

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)**

PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICO-AMBIENTAIS APLICADOS AO ORDENAMENTO TERRITORIAL

# **AVALIAÇÃO TÉCNICA DE ÁREA DESTINADA À IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO**

**Cidade de Barcarena, PA**

**REALIZAÇÃO**

**DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL  
DIVISÃO DE GESTÃO TERRITORIAL**

**2023**



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICO-AMBIENTAIS APLICADOS  
AO ORDENAMENTO TERRITORIAL

# **AVALIAÇÃO TÉCNICA DE ÁREA DESTINADA À IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO**

Barcarena, PA

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **Ministro de Estado**

Alexandre Silveira de Oliveira

### **Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Vitor Eduardo de Almeida Saback

## **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)**

### **DIRETORIA EXECUTIVA**

#### **Diretor-Presidente**

Inácio Cavalcante Melo Neto

#### **Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Francisco Valdir Silveira

#### **Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

#### **Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

#### **Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

## **DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL**

### **Chefe do Departamento de Gestão Territorial**

Diogo Rodrigues A. da Silva

### **Chefe da Divisão de Gestão Territorial**

Maria Adelaide Mansini Maia

### **Chefe da Divisão de Geologia Aplicada**

Tiago Antonelli

## **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELÉM**

### **Superintendente**

Jânio Souza Nascimento

### **Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial**

Homero Reis de Melo Junior

### **Supervisor de Hidrologia e Gestão Territorial**

Sheila Gatinho Teixeira

Mauro Sérgio Rodrigues

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)  
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
I PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL I

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICO-AMBIENTAIS APLICADOS  
AO ORDENAMENTO TERRITORIAL

# AVALIAÇÃO TÉCNICA DE ÁREA DESTINADA À IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Barcarena, PA

## AUTORES

Homero Reis de Melo Junior  
Raimundo Almir Costa da Conceição



---

Belém  
2023

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DE ÁREA DESTINADA  
À IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE DE  
BARCARENA, PA**

**EXECUÇÃO TÉCNICA**

**COORDENAÇÃO**

Raimundo Almir Costa da Conceição

**EQUIPE EXECUTORA**

**Levantamento de campo**

Homero Reis de Melo Junior

Raimundo Almir Costa da Conceição

**Sistema de Informação Geográfica  
e Leiaute do Mapa**

Stephanie Rayane Lima Ferreira

**Organizador**

Raimundo Almir Costa da Conceição

**REVISÃO TÉCNICA**

Maria Adelaide Mansini Maia

**APOIO TÉCNICO**

**Revisão do texto**

**Departamento de Relações Institucionais – DERID**

Irinéia Barbosa da Silva

**Normalização Bibliográfica**

**Divisão de Documentação Técnica – DIDOTE**

Nelma Fabrícia da P. Ribeiro Botelho

**Projeto Gráfico / Editoração**

**Divisão de Editoração Geral – DIEDIG**

Andréia Continentino

Agmar Alves Lopes

**Diagramação (SUREG-SP)**

José da Costa Pinto

**AGRADECIMENTO**

Prefeitura de Barcarena - PA

**Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)**

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

[seus@sgb.gov.br](mailto:seus@sgb.gov.br)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M352a Melo Júnior, Homero Reis de.  
Avaliação técnica de área destinada à implantação do aterro  
sanitário: Barcarena, PA / Homero Reis de Melo Júnior, Raimundo Almir  
Costa da Conceição. – Belém : Serviço Geológico do Brasil - CPRM,  
2023.

1 recurso eletrônico : PDF

Levantamentos Geológico-Ambientais Aplicados ao Ordenamento  
Territorial  
ISBN 978-65-5664-390-8

1. Aterro sanitário. 2. Solo – Uso. I. Conceição, Raimundo Almir  
Costa. II. Título.

CDD 628.44564

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Nelma Botelho – CRB-4 2341

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

# APRESENTAÇÃO

---

**E**m 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei nº 12.305, atualizada pela Lei nº 14.026, de 15 de julho 2020, para decidir sobre o correto gerenciamento dos resíduos, sendo uma obrigação dos municípios destinarem corretamente esse material. Essa política previa acabar com os locais de descarte irregular em quatro anos, o que não aconteceu.

Atualmente, atualmente, há cerca de 3 mil unidades de lixão no país, concentradas principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, onde apenas 11% dos municípios possuem aterros sanitários, valor bem abaixo da Região Sudeste, com cerca de 50%, e da Região Sul, onde 90% dos municípios são beneficiados.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em apoio ao PNRS, vem atuando ao longo das duas últimas décadas em atendimento às demandas das prefeituras municipais para a seleção de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários municipais, em consonância com a Norma NBR 13896, estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O presente relatório faz parte de uma série de estudos que visam a seleção apropriada de áreas para a instalação de aterros sanitários em atendimento às demandas municipais em todo território nacional.

**Inácio Cavalcante Melo Neto**

Diretor-Presidente

**Alice Silva de Castilho**

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial





# RESUMO

---

O presente estudo identificou áreas para instalação do aterro sanitário municipal de Barcarena, que apresentava população estimada de 130.000 habitantes no ano de 2021 (IBGE, 2022), onde foram aplicadas diversas metodologias para atender à Norma 13896 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997). Por meio de modelagem matemática, com aplicação de *Model Builder* associado à Análise Hierárquica do Processo (AHP), foram selecionadas seis áreas para avaliação *in situ* das propriedades fisiográficas, como profundidade do lençol freático, condutividade hidráulica da zona não saturada, distância para drenagens e declividade do relevo. Os sedimentos predominantes nas áreas avaliadas são constituídos por areia muito fina a muito grossa, correspondendo a 58,36% das amostras analisadas. Corroborando tal fato, as análises de difração por raios X identificaram o quartzo como mineral predominante, acompanhado de moderadas frações de hematita e pequenas frações de caulinita e goethita. A condutividade hidráulica identificada variou na ordem de  $10^{-3}$  cm/s a  $10^{-4}$  cm/s, por esse motivo, as bases das celas deverão ser impermeabilizadas com mantas constituídas por polietileno de alta densidade (PEAD), a fim de evitar percolação de chorume ao lençol freático.

