (a,h) Antraceno	1,3	0,08	3	2900	<3	<3	<3	<3	<3
Benzo (g,h,i) Perileno	-	0,57	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
Total PAH's	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2026)

Para os compostos BTEX, incluindo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, não foram detectadas concentrações mensuráveis em nenhuma das amostras, permanecendo abaixo dos valores de prevenção e, principalmente, muito inferiores aos valores de investigação para uso industrial definidos pela legislação aplicável. Destaca-se o benzeno, substância de maior relevância toxicológica, cujos resultados ficaram abaixo do limite de quantificação em todos os pontos amostrados.

De forma semelhante, os compostos do grupo PAH também apresentaram resultados abaixo dos limites de quantificação em todas as amostras analisadas. Mesmo para substâncias reconhecidamente mais críticas do ponto de vista ambiental e sanitário, como benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno e dibenzo(a,h)antraceno, não foram observadas concentrações detectáveis, permanecendo significativamente abaixo dos valores de prevenção, investigação e intervenção.

Os resultados indicam que, no momento da amostragem, o solo da área investigada não apresenta evidências analíticas de contaminação por BTEX ou PAH, segundo os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 para uso industrial.

Tabela 18 reúne os resultados das análises químicas das amostras de água subterrânea coletadas nos pontos EA-01 a EA-05. Assim como observado para o solo, todas as substâncias analisadas apresentaram concentrações abaixo dos limites de quantificação laboratoriais.

Os compostos BTEX não foram detectados em nenhuma das amostras de água subterrânea, permanecendo abaixo dos valores orientadores de investigação e intervenção definidos pela legislação, bem como dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, quando aplicável.

Da mesma forma, os PAH analisados apresentaram resultados não detectáveis, com concentrações inferiores aos limites de quantificação, não indicando impacto químico na água subterrânea decorrente desses compostos. Mesmo os PAH de maior potencial carcinogênico não foram identificados em concentrações mensuráveis.

Tabela 18 - Resultados analíticos da amostra de água BTEX e PAH

Substâncias	Valores Orientadores CONAMA nº 420/2009	CETESB	nº 195/2005	Identificação da coleta ( ug/L)				
	Investigação ( ug/L-1)			L. Q. ( ug/L-1)	Intervenção ( ug/L-1)	EA - 1	EA - 2	EA - 3
<b>BTEX</b>								
Benzeno	5*	1	7,82	<1	<1	<1	<1	<1
Tolueno	700*	1	9,60	<1	<1	<1	<1	<1
Etilbenzeno	300**	1	10,26	<1	<1	<1	<1	<1
o-Xileno	-	1	6,40	<1	<1	<1	<1	<1
m,p- Xileno	-	2	9,30	<2	<2	<2	<2	<2
Xileno Total	500**	3	-	<3	<3	<3	<3	<3
BTEX Total	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PAH</b>								
Naftaleno	140	0,01	60	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Acenaftileno	-	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Acenafteno	-	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoreno	-	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fenantreno	140	0,01	140	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	-	0,01	900	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	-	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	-	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo (a) Antraceno	1,75	0,01	0,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	-	0,01	41	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo (b) Fluoranteno	-	0,01	0,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo (k) Fluoranteno	-	0,01	4,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo (a) Pireno	0,7*	0,01	0,7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno (1,2,3) Pireno	0,17	0,01	0,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo (a,h) Antraceno	0,18	0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo (g,h,i) Perileno	-	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Total PAH's	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2026)

A ausência de detecção de BTEX e PAH nas amostras de solo e água subterrânea sugere que não há, do ponto de vista analítico-químico, contaminação ativa por hidrocarbonetos aromáticos na área investigada, considerando os limites metodológicos das análises realizadas. Esses resultados são consistentes com os valores orientadores

estabelecidos pela legislação ambiental vigente e não indicam a necessidade imediata de ações corretivas ou de intervenção com base nos parâmetros avaliados.

Entretanto, ressalta-se que os resultados representam uma condição pontual no tempo, estando associados às profundidades, locais de coleta e aos limites de quantificação adotados. Assim, a continuidade do monitoramento ambiental, quando tecnicamente justificada, permanece como ferramenta complementar para a avaliação da qualidade ambiental da área ao longo do tempo.

## **5.5 Caracterização e Direção dos Fluxos Superficial e Subterrâneo**

A análise da dinâmica hídrica em ambientes geológicos do semiárido cearense é fundamental para o entendimento tanto da disponibilidade de água quanto dos potenciais riscos de contaminação e degradação dos recursos hídricos locais. No presente capítulo, apresenta-se um diagnóstico detalhado das direções e tendências dos fluxos superficial e subterrâneo, embasado em levantamentos de campo, dados topográficos e medições de carga piezométrica.