Dentre as seis áreas avaliadas, a Área 5, localizada a 21,28km do Centro Produtor de Lixo (CPL) de Barcarena, com cerca de 58 hectares de dimensão, obteve a maior pontuação dentre as demais avaliadas, atingindo 83,5 pontos. O modelo de aterro em Barcarena deve considerar o sistema de celas e empilhamento, atendendo o volume final produzido ao longo de 20 anos de vida útil do aterro, na ordem de 1.046.231,25 m<sup>3</sup> de resíduos e material de cobertura, para tanto, será necessária uma área de aproximadamente 6,0 hectares, de acordo com o modelo proposto no Apêndice B.

Palavra chave: Barcarena; aterro sanitário; resíduos sólidos domiciliares.



# SUMÁRIO

---

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	10
2. ESTUDOS REALIZADOS .....	11
3. RESULTADOS OBTIDOS.....	12
3.1. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO.....	12
3.2. DEFINIÇÃO DO CENTRO PRODUTOR DE LIXO .....	13
3.3. ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO MUNICIPAL EM 20 ANOS.....	13
3.4. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES (RDO) EM 20 ANOS ....	13
3.5. CÁLCULO DA ÁREA MÍNIMA NECESSÁRIA DO ATERRO .....	14
3.6. AVALIAÇÃO PRÉVIA DO NÍVEL ESTÁTICO DOS POÇOS CADASTRADOS NO SIAGAS	16
3.7. INDICAÇÃO DE ÁREAS ELEGÍVEIS POR MODELAGEM MATEMÁTICA .....	16
4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ELEGÍVEIS .....	18
4.1. ANÁLISE COMPARATIVA E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS FRENTE AOS CRITÉRIOS ESTABELECIDOS .....	27
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	30
REFERÊNCIAS.....	31
APÊNDICES.....	33

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Barcarena é um município localizado no estado do Pará, na Região Norte do Brasil. Fica situado na margem direita do rio Rio Pará, aproximadamente a 114 km da cidade de Belém, a capital do estado. De acordo com os dados do IBGE, a população estimada de Barcarena é de aproximadamente 130.000 habitantes.

A coleta de lixo é feita de forma regular e, geralmente, ocorre por meio de um sistema de coleta porta a porta. Os resíduos sólidos são recolhidos diretamente nas residências, estabelecimentos comerciais e industriais, de acordo com um cronograma estabelecido pelo município.

Os resíduos, atualmente, são depositados em lixão a céu aberto (Figura 1), que existe desde a instalação do projeto Albras/Alunorte, por volta do ano de 1985, e está assentado na Comunidade do Bom Futuro no Distrito de Vila do Conde (Nunes *et al.*, 2018).



**Figura 1** - Imagem de satélite (janeiro 2022) mostrando o “lixão do Bom Futuro”, na Vila do Conde, em Barcarena. Destaque para a área urbana ao lado do lixão.

O principal objetivo do estudo realizado no município de Barcarena, PA (Figura 2), que possui aproximadamente 1.316,2 km<sup>2</sup> de superfície (Prefeitura Municipal de Barcarena, 2013), foi a seleção de área adequada para a implantação do aterro sanitário municipal, de acordo com a Norma NBR 13896 (ABNT, 1997) e as legislações federal e estadual vigentes.



**Figura 2** - Mapa de localização do município de Barcarena - PA, localização do Centro Produtor de Lixo (CPL) e raio de 20 km de abrangência para a coleta de resíduos domiciliares (RDO). Fonte: elaborado pelos autores.

## 2. ESTUDOS REALIZADOS

Os procedimentos metodológicos utilizados têm por base a Norma NBR 13896 (ABNT, 1997), a qual institui critérios técnicos, ambientais, econômico-financeiros e político-sociais, para implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos.

As atividades compreendem trabalhos em escritório, campo e laboratório, cujo fluxo de desenvolvimento está resumido na Tabela 1. A descrição detalhada dos materiais e métodos adotados para este tipo de estudo encontra-se disponível no “Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial”, que aborda o tema: “Seleção Adequada de Áreas para Instalação de Aterros Sanitários Municipais”, do SGB - CPRM (Melo Junior *et al.*, 2022).

Tabela 1 - Fluxo de trabalho adotado pelo SGB-CPRM para a seleção adequada de áreas para aterros sanitários municipais baseada na Norma NBR 13896 (ABNT, 1997). Fonte: elaborada pelos autores.

<b>Etapa 1</b>	
<b>ESTUDOS INDIRETOS (ESCRITÓRIO - PRÉ-CAMPO)</b>	Definição dos critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário.
	Definição do centro produtor de lixo.
	Estimativa da população municipal em 20 anos.
	Estimativa da produção de resíduos domiciliares (RDO) em 20 anos.
	Cálculo da área mínima necessária do aterro.
	Indicação de áreas por modelagem matemática.
	Avaliação prévia da profundidade do nível estático dos poços cadastrados no SIAGAS.
<b>Etapa 2</b>	
<b>ESTUDOS DIRETOS (COLETA DE PARÂMETROS EM CAMPO)</b>	Avaliação <i>in loco</i> da profundidade do nível estático (poços do tipo cacimba e tubulares).
	Execução de furos de trado para coleta de amostras de solo e testes de infiltração.
	Teste de infiltração pelo método “ <i>open end hole</i> ”.
<b>Etapa 3</b>	
<b>ANÁLISES LABORATORIAIS</b>	Análise granulométrica de solo/sedimentos.
	Análise mineralógica – DRX.
<b>Etapa 4</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS (ESCRITÓRIO – PÓS-CAMPO)</b>	Análise comparativa e classificação das áreas ante os critérios estabelecidos.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

#### 3.1. Definição dos critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário.

Os critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário são muito severos, sendo necessário estabelecer uma cuidadosa priorização dos mesmos. O local selecionado para a implantação deve ser aquele que atenda ao maior número de parâmetros estabelecidos pela Norma NBR 13896 (ABNT, 1997), a qual institui critérios técnicos, ambientais, econômico-financeiros e político-sociais, enfatizando os de maior prioridade. A seleção deve ser precedida de uma análise individual da área selecionada com relação a cada um dos diversos elementos apresentados, fornecendo a justificativa que permita considerar cada critério como “totalmente atendido”, “parcialmente atendido” ou “não atendido”.

O conjunto de critérios adotados para a seleção de áreas adequadas para instalação de aterros sanitários e as prioridades para o seu atendimento encontram-se apresentados no Apêndice A. Quando os atributos naturais do terreno selecionado não forem suficientes para atender integralmente a determinado critério, tais deficiências deverão ser sanadas com a implantação de soluções de engenharia.

### 3.2. Definição do centro produtor de lixo

O centro produtor de lixo do município de Barcarena compreende, principalmente, a zona urbana, se considerando, sobretudo, que essa região do município concentra cerca de 42% da população, além de que, nesta zona da cidade, ocorre coleta regular de resíduos domiciliares (RDO) (Dias, 2020).

Para efeitos deste estudo considera-se que a produção de lixo ocorre de forma homogênea na zona urbana de Barcarena, que se divide em três núcleos populacionais, Murucupi, Vila do Conde e sede municipal, interligados pelas rodovias PA-481 e PA-483, conforme a Figura 2.

De acordo com as características fisiográficas e sociais de cada município, como a disponibilidade de áreas livres no entorno da zona urbana e a falta de infraestrutura a distâncias maiores dos centros urbanos, o raio de 20km, geralmente, é definido como a distância máxima viável economicamente do centro produtor para a área do aterro sanitário; sendo esta a distância máxima no presente estudo.

### 3.3. Estimativa da população municipal em 20 anos

Entre os anos de 2021 até 2041 o coeficiente de crescimento populacional calculado para população urbana de Barcarena foi de 3,15%/ano, considerando os dados do IBGE (2022) apresentados na Tabela 2. Para determinar a área necessária para o aterro sanitário municipal de Barcarena, foi estimado o crescimento demográfico exponencial de sua população durante um período de 20 anos, assim como foi determinada a produção de resíduos ao longo de sua vida útil, cujos dados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 - Populações recenseadas e estimadas para a sede do município de Barcarena nos anos de 1991, 2000, 2010 e 2021. Fonte: IBGE (2022).

Censo/Estimativa (Ano)	População Urbana Estimada/Verificada (Nº de Habitantes)
1991	21629
2000	27767
2010	36297
2021	54885

### 3.4. Estimativa da produção de resíduos domiciliares (RDO) em 20 Anos

O volume de resíduos sólidos domiciliares produzido e aterrado deve atingir, ao final de 20 anos, a quantidade de 653.894,53 toneladas, de acordo com a Tabela 3. Considerando-se que a densidade do lixo compactado e armazenado varia em torno de 0,75 ton/m<sup>3</sup> (IPT; CEMPRE, 2018), ao se aplicar essa relação à massa de resíduos produzida, o volume final deve atingir a grandeza de 871.859,38 m<sup>3</sup>.

Tabela 3 - População urbana estimada e produção de resíduos sólidos domiciliares (RDO) estimada para os anos de 2021 a 2041 na zona urbana do município de Barcarena. Fonte: elaborada pelos autores, baseado nos dados do Sistema de Informação sobre Resíduos Sólidos (SNIS) do ano de 2021, com dados disponíveis em 17 de maio de 2023.

<b>(Ano)</b>	<b>População Urbana Estimada</b>	<b>Produção per capita/dia</b>	<b>Produção de lixo (kg/dia)</b>	<b>Produção de lixo (ton/dia)</b>	<b>Produção de lixo (kg/ano)</b>	<b>Produção de lixo (ton/ano)</b>
2021	54.885	1,12	61.471,2	61,47	22.436.988	22.436,99
2022	56.614	1,12	63.407,5	63,41	23.143.753	23.143,75
2023	58.397	1,12	65.404,9	65,40	23.872.781	23.872,78
2024	60.237	1,12	67.465,1	67,47	24.624.774	24.624,77
2025	62.134	1,12	69.590,3	69,59	25.400.454	25.400,45
2026	64.091	1,12	71.782,4	71,78	26.200.569	26.200,57
2027	66.110	1,12	74.043,5	74,04	27.025.887	27.025,89
2028	68.193	1,12	76.375,9	76,38	27.877.202	27.877,20
2029	70.341	1,12	78.781,7	78,78	28.755.334	28.755,33
2030	72.557	1,12	81.263,4	81,26	29.661.127	29.661,13
2031	74.842	1,12	83.823,2	83,82	30.595.452	30.595,45
2032	77.200	1,12	86.463,6	86,46	31.559.209	31.559,21
2033	79.631	1,12	89.187,2	89,19	32.553.324	32.553,32
2034	82.140	1,12	91.996,6	92,00	33.578.754	33.578,75
2035	84.727	1,12	94.894,5	94,89	34.636.485	34.636,48
2036	87.396	1,12	97.883,7	97,88	35.727.534	35.727,53
2037	90.149	1,12	100.967,0	100,97	36.852.951	36.852,95
2038	92.989	1,12	104.147,4	104,15	38.013.819	38.013,82
2039	95.918	1,12	107.428,1	107,43	39.211.255	39.211,25
2040	98.939	1,12	110.812,1	110,81	40.446.409	40.446,41
2041	102.056	1,12	114.302,7	114,30	41.720.471	41.720,47
		<b>SOMA</b>	<b>1.791.492</b>	<b>1.791,49</b>	<b>653.894.532</b>	<b>653.894,53</b>

### 3.5. Cálculo da área mínima necessária do aterro

Para se determinar a área necessária do aterro sanitário, há que se considerar também o volume do material de cobertura (argila) sobre as camadas de resíduos, ponderando-se uma relação de 1:0,2 entre resíduos e cobertura (IPT; CEMPRE, 2018). Assim, o volume acumulado do material de cobertura, ao final de 20 anos, no município de Barcarena, deverá atingir 174.371,88m<sup>3</sup> (correspondente



a  $0,2 \times 871.859,38\text{m}^3$ ). Logo, o volume total de material aterrado, ao longo desse período, deve ser da ordem de  $1.046.231,25\text{m}^3$ .

Atualmente, são utilizadas duas formas principais para desenvolver e gerenciar aterros sanitários. A primeira, mais aplicada para grandes volumes de material, corresponde ao empilhamento dos resíduos com projeção de taludes com altura máxima de 20 metros e relação 1:3; a segunda se constitui simplesmente na construção de trincheiras ou valas para deposição dos resíduos. Em ambos os casos, é indispensável a instalação da manta sintética impermeabilizante na base das camadas de resíduos.