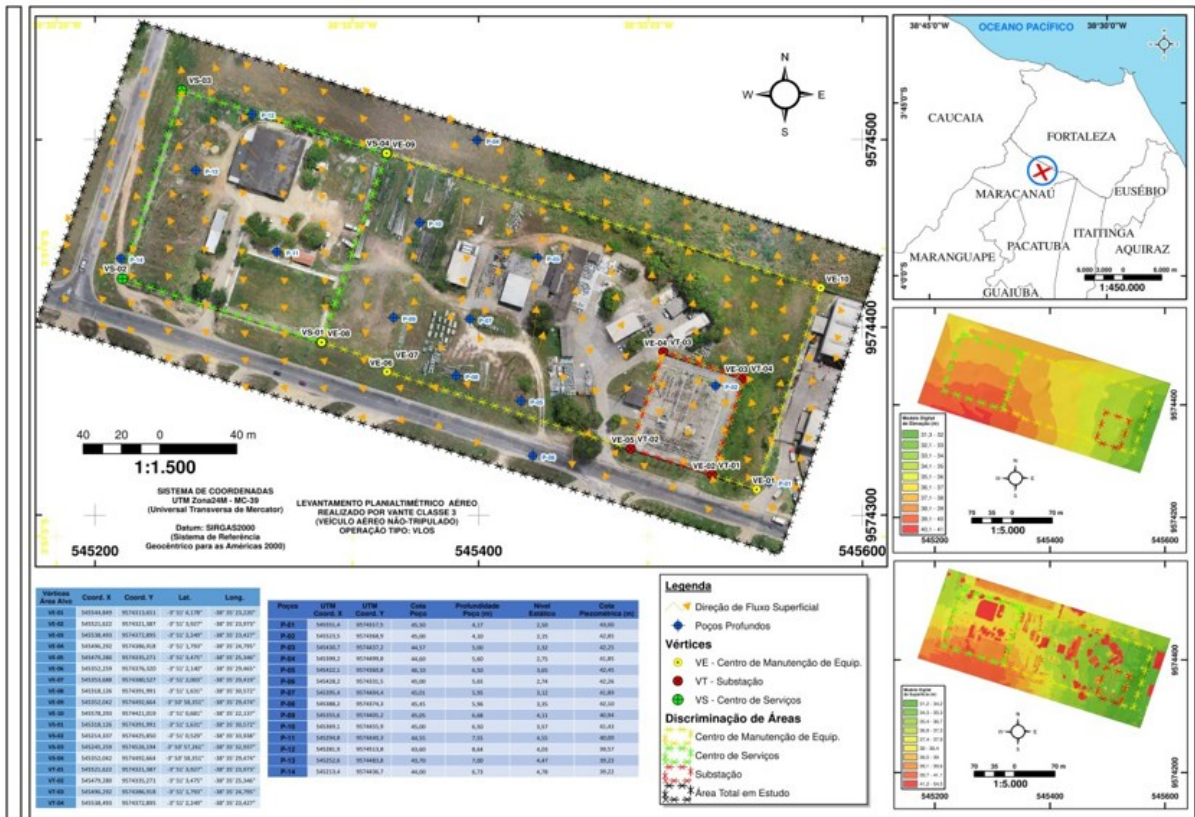
### ***5.5.1 Fluxo Superficial***

O fluxo superficial foi avaliado por meio de análises do relevo, mapas topográficos de alta resolução e inspeção em campo, destacando a influência direta da morfologia do terreno sobre a direção das águas pluviais e de drenagem local. Constatou-se uma dispersão das direções de fluxo superficial, com tendência geral orientada para noroeste. Esta tendência se justifica pela topografia, onde a porção leste da área estudada apresenta as maiores altitudes, evidenciada pelas cotas topográficas máximas observadas nas nascentes e nos poços ali localizados.

Processos erosivos, a densidade de cobertura vegetal e características geomorfológicas, como o grau de declividade e proximidade de divisores de drenagem, também contribuem para maior dispersão das linhas de fluxo superficial, principalmente em eventos de alta pluviosidade, conforme destacado por Melo e Silva (2013) e Tucci (2000). Segundo os autores, “o escoamento superficial ocorre a partir do excesso de precipitação, relacionado à saturação do solo e à capacidade de infiltração”, o que justifica variações temporais do padrão de fluxo em regiões com forte estacionalidade.

A figura 51 apresenta o mapa de fluxo superficial.

Figura 51 – Mapa de fluxo superficial



Fonte: Autor (2026)

### 5.5.2 Fluxo Subterrâneo

Para a análise do fluxo subterrâneo, foram utilizados dados de nível estático dos poços de monitoramento e calculadas as cotas piezométricas para cada ponto amostrado. A elaboração de mapas potenciométricos permitiu identificar um padrão de fluxo preferencial também orientado para noroeste, convergindo em direção a um açude localizado na região de menor cota topográfica. A direção e intensidade do fluxo subterrâneo foram inferidas a partir do gradiente hidráulico calculado entre os pontos de maior e menor carga (Freeze & Cherry, 1979; Foster & Hirata, 1993).