Considerando-se o primeiro caso, para determinar a área necessária para a construção do aterro municipal de Barcarena, de acordo com Monteiro *et al.* (2001), em metros quadrados, basta multiplicar a quantidade de lixo produzida e coletada diariamente, em toneladas/dia, pelo fator 560. Esse fator está baseado nos seguintes parâmetros, usualmente utilizados em projetos de aterros:

**Vida útil = 20 anos;**

**Altura do aterro = 20 m;**

**Taludes = 1:3;**

**Ocupação = 80% do terreno com a área operacional.**

Dessa forma, estima-se que, no período de 20 anos, com crescimento médio de 3,15% ao ano, a população urbana de Barcarena atinja a marca de 102.056 habitantes, e que, cada morador produza uma quantidade de lixo, de acordo com a estimativa regional, de 1,12 kg/dia, conforme apresentado na Tabela 3.2. Para se calcular a área necessária para o referido aterro, ao longo de 20 anos de vida útil, se considerou, no fator produção diária de lixo (ton/dia), a mediana desse valor, que é 83,82 ton/dia. A mediana foi considerada em função da produção inicial de resíduos, na ordem de 64,47 ton/dia, ser rapidamente ultrapassada, entretanto, a produção final de resíduos, em torno de 132,67 ton/dia, será o limite produzido no município e deverá levar 20 anos para ser atingido. Assim, para fins de cálculo da área total do aterro se considera a mediana para o referido parâmetro.

Dessa forma, a área necessária para o aterro é de  $46.940,97\text{m}^2$  ou 4,70 hectares, conforme apresentado na Equação 1.

Área do Aterro = Mediana da produção diária de lixo (ton/dia) x Fator de construção dos taludes (560) (Equação 1)

Área =  $83,82 \times 560 = 46.939,20\text{m}^2 = 4,70$  hectares.

Entretanto, como a área das celas de disposição deve corresponder a 80% da área total do aterro, em caso da disposição por projeção de taludes, a superfície total necessária para a instalação do aterro sanitário municipal de Barcarena corresponde a 5,63 hectares.

Caso o processo de disposição dos resíduos seja executado pelo método de trincheiras ou valas, os quais consistem na escavação de pequenos canais, com posterior preenchimento dos mesmos com resíduos e material de cobertura até a superfície do terreno, se deve considerar que os resíduos sejam enterrados em uma espécie de paralelepípedo, cujas valas sejam preenchidas por etapas e possuam dimensões de  $25\text{m}^2$  de área, por até 5m de profundidade. O Guia de Procedimentos Técnicos para Seleção e Caracterização de Áreas Adequadas para Instalação de Aterros Sanitários (Melo Junior *et al.*, 2022) detalha as formas e dimensões das trincheiras. Para se determinar a área total necessária para o acondicionamento de resíduos adicionado o material de cobertura, é necessário dividir o volume total produzido pela altura das trincheiras ou valas.

Nesse caso, o cálculo da área das trincheiras obedece a Equação 2.

$$A = \frac{VRDO}{H_t} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde são considerados os seguintes parâmetros:

$V_{RDO}$  = Volume de resíduos gerados ao final da vida útil do aterro;

$H_t$  = Altura das trincheiras.

Considerando que a área de disposição dos RDOs deve corresponder no máximo a 80% da área do aterro e as demais áreas de servidão, a exemplo do cinturão de vegetação, estradas internas, galpões, instalações de escritório e balança dentre outros, correspondam aos 20% restantes das instalações, a Tabela 4 apresenta as dimensões necessárias para o aterro sanitário municipal de Barcarena, caso a disposição do RDO seja realizada dessa forma.

Tabela 4 - Área total das trincheiras e área total do aterro estimado de acordo com as profundidades e volumes das trincheiras. Fonte: elaborada pelos autores.

Profundidade das trincheiras (m)	Volume das trincheiras (m <sup>3</sup> )	Área das Trincheiras (m <sup>2</sup> )	Área das Trincheiras (ha)	Área Total do Aterro (m <sup>2</sup> )	Área Total do Aterro (ha)
2	50	523115,63	52,31	627738,75	62,77
3	75	348743,75	34,87	418492,50	41,85
4	100	261557,81	26,16	313869,38	31,39
5	125	209246,25	20,92	251095,50	25,11

Dessa forma, a área total necessária para a instalação do aterro sanitário municipal de Barcarena corresponde a 31,39 hectares, considerando que a área de cada trincheira seja de 25m<sup>2</sup> e a profundidade final atinja apenas 4 metros.

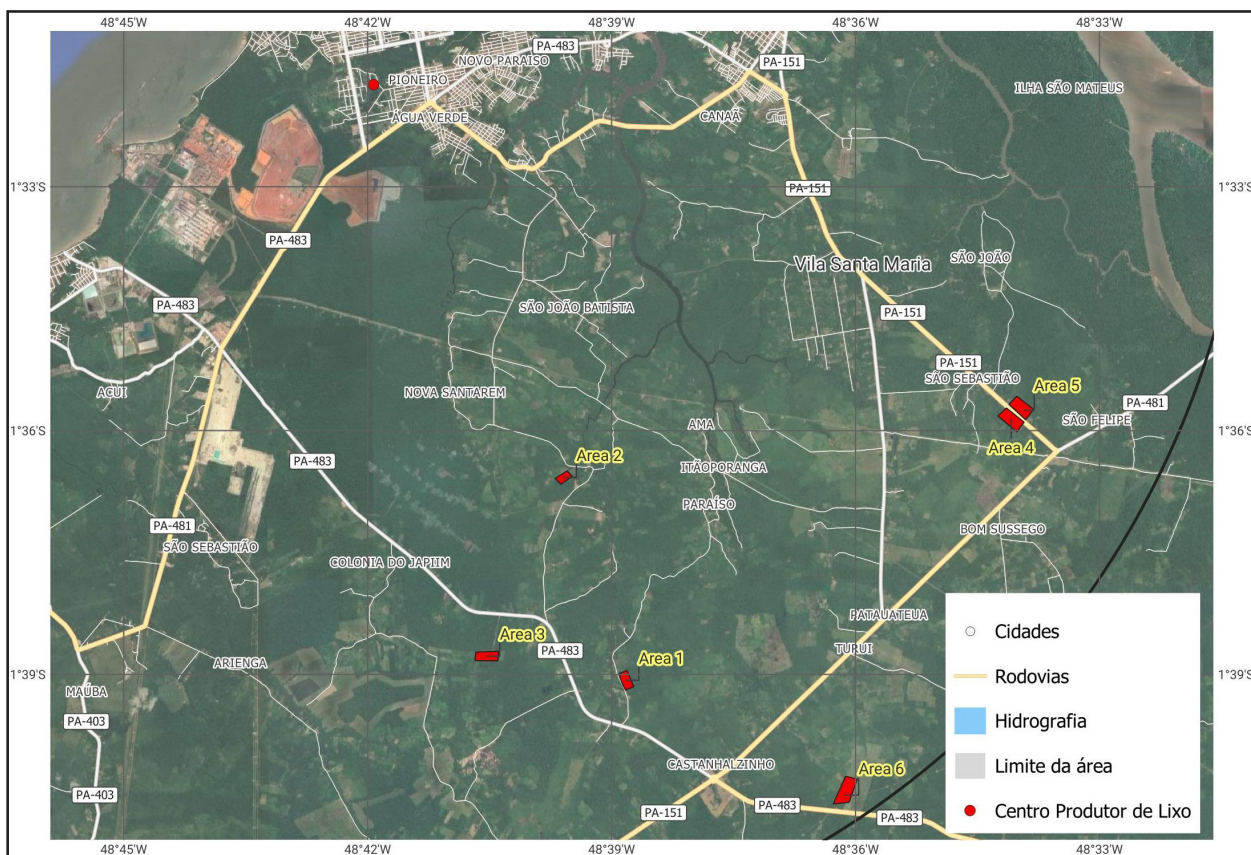
### 3.6. Avaliação prévia do nível estático dos poços cadastrados no Siagas