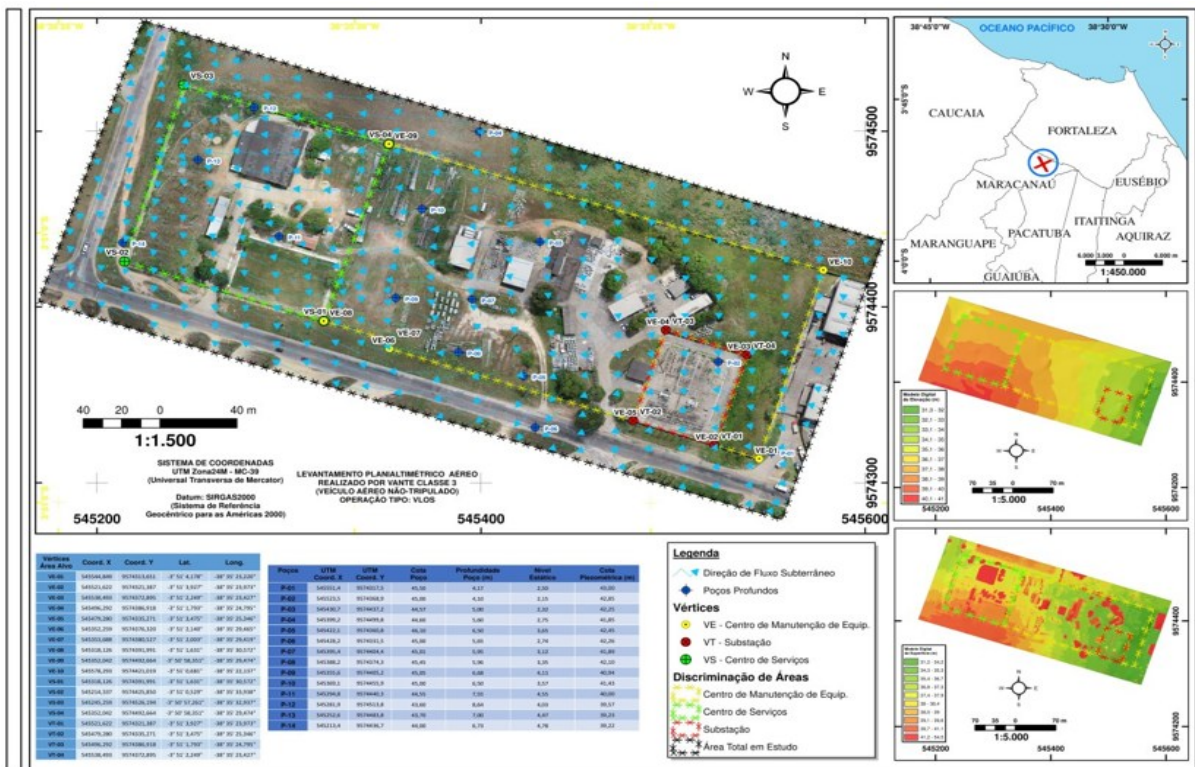
Mapas potenciométricos são considerados as ferramentas mais apropriadas para esse tipo de análise, pois viabilizam, segundo CPRM (2024) e ABAS (2023), “a determinação do padrão do fluxo do lençol freático, divisores de bacia hidrogeológica e zonas de recarga e descarga”. O gradiente hidráulico local, obtido pela diferença de carga entre os poços leste (maior cota piezométrica) e o açude a noroeste (menor cota), evidencia um fluxo

relativamente uniforme e prioritariamente dirigido para a área do açude, confirmando o caráter regional do aquífero livre associado à Formação Barreiras.

Cabe ressaltar que a direção do fluxo subterrâneo tende a seguir em parte o padrão topográfico, mas pode apresentar desvios devido a heterogeneidades litológicas, estruturas fraturadas e variações de porosidade, como indicado pelos estudos de Bahia (2013) e Nascimento et al. (2023), os quais demonstram que “o fluxo de água, mesmo em regiões próximas à linha de costa ou vales, pode ocorrer em diferentes sentidos, condicionado à morfologia e arquitetura dos depósitos sedimentares”.

A figura 52 apresenta o mapa de fluxo superficial.

Figura 52 - Mapa de fluxo superficial



Fonte: Autor (2026)

### 5.5.3 Interações entre Fluxos Superficial e Subterrâneo

A interação entre os sistemas de fluxo superficial e subterrâneo é governada, conforme Saré (2003) e Melati et al. (2017), “pela posição relativa dos corpos hídricos, características geológicas das margens e eventos meteorológicos regionais”. Em períodos de alta recarga, observa-se maior influência do fluxo subterrâneo sobre os corpos d’água superficiais devido a uma descarga de base mais acentuada - fenômeno reconhecido como

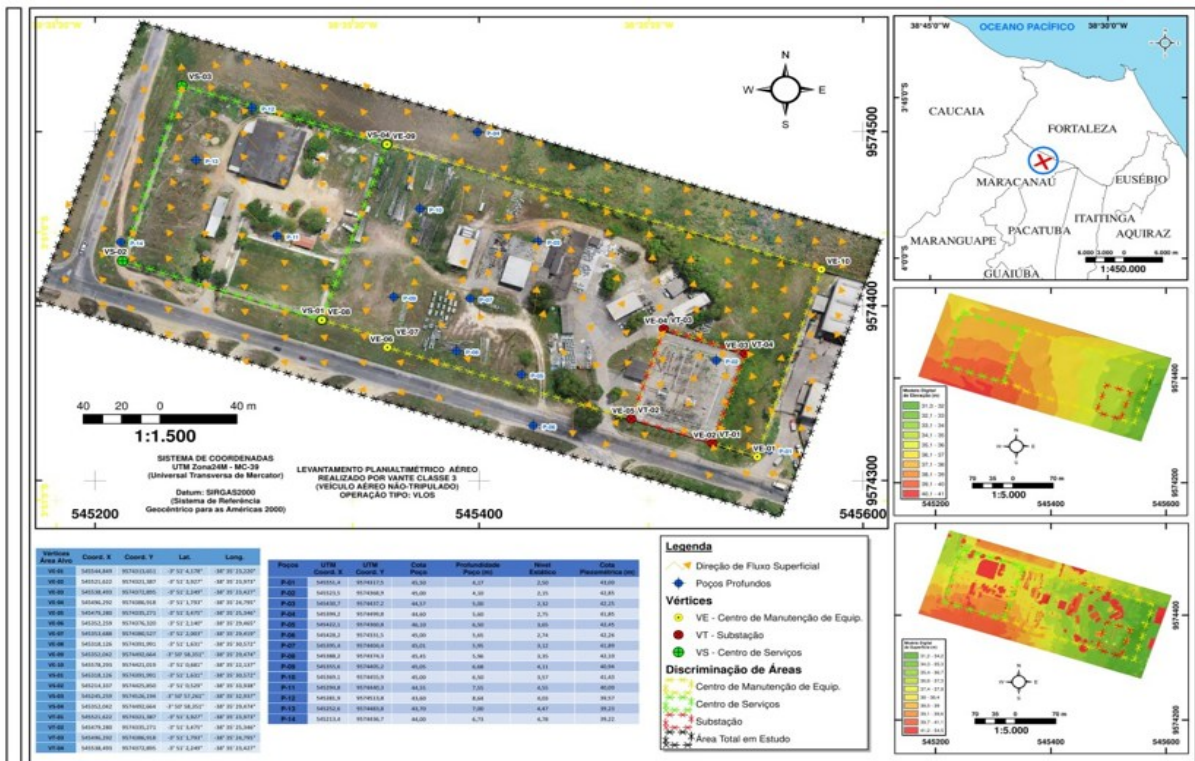
componente essencial para manutenção do nível dos açudes em ambientes semiáridos. O padrão identificado localmente reforça o papel da morfologia regional ao direcionar ambos os sistemas para o noroeste, convergindo para o açude, que atua como zona de descarga hídrica principal da área.

### 5.5.4 Implicações Ambientais e de Gestão

A definição acurada da direção de fluxo superficial e subterrâneo subsidia estratégias de monitoramento ambiental e manejo dos recursos hídricos. O reconhecimento de áreas de recarga (porção leste elevada) e descarga (açude a noroeste) permite delinear zonas prioritárias para proteção de aquíferos e controle do uso e ocupação do solo, além de orientar a localização de poços de monitoramento e a implementação de ações corretivas em caso de contaminação.

A análise integrada, conforme recomendada pelas normas técnicas da ABNT NBR 13380, deve sempre considerar as condições hidrodinâmicas locais, regime de chuvas e características geomorfológicas, validando os resultados por meio de dados campo e modelagem hidrogeológica (ABNT, 1996; Golden Software, 2024). A figura 53 apresenta o mapa da análise topográfica geral.

Figura 53 – Mapa de topografia geral



Fonte: Autor (2026)

## 6 CONCLUSÃO

Norteando nossos estudos e levantamentos utilizamos a avaliação preliminar, determinada na ABNT NBR 15.515-1:2007 – Passivo Ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar, visando à identificação de indícios de contaminação de solo e água subterrânea, Juntando-se a essas informações realizamos levantamentos de Planialtimetria e geofísica, onde a geofísica foi dividida em SEV para determinar o pacote sedimentar e plumas de contaminantes, para embasar ainda mais os locais a serem analisados através de sondagens e com coletas para análises de possíveis contaminantes, iniciando assim a parte 2 – investigação Confirmatória.

A partir da interpretação dos ensaios geofísicos realizados, foi possível identificar a ocorrência de anomalias de elevada condutividade elétrica ao longo do Imageamento Elétrico-02, especialmente no intervalo compreendido entre 40 e 100 metros, bem como em um trecho do Imageamento Elétrico-01, entre aproximadamente 35 e 75 metros. Tais anomalias contrastam com os valores de resistividade das áreas adjacentes, sugerindo alterações nas propriedades elétricas do meio.

Sintetizando resultados do imageamento elétrico, destacando as anomalias geofísicas interpretadas como potenciais indicativos de contaminação indicamos dois pontos que correspondem às áreas sugeridas para a instalação de poços de monitoramento, definidos com base na distribuição espacial dessas anomalias e visando subsidiar etapas posteriores de investigação ambiental.

A Investigação Confirmatória foi efetivada por meio de análises físico-químicas do solo e da água, tendo em vista as possibilidades supracitadas de contaminação do solo e, mais profundamente, do lençol freático, sendo necessário uma campanha de sondagem e ensaios de absorção, onde se caracterizou o solo dentro das normas estabelecidas.

Com mais de 50 checagem de VOC's divididas em solo e ambientes, 15 amostras de solo, 5 amostras de água e 11 ensaios de absorção, chegamos a informação que nos locais amostrados mesmo com grande potencial de contaminação, tiveram resultados inferiores aos valores mínimos orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009, 460/2013 e pela Decisão de Diretoria n.º 256/2016 – CETESB.

Essa falta de números de contaminantes expressivos se dá muito, pela quantidade de óleo derramado em acidentes ser em quantidade que não chegam as camadas mais profundas do solo, devido as características de baixa absorção do solo e pela profundidade

escolhida para as análises, o que não descarta a contaminação em solos com profundidades até 0,30m.

A interpretação geofísica é corroborada pelos resultados das análises químicas associadas ao óleo de transformador e aos compostos orgânicos voláteis.

Como sugestão, concordamos com a construção de bacias de contenção, sistema de drenagem e abrigo de resíduos devidamente dimensionados. A impermeabilização de alguns espaços e a manutenção nas tubulações e equipamentos de transporte de óleo. Um sistema de gestão e monitoramento de fontes de contaminação seria neste momento de grande importância.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Regulamentação técnica aplicável a combustíveis**. Brasília, DF: ANP, 2006.
- ALMEIDA, F. F. M. de et al. **Províncias estruturais brasileiras**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. Atas. Campina Grande: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Nordeste, 1977. p. 363–392. (Boletim, n. 6).
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, p. 1–29, 1981.
- ALMEIDA, M. S. S.; NETO, M. I. M. **Investigação e monitoramento de áreas contaminadas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA AMBIENTAL, 5., 2005, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre, 2005.
- ARTHAUD, M. H.; HARTMANN, M. B. **A geologia da região de Independência (CE): um exemplo de tectônica de nappe no Ceará**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986. Anais. 1986. v. 3, p. 1160–1169.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Manual técnico de hidrogeologia**. [S. l.]: ABAS, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13380: poço de monitoramento para investigação geológica e avaliação de impactos ambientais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13784: armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis: seleção de métodos para detecção de vazamentos e ensaios de estanqueidade em SASC**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13786: seleção de equipamentos e sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis em postos de serviço**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17505: armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis: partes 1 a 7**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- AZAMBUJA, J. L. F. **Potencialidades de serviços on-line de posicionamento por ponto preciso em aplicações geodésicas**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- BAHIA, V. E. **Avaliação hidrogeológica e ambiental do sistema hídrico da Bacia do Rio Verde Grande**. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- BICHO, C. P. et al. **Projeto  $\mu$ VANT: parceria DNPM/UnB para fiscalização de atividades minerais não tituladas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais. São José dos Campos: INPE, 2013.