Para verificar a profundidade do lençol freático, que corresponde ao nível estático (NE) nas cinco áreas investigadas, de maneira indireta, foi consultado o banco de dados do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (Siagas), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), onde foi verificada a existência de 139 poços cadastrados nos limites de Barcarena, com dados de nível estático disponíveis entre as profundidades de 1m a 20m. A profundidade do nível estático verificada varia de 1,78m a 19,32m, com valores médios de 11,22m e mediana de 11,39m.

### 3.7. Indicação de áreas elegíveis por modelagem matemática

A partir da aplicação dos critérios de seleção (Apêndice A), baseados na análise espacial (*Model Builder* + Análise Hierárquica do Processo - AHP) das áreas favoráveis à implantação de aterros sanitários, foram selecionadas seis áreas em um raio aproximado de 20km de distância, a partir do centro produtor de lixo (CPL), no centro urbano de Barcarena, cuja localização e dimensões das áreas são apresentadas na Figura 3 e na Tabela 5.

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DE ÁREA DESTINADA À IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO  
BARCARENA, PA**



**Figura 3** - Localização das áreas avaliadas para implantação de aterro sanitário de Barcarena - PA. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 5 - Dimensões das áreas investigadas nos levantamentos de campo realizados no raio aproximado de 15 km do CPL da cidade de Barcarena. Fonte: elaborada pelos autores.

Áreas Investigadas	Dimensões (m <sup>2</sup> )	Dimensões (Ha)	Distância Aproximada do CPL (km)	Localização
Área 1	333.120	33,31	20,57	Estrada entre Guajará da Serra e Santa Lúcia, próximo a PA-483 (Castanhalzinho).
Área 2	372.662	37,27	16,44	Ramal do Sítio da Allana, a 4,5km da PA-483 (entre Paraíso e Nova Santarém).
Área 3	309.141	30,91	21,08	Sítio Novo, na PA-483 (entre Castanhalzinho e Colônia do Japiim)
Área 4	335.825	33,58	21,30	PA-151, São Sebastião
Área 5	580.707	58,07	21,28	PA-151, São Sebastião
Área 6	382.395	38,24	26,02	PA-483 (entre Castanhalzinho e Guajarúna).

Os dados utilizados, obtidos e gerados para a execução deste estudo encontram-se apresentados no Apêndice B.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ELEGÍVEIS

Na avaliação *in situ* das áreas elegíveis foram executados furos de trado para coleta de amostras de sedimentos e posterior análise em laboratório para determinação dos limites de granulometria por intermédio de peneiramento, de acordo com a classificação proposta por Wentworth (1922) adotando a Norma NBR 7181 (ABNT, 2016); enquanto que, os intervalos de granulometria utilizados para classificar os sedimentos seguem a metodologia estabelecida pela Norma NBR 6502 (ABNT, 1995). Em campo foram realizados, ainda, testes de infiltração, para determinar a condutividade hidráulica dos sedimentos da zona não saturada pelo método *open end hole* (Fiori, 2010) e comparação com os valores propostos por Fetter (1988).

### Área 1

Está localizada a sudeste da zona urbana de Barcarena, a cerca de 20,57km do centro produtor de lixo, com acesso pela Rodovia PA-483, localizada em ramal à esquerda (Estrada entre Guajará da Serra e Santa Lúcia). Na área foi realizado o furo de trado FT-01 para executar testes de infiltração pelo método *open end hole* (Fiori, 2010), conforme pode ser observado na Figura 4.



Figura 4 - Execução do FT-01. Foto: acervo dos autores.

Os dados de rebaixamento do nível da água nas sondagens realizadas são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 01. Fonte: elaborada pelos autores.

FT – 01 - Data de Execução: 27/03/2023					
Tempo (min.)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (min.)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (min.)	Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)
1	3,5	1	0,5	1	1,5
2	7,0	2	1,0	2	2,5
3	11,5	3	1,5	3	3,0
4	13,0	4	2,0	4	4,0
5	15,0	5	2,5	5	4,5
6	17,0	6	3,5	6	5,0
7	19,5	7	4,0	7	6,0
8	22,0	8	4,5	8	6,5
9	25,0	9	5,0	9	7,5
10	26,5	10	6,0	10	8,0
15	38,0	15	8,5	15	11,5
20	43,0	20	11,5	20	14,3

Tabela 7 apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e medianas agrupadas.

Tabela 7 - Valores da condutividade hidráulica vertical  $K_v$  obtidas nas três profundidades investigadas no FT - 01. Fonte: elaborada pelos autores.

	FT-01				
	Sondagem 0,5m	Sondagem 1,0m	Sondagem 1,5m	Mediana	Média
<b>Kv (cm/seg)</b>	0,00117604	0,00147003	0,001057125	<b>0,00117604</b>	<b>0,00123440</b>
<b>Kv (m/seg)</b>	0,00001176	0,00001470	1,05713E-05	<b>0,00001176</b>	<b>0,00001234</b>
<b>Kv (m/dia)</b>	1,016100105	1,270103979	0,913356293	<b>1,01610010</b>	<b>1,06652013</b>

Os valores de  $K_v$  medianos ( $1,18 \times 10^{-3}$  cm/seg ou 1,02 m/dia) identificados para os testes da área 1 caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de  $1,23 \times 10^{-5}$  m/seg, enquadrando-se como silte arenoso, areia fina siltosa. Nas análises granulométricas realizadas foram identificadas granulometrias correspondentes à areia, com predominância das frações fina e muito fina, com argila e silte, conforme pode ser verificada no Apêndice B. Nas proximidades da área, foi identificado um poço amazonas, cuja profundidade do nível estático verificada foi de 5,31m.