- BONO, R. et al. **Exposure to benzene and health effects**. *Toxicology Letters*, v. 119, p. 97–105, 2001.
- BRAGA, A. C. O. **Métodos geoeletricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica: formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro, SP**. 1997. 169 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.
- BRITO NEVES, B. B. et al. **O sistema Pajeú-Paraíba e o Maciço São José do Campestre no leste da Província Borborema**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 2, p. 173–184, 2001.
- BRITO, S. N. A. O.; SANTOS, A. M. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.
- CAVALCANTE, J. C. **Limites e evolução geodinâmica do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.
- CAVALCANTE, J. C. et al. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2001.
- CHIARANDA, H. S. **Volatilização dos compostos BTEX em ambientes subsuperficiais contaminados com gasolina e etanol**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Procedimento para identificação de passivos ambientais em estabelecimentos com sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis**. São Paulo: CETESB, 2024.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Brasil**. [S. l.]: CPRM, 2024.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 3 out. 2014.
- CORSEUIL, H. X.; FERNANDES, M. **Efeito do etanol no aumento da solubilidade de compostos aromáticos da gasolina brasileira**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 4, n. 1–2, p. 71–75, 1999.
- DAL'FORNO, G. L. et al. **Levantamento planialtimétrico no plano topográfico local**. *GAEA – Journal of Geoscience*, v. 5, n. 2, 2009.
- ESPOSITO, G. et al. **Application of UAV photogrammetry for multi-temporal estimation of excavation volumes**. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, 2017.

- FERNANDES, M. et al. **Atmospheric BTX and polyaromatic hydrocarbons in Rio de Janeiro**. Chemosphere, v. 47, p. 417–425, 2002.
- FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. **Groundwater pollution: assessment and management**. [S. l.]: UNESCO, 1993.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer user's guide**. Version 10 and later. [S. l.]: Golden Software, 2024.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.
- HOWARD, J. W.; FAZIO, T. **Polycyclic aromatic hydrocarbons in food**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 17, n. 3, p. 527–531, 1969.
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans**. Lyon: IARC, 1983. v. 32.
- JACQUES, R. J. S. et al. **Biodegradação de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos**. Ciência e Natura, v. 29, n. 1, p. 7–24, 2007.
- LARSSON, B. **Polycyclic aromatic hydrocarbons in Swedish foods**. 1986. Doctoral thesis – University of Uppsala, Uppsala, 1986.
- LEITÃO, J. P. et al. **Assessing the quality of digital elevation models from UAVs**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 20, p. 1637–1653, 2016.
- LO, M. T.; SANDI, E. **Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods**. Residue Reviews, v. 69, p. 35–86, 1978.
- MELATI, M. D. et al. **Estudo das interações entre as águas superficiais e subterrâneas na Bacia do Paraná 3 utilizando modelagem hidrológica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., 2017. Anais. 2017.
- MELO, M. T.; SILVA, D. D. **Hidrologia: princípios e aplicações**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.
- MENDES, R. **Exposição ocupacional ao benzeno e efeitos à saúde**. Revista da Associação Médica Brasileira, v. 39, p. 249–256, 1993.
- NASCIMENTO, E. A. et al. **O fluxo da água subterrânea no sistema aquífero costeiro associado a depósitos eólicos na região de Cassino, RS**. Águas Subterrâneas, v. 37, n. 3, 2023.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- PHOTOSCAN. **Agisoft PhotoScan user manual: professional edition**. Version 1.4.0. [S. l.]:

Agisoft, 2018.

SARÉ, A. R. **Análise das condições de fluxo na barragem do Rio Verde**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2003.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Geologia.GIS: manual de utilização**. 1. ed. [S. l.]: CPRM, 2017.

SOUZA, R. R. de; AGUIAR, R. B. de; PAULA, T. L. F. de. **Mapa hidrogeológico do estado do Ceará**. [S. l.]: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2022. 1 mapa, color. Escala 1:500.000. Projeto Disponibilidade Hídrica do Brasil.

TEIXEIRA JÚNIOR, J. B.; SILVA, D. C. **Integração GPS/câmera para georreferenciamento direto de baixo custo**. Revista Brasileira de Cartografia, n. 63, p. 507–514, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

## ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO

### TERMO DE CONSENTIMENTO E AUTORIZAÇÃO PARA USO DE DADOS EMPRESARIAIS PARA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pelo presente instrumento, a empresa

**RAZÃO SOCIAL:** COMPANHIA ENERGÉTICA DO CEARÁ

**CNPJ:** 07.047.251/0001-70

**ENDEREÇO:** Av. do Contorno, s/n, **CEP:** 61939-900

**BAIRRO/DISTRITO:** Distrito Industrial I,

**MUNICÍPIO:** Maracanaú; **ESTADO:** CEARÁ

declara que **AUTORIZA** o(a) aluno(a) pesquisador(a):

**Nome do(a) discente:** PAULO GIOVANI SARAIVA DE OLIVEIRA

**Curso:** Mestrado em GEOLOGIA

**Instituição de Ensino:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

**Orientador(a):** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro

a utilizar dados e informações de sua titularidade para fins **exclusivamente acadêmicos**, no âmbito da dissertação de mestrado intitulada:

“DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL INTEGRADO EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREA INDUSTRIAL ENERGÉTICA NO MUNICÍPIO DE MARACANAÚ-CEARÁ”.

#### 1. Finalidade da autorização

Os dados serão utilizados exclusivamente para:

- Elaboração da dissertação de mestrado;
- Produção de artigos científicos e trabalhos acadêmicos derivados;
- Apresentações em bancas examinadoras e eventos científicos.

#### 2. Natureza dos dados

A presente autorização abrange o uso de dados:

Operacionais

Técnicos

Administrativos

Ambientais

Os dados serão tratados de forma **agregada, anonimizada ou codificada**, de modo a **não permitir a identificação sensível da empresa**, salvo autorização expressa em contrário.

### 3. Confidencialidade e proteção das informações

O(a) pesquisador(a) compromete-se a:

- Utilizar os dados exclusivamente para os fins acadêmicos autorizados;
- Preservar o sigilo e a confidencialidade das informações estratégicas;
- Atender aos princípios da **Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD (Lei nº 13.709/2018)**, quando aplicável;
- Não divulgar informações que possam causar prejuízo técnico, comercial ou institucional à empresa.

### 4. Voluntariedade e revogação

A presente autorização é concedida de forma livre e espontânea, podendo ser **revogada a qualquer momento**, mediante solicitação formal à instituição de ensino e ao(a) pesquisador(a), ressalvados os dados já utilizados em versões concluídas ou publicadas da dissertação.

### 5. Ausência de vínculo e de ônus

Esta autorização **não gera vínculo empregatício, contratual ou financeiro** entre a empresa, o(a) pesquisador(a) e a instituição de ensino, nem implica qualquer remuneração.

E, por estarem de pleno acordo, firmam o presente termo.

Local e data: 09/04/2026

**Assinatura do(a) aluno(a) pesquisador(a):**

Nome: Paulo Giovanni Saraiva de Oliveira

Telefone: (88) 9 9612-7653


Assinatura:

**Contato da empresa:**

Nome: Wijanderson Fernandes Gregório

Telefone: (88) 9-9248-6488

E-mail: [Wijanderson@br.enel.com](mailto:Wijanderson@br.enel.com)

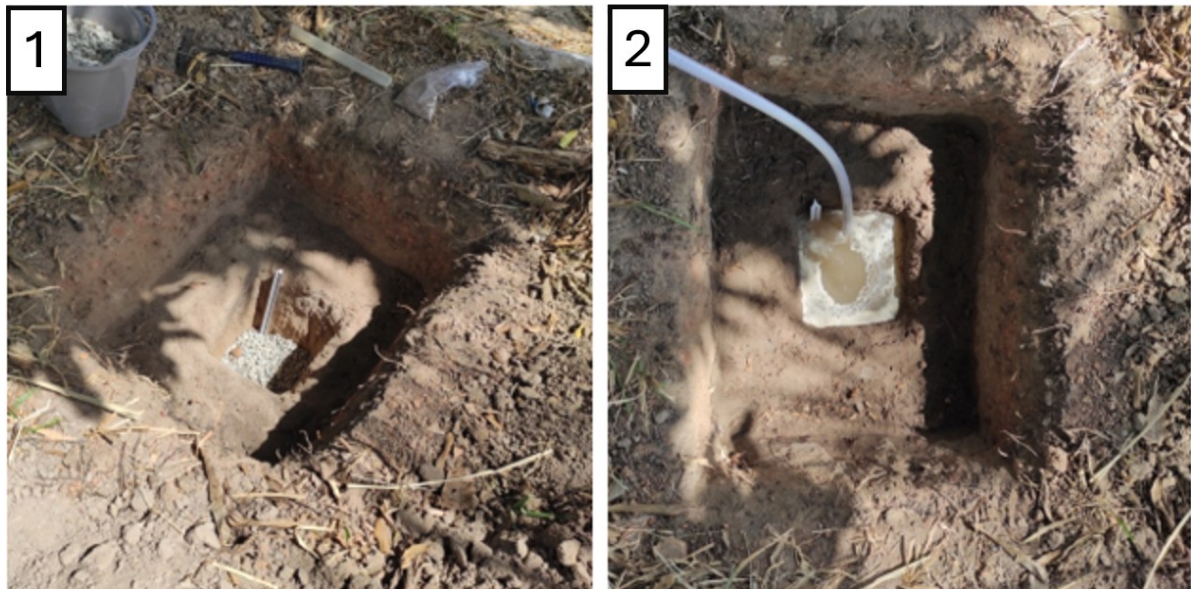
Assinatura: 

---

## ANEXO B – ENSAIOS DE ABSORÇÃO

### Ensaio: EAS01 – 0545518 / 9574422

- Procedimentos de ensaio. Painei 1: Preparação do poço com brita. Painei 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