A forte presença de material arenoso (47,42%) nos furos FT-01A, FT-01B e FT-01C foi corroborada pelas análises de difração de raios X, onde o principal mineral identificado foi o quartzo, com pequenas frações de caulinita (argilomineral) e hematita, conforme apresentado no difratograma do Apêndice C (Quadro C2).

## Área 2

A segunda área avaliada também está localizada a sudeste da zona urbana do município, a aproximadamente 16,4km do centro produtor de lixo, com acesso a partir da PA-481, e pelo primeiro ramal à esquerda, no sentido do Trevo do Peteca (entre Paraíso e Nova Santarém). A área apresenta cerca de 37 hectares de dimensão, e não há poço tubular ou amazonas em suas imediações, por esse motivo, o furo de trado prosseguiu, até 5,5m, a partir de onde as amostras de sedimentos se encontravam saturadas de água.

Na área foi realizado o furo de trado FT-02 (Figura 5) para executar o teste de infiltração, cujos dados de rebaixamento do nível da água são apresentados na Tabela 8.



**Figura 5** - Execução do FT-02, na área 2. Foto: acervo dos autores.

Tabela 8 - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 02. Fonte: elaborada pelos autores.

FT – 02 - Data de Execução: 27/03/2023					
Tempo (min.)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (min.)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (min.)	Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)
1	1,80	1	2,00	1	1,50
2	2,70	2	3,40	2	3,20
3	3,40	3	4,50	3	4,00
4	4,20	4	6,00	4	6,40
5	5,20	5	7,50	5	8,00
6	6,00	6	8,50	6	9,30
7	6,90	7	9,80	7	11,00
8	7,80	8	10,70	8	11,70
9	8,40	9	12,20	9	12,80
10	9,50	10	13,30	10	14,00
15	12,80	15	16,90	15	19,10
20	15,30	20	21,00	20	24,20

A Tabela 9, por sua vez, apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e medianas agrupadas.

Tabela 9 - Valores da condutividade hidráulica vertical  $K_v$  obtidas nas três profundidades investigadas no FT - 02  
Fonte: elaborada pelos autores.

	Sondagem 0,5m	Sondagem 1,0m	Sondagem 1,5m	FT-02	
				Mediana	Média
<b>Kv (cm/seg)</b>	0,00100334	0,00110241	0,00119282	<b>0,00110241</b>	<b>0,00109952</b>
<b>Kv (m/seg)</b>	0,00001003	0,00001102	1,1928E-05	<b>0,00001102</b>	<b>0,00001100</b>
<b>Kv (m/dia)</b>	0,86688297	0,95247858	1,03059608	<b>0,95247858</b>	<b>0,94998588</b>

Os valores de  $K_v$  medianos ( $1,10 \times 10^{-3}$  cm/s ou 0,95 m/dia) identificados para os testes do FT- 02 caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de  $1,10 \times 10^{-5}$  m/seg enquadrando-se como silte arenoso, areia fina e areia siltica.

Nas análises granulométricas foram identificados sedimentos correspondentes à areia, perfazendo 66% do total analisado, com predominância das frações fina e muito fina, porém com elevado conteúdo de argila e silte, em torno de 33% (Apêndice B – Quadro 1).

A análise mineralógica por difração de raios X confirmou a predominância de sedimentos arenosos no FT-02, pois há predominância de quartzo com pequenas frações de caulinita (Apêndice C - Quadro C2).

### Área 3

Está localizada a sudeste da zona urbana de Barcarena, com acesso principal pela Rodovia PA-483 (entre Castanzinho e Colônia do Japiim), apresentando dimensões aproximadas de 31 hectares, a cerca de 21km do centro produtor de lixo.

Próximo aos limites da área, foi identificado um poço tubular, em propriedade particular, cuja profundidade do nível estático identificada foi de apenas 2,10m. Foi executada na área 3 a sondagem FT-03 para coleta de sedimentos e realização dos testes de infiltração.

A Tabela 10 apresenta os dados de rebaixamento do nível da água durante a execução dos testes de infiltração, nas sondagens realizadas no FT-03, enquanto a Tabela 11 ilustra os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidos nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e medianas agrupadas.

Tabela 10 - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 03. Fonte: elaborada pelos autores.

<b>FT - 03 (Área 3) – Data: 29/03/2023</b>					
<b>Tempo (min.)</b>	<b>Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)</b>
<b>1</b>	1,20	<b>1</b>	0,20	<b>1</b>	8,30
<b>2</b>	1,40	<b>2</b>	0,90	<b>2</b>	16,00
<b>3</b>	1,60	<b>3</b>	1,50	<b>3</b>	22,00
<b>4</b>	2,00	<b>4</b>	1,90	<b>4</b>	25,00
<b>5</b>	2,20	<b>5</b>	2,00	<b>5</b>	28,70
<b>6</b>	2,40	<b>6</b>	2,20	<b>6</b>	32,40
<b>7</b>	2,50	<b>7</b>	2,60	<b>7</b>	35,60
<b>8</b>	3,00	<b>8</b>	3,10	<b>8</b>	38,70
<b>9</b>	3,20	<b>9</b>	3,50	<b>9</b>	41,90
<b>10</b>	3,60	<b>10</b>	3,50	<b>10</b>	43,00
<b>15</b>	5,20	<b>15</b>	5,40	<b>15</b>	52,00
<b>20</b>	6,40	<b>20</b>	7,00	<b>20</b>	58,40

Tabela 11 - Valores da condutividade hidráulica vertical  $K_v$  obtidas nas três profundidades investigadas no FT - 03. Fonte: elaborada pelos autores.