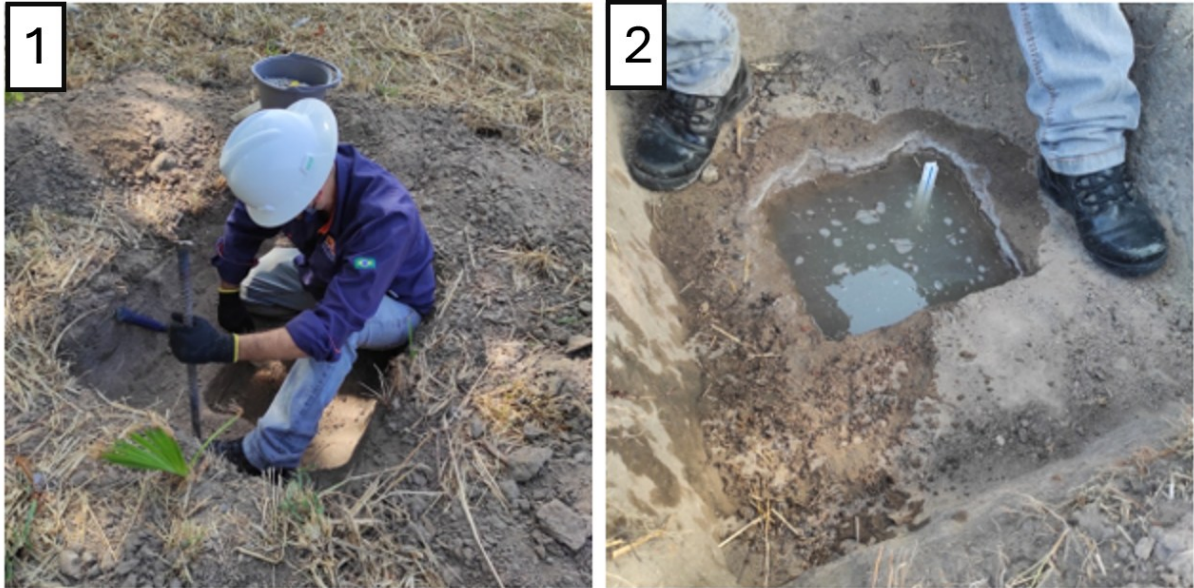
- Valores obtidos nas medições realizadas

Medição	Ci	Minutos (10cm)
1	39,20	10,00
2	23,33	18,50
3	22,27	19,5
4	21,59	20,2
5	21,49	20,3
Ci Médio		
<b>25,58</b>		
Resultado		Semi-Impermeável

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS02 – 0545518 / 9574422**

- Procedimentos de ensaio. Painel 1: Preparação do poço com brita. Painel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

<b>Medição</b>	<b>Ci</b>	<b>Minutos (10cm)</b>
1	45,79	8,2
2	41,53	9,3
3	40,83	9,5
4	38,89	10,1
5	37,98	10,4
	<b>Ci Médio</b>	
	<b>41,01</b>	
<b>Resultado</b>		<b>Vagarosa</b>

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS03 – 0545525 / 9574400**

- Procedimentos de ensaio. Painel 1: Preparação do poço com brita. Painel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

Medição	Ci	Minutos (10cm)
1	71,01	4,40
2	56,98	6,10
3	50,52	7,20
4	44,95	8,40
5	38,58	10,20
	Ci Médio	
	<b>52,41</b>	
Resultado		Vagarosa

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS04 – 0545473 / 9574370**

- Procedimentos de ensaio. Pannel 1: Preparação do poço com brita. Pannel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

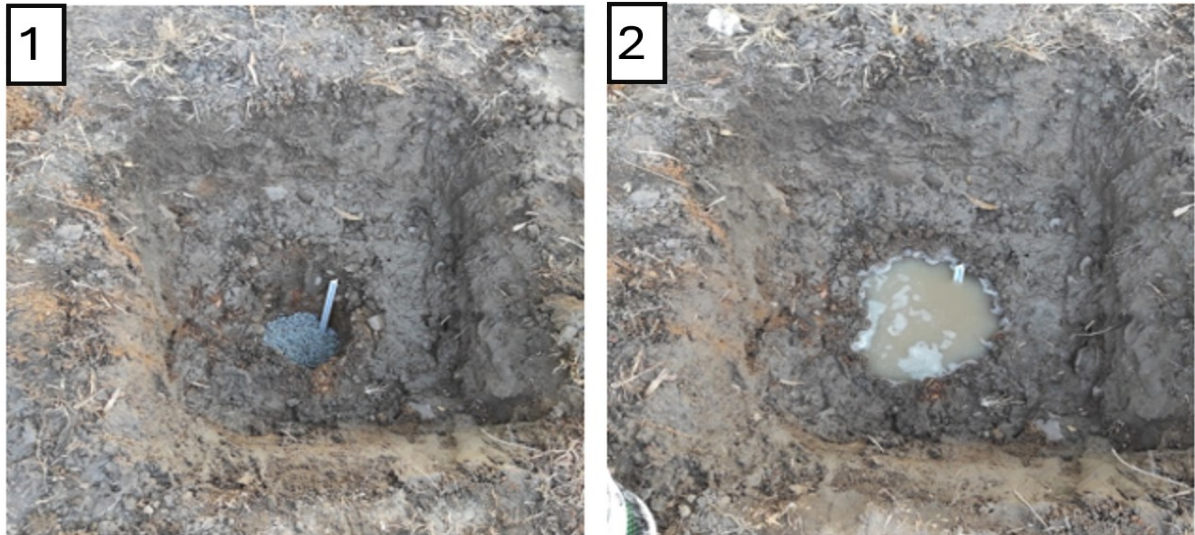
- Valores obtidos nas medições realizadas

Medição	Ci	Minutos (10cm)
1	56,32	6,2
2	56,32	6,2
3	56,52	7,2
4	50,00	7,3
5	46,67	8,0
Ci Médio		
<b>51,97</b>		
Resultado		Vagarosa

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS05 – 0545448 / 9574360**

- Procedimentos de ensaio. Painei 1: Preparação do poço com brita. Painei 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

Medição	Ci	Minutos (10cm)
1	21,27	20,54
2	15,00	30,17
3	10,32	45,00
4	10,21	45,50
5	9,84	47,30
Ci Médio		
<b>13,33</b>		
Resultado		Impermeável

Fonte: Autor (2026)

5.3.2.10.6 Ensaio: EAS06 – 0545440 / 9574388

- Procedimentos de ensaio. Painel 1: Preparação do poço com brita. Painel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

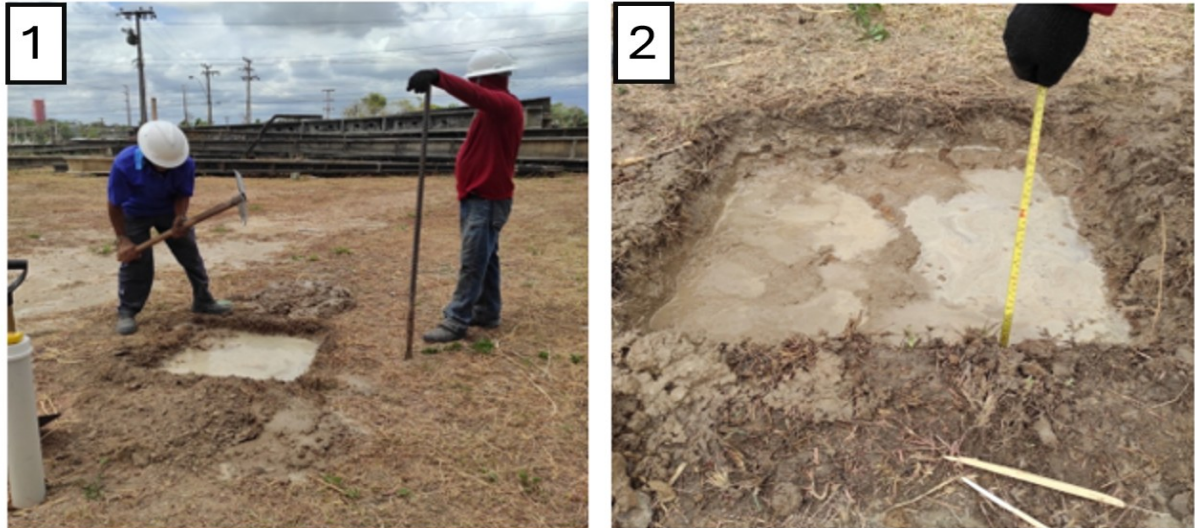
- Valores obtidos nas medições realizadas

Medição	Ci	Minutos (10cm)
1	98,00	2,50
2	84,48	3,30
3	42,61	9,00
4	29,52	14,10
5	21,78	20,00
Ci Médio		
<b>55,28</b>		
Resultado		Vagarosa

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS07 – 0545388 / 9574392**

- Procedimentos de ensaio. Pannel 1: Preparação do poço com brita. Pannel 2: Saturamento do poço. Solo compactado, onde não foi possível atingir as cotas estabelecidas na norma para ensaios de absorção.



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

Medição	Ci	Minutos (10cm)
1	10,32	45,00
2	9,33	50,00
3	7,46	63,20
4	6,76	70,00
5	6,47	73,20
Ci Médio		
<b>8,07</b>		
Resultado		Impermeável

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS08 – 0545387 / 9574443**

- Procedimentos de ensaio. Painel 1: Preparação do poço com brita. Painel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

<b>Medição</b>	<b>Ci</b>	<b>Minutos (10cm)</b>
1	41,18	9,40
2	41,88	9,20
3	33,11	12,30
4	25,93	16,40
5	20,50	21,40
Ci Médio		
<b>32,52</b>		
<b>Resultado</b>	<b>Semi-Impermeável</b>	

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS09 – 0545388 / 9574435**

- Procedimentos de ensaio. Pannel 1: Preparação do poço com brita. Pannel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

<b>Medição</b>	<b>Ci</b>	<b>Minutos (10cm)</b>
1	87,50	3,10
2	84,48	3,30
3	83,05	3,40
4	74,24	4,10
5	65,33	5,00
<b>Ci Médio</b>		
<b>78,92</b>		
<b>Resultado</b>		<b>Média</b>

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS10 – 0545335 / 957444**

- Procedimentos de ensaio. Pannel 1: Preparação do poço com brita. Pannel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

<b>Medição</b>	<b>Ci</b>	<b>Minutos (10cm)</b>
1	17,01	26,30
2	10,96	42,20
3	7,81	60,20
4	7,11	66,40
5	6,64	71,30
Ci Médio		
<b>9,91</b>		
<b>Resultado</b>	<b>Impermeável</b>	

Fonte: Autor (2026)

**Ensaio: EAS11 – 0545261 / 9574459**

- Procedimentos de ensaio. Pannel 1: Preparação do poço com brita. Pannel 2: Saturamento do poço



Fonte: Autor (2026)

- Valores obtidos nas medições realizadas

<b>Medição</b>	<b>Ci</b>	<b>Minutos (10cm)</b>
1	29,70	14,00
2	26,06	16,30
3	17,50	25,50
4	14,45	31,40
5	11,40	40,50
Ci Médio		
<b>19,82</b>		
<b>Resultado</b>		<b>Impermeável</b>

Fonte: Autor (2026)