	<b>Sondagem 0,5m</b>	<b>Sondagem 1,0m</b>	<b>Sondagem 1,5m</b>	<b>FT-03</b>	
				<b>Mediana</b>	<b>Média</b>
<b>Kv (cm/seg)</b>	0,00078482	0,00166687	0,00091472	<b>0,00091472</b>	<b>0,00112214</b>
<b>Kv (m/seg)</b>	0,00000785	0,00001667	9,1472E-06	<b>0,00000915</b>	<b>0,00001122</b>
<b>Kv (m/dia)</b>	0,67808262	1,44017543	0,79032184	<b>0,79032184</b>	<b>0,96952663</b>



Os valores de  $K_v$  medianos ( $9,14 \times 10^{-4}$  cm/seg ou 0,79 m/dia) identificados para os testes do FT- 03 da área 3 caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de  $1,12 \times 10^{-5}$  m/seg, enquadrando-se como silte arenoso, areia fina e areia siltica.

Nas análises granulométricas foram identificados sedimentos constituídos por areia, correspondendo a 60 % do total analisado, com predominância das frações fina a muito fina, com 39% de teor de silte e argila (Apêndice B - Quadro 1).

O difratograma ilustra o quartzo como mineral predominante nas amostras coletadas no FT-03, ocorrendo ainda pequenas frações de caulinita, corroborando os resultados identificados nas análises granulométricas (Apêndice C - Quadro C2).

#### Área 4

A área 4 está localizada a sudeste de Barcarena, às margens da Rodovia PA-151, distante 21,3km do CPL. Possui cerca de 33,58 hectares de dimensão, onde foi executado o FT-04 para coleta de amostras de sedimentos e execução do teste de infiltração. No interior da área 4, foi identificado um poço tubular com 25 m de profundidade, de acordo com informações do proprietário (Figura 6), cuja profundidade do nível estático verificada foi de 13,37m.



**Figura 6** - Poço tubular identificado no interior da área 4. Foto: acervo dos autores.

A Tabela 12 apresenta os dados de rebaixamento do nível da água durante a execução dos testes de infiltração, nas sondagens de 0,5m, 1,0m e 1,5m de profundidade, realizados no FT-04.

Tabela 12 - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 04. Fonte: elaborada pelos autores.

<b>FT - 04 (Área 4) - Data de Execução: 30/03/2023</b>					
<b>Tempo (min.)</b>	<b>Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)</b>
<b>1</b>	3,30	<b>1</b>	14,00	<b>1</b>	5,50
<b>2</b>	5,20	<b>2</b>	19,00	<b>2</b>	5,90
<b>3</b>	6,40	<b>3</b>	22,10	<b>3</b>	6,10
<b>4</b>	7,20	<b>4</b>	23,70	<b>4</b>	6,30
<b>5</b>	8,00	<b>5</b>	27,20	<b>5</b>	6,80
<b>6</b>	8,90	<b>6</b>	30,00	<b>6</b>	7,20
<b>7</b>	9,30	<b>7</b>	32,50	<b>7</b>	7,80
<b>8</b>	9,50	<b>8</b>	32,90	<b>8</b>	8,50
<b>9</b>	10,00	<b>9</b>	34,00	<b>9</b>	9,40
<b>10</b>	10,10	<b>10</b>	34,60	<b>10</b>	10,50
<b>15</b>	11,30	<b>15</b>	39,10	<b>15</b>	16,00
<b>20</b>	14,80	<b>20</b>	44,80	<b>20</b>	20,10

Na Tabela 13 são apresentados os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidos nas três profundidades avaliadas, assim como os valores médios e medianos identificados para esse parâmetro.

Tabela 13 - Valores da condutividade hidráulica vertical  $K_v$  obtidas nas três profundidades investigadas no FT - 04. Fonte: elaborada pelos autores.

	<b>Sondagem 0,5m</b>	<b>Sondagem 1,0m</b>	<b>Sondagem 1,5m</b>	<b>FT-04</b>	
				<b>Mediana</b>	<b>Média</b>
<b>Kv (cm/seg)</b>	0,00070358	0,00054533	0,000607596	<b>0,00060760</b>	<b>0,00061883</b>
<b>Kv (m/seg)</b>	0,00000704	0,00000545	6,07596E06	<b>0,00000608</b>	<b>0,00000619</b>
<b>Kv (m/dia)</b>	0,60789493	0,47116096	0,524963125	<b>0,52496312</b>	<b>0,53467300</b>

De acordo com os dados apresentados na Tabela 13, a condutividade hidráulica vertical mediana identificada foi de  $6,08 \times 10^{-4}$  cm/seg ou 0,52 m/dia, o que também representa um valor médio de  $6,19 \times 10^{-6}$  m/seg. Os valores identificados no FT-04 correspondem a silte arenoso, areia fina ou areia siltica.

Nas análises granulométricas foram identificados 46,41% de teor de areia nas amostras do FT-04, com predominância da granulometria muito grossa, além de 53,59% de teor de argila e silte. As características granulométricas das amostras do FT-05 são apresentadas no Apêndice B – Quadro 1.

O difratograma apresentado ilustra o quartzo como mineral predominante nas amostras coletadas no FT-04, ocorrendo ainda moderadas frações de hematita e pequenas frações de caulinita e goethita, corroborando os resultados identificados nas análises granulométricas (Apêndice C – Quadro C2).

### Área 5

Esta área possui dimensão aproximada de 51 hectares e está localizada a sudeste de sua sede urbana, a partir da saída da Rodovia PA-151, em frente à área 4, a cerca de 21,28km do centro produtor de lixo. Devido à proximidade com a área 4, investigada anteriormente, não foi realizado furo de trado na área 5, no entanto, foi verificada a profundidade do nível estático em poço tubular dentro de suas imediações, cujo valor verificado foi de 11,51m (Figura 7).



**Figura 7** - Poço amazonas localizado no interior da área 5. Foto: acervo dos autores.

### Área 6

A sexta área investigada está localizada às margens da Rodovia PA-483, após o trevo com a PA-151, sentido Rodovia Alça Viária, a cerca de 26km de distância do CPL, com aproximadamente 38 hectares de dimensão. As Figuras 8 e 9 ilustram o FT-05 realizado na área para coletar amostras de solo e realizar o teste de infiltração.



**Figura 8** - Execução de furo de trado na área 6. Foto: acervo dos autores.



**Figura 9** - Medição do rebaixamento do nível da água em teste de infiltração na área 6. Foto: acervo dos autores.

Os dados de rebaixamento do nível da água nas sondagens são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 05. Fonte: elaborada pelos autores.

FT - 05 (Área 6) - Data de Execução: 31/03/2023					
Tempo (min.)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (min.)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (min.)	Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)
1	2,10	1	1,50	1	0,10
2	4,10	2	2,40	2	0,10
3	6,30	3	3,50	3	0,40
4	8,30	4	4,50	4	1,00
5	9,50	5	5,50	5	1,50
6	12,00	6	6,50	6	1,70
7	14,00	7	7,50	7	1,90
8	15,40	8	8,30	8	2,00
9	17,10	9	9,10	9	2,40
10	18,60	10	10,40	10	2,60
15	25,90	15	14,60	15	4,30
20	31,10	20	18,50	20	5,30

A Tabela 15 apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidos nas três profundidades avaliadas, assim como os valores médios e medianos identificados para esse parâmetro.

Tabela 15 - Valores da condutividade hidráulica vertical  $K_v$  obtidas nas três profundidades investigadas no FT - 05.  
Fonte: elaborada pelos autores.

	Sondagem 0,5m	Sondagem 1,0m	Sondagem 1,5m	FT-05	
				Mediana	Média
<b>Kv (cm/seg)</b>	0,00126364	0,00117786	0,00186141	<b>0,00126364</b>	<b>0,00143430</b>
<b>Kv (m/seg)</b>	0,00001264	0,00001178	1,86141E-05	<b>0,00001264</b>	<b>0,00001434</b>
<b>Kv (m/dia)</b>	1,09178124	1,0176671	1,608257968	<b>1,09178124</b>	<b>1,23923544</b>

De acordo com a Tabela 15, a condutividade hidráulica vertical mediana identificada foi de  $1,26 \times 10^{-3}$  cm/seg ou 1,09 m/dia, o que também representa um valor médio de  $1,43 \times 10^{-5}$  m/seg. Os valores de  $K_v$  correspondem a silte arenoso, areia fina ou areia siltica no FT-05. Nas análises granulométricas foram identificados 70% de teor de areia nas amostras analisadas, com predominância da granulometria muito fina, com teores de argila e silte de 29,61% (Apêndice B – Quadro 1).

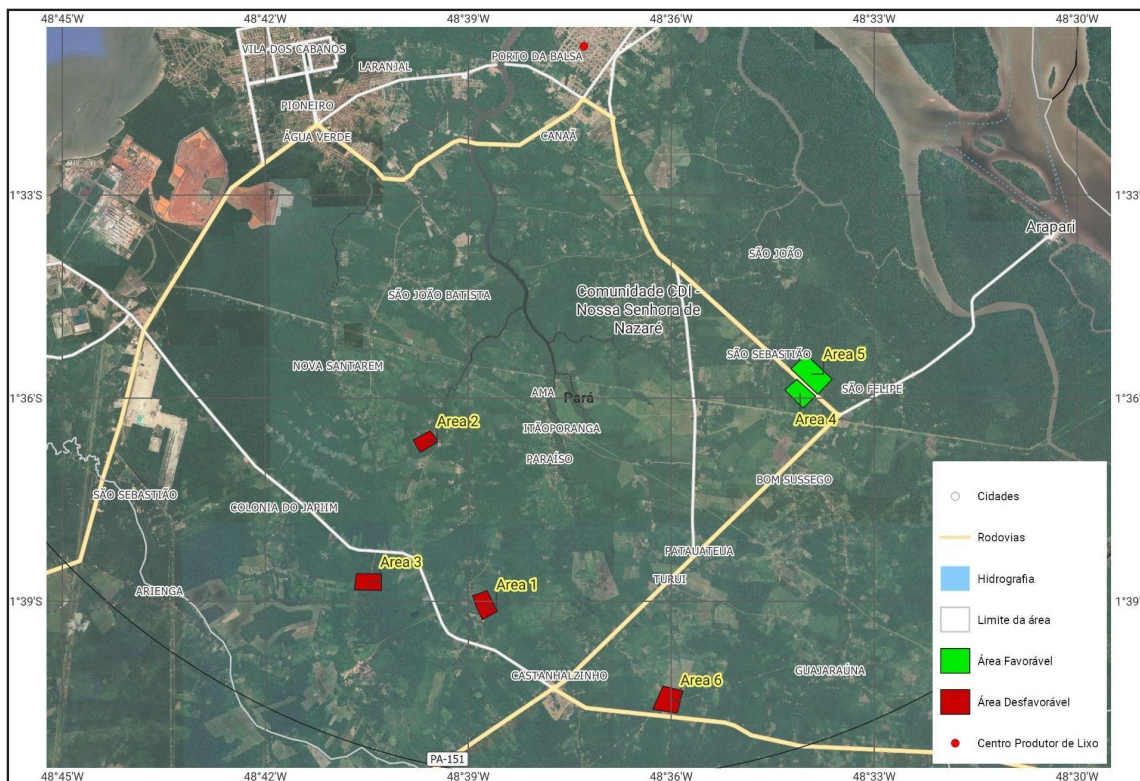
Os principais minerais identificados nas amostras coletadas no FT-05, correspondem ao quartzo como mineral predominante com pequenas frações de caulinita (Apêndice C – Quadro C2).

#### 4.1. Análise comparativa e classificação das áreas frente aos critérios estabelecidos

Após a análise detalhada das seis áreas previamente definidas por intermédio de geoprocessamento e pelos levantamentos de campo, foi possível caracterizar os critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais definidos pela NBR 13896 (ABNT, 1997) e, dessa forma, ponderar a (s) área (s) mais favorável (is) para instalação do aterro sanitário municipal. Para ilustrar a classificação das áreas avaliadas de forma didática, Krebs, Adamy e Reis (1999) as separou em três classes : **favoráveis, medianamente favoráveis e desfavoráveis** para a implantação de aterros sanitários (Figura 10).

Definidas as prioridades e os tipos de atendimento para cada parâmetro avaliado pela norma NBR 13.896 nas seis áreas avaliadas, de acordo com Monteiro *et al.* (2001), seus níveis de atendimento são apresentados na Tabela 16. Em seguida, foram inferidos para as os respectivos percentuais de atendimento, conforme apresentado na Tabela 17, para, finalmente, ser obtida a classificação da Tabela 18, em valores absolutos.

Vale destacar que, de acordo com os critérios estabelecidos por Krebs, Adamy e Reis (1999), as áreas medianamente favoráveis são aquelas cujas medidas mitigadoras são suficientes para atender os critérios técnicos, enquanto que as áreas favoráveis são naturalmente adequadas. As áreas desfavoráveis têm as mesmas características, no entanto, no sentido oposto, não podem ser corrigidas por meio de medidas mitigadoras, como obras estruturantes.



**Figura 10** - Localização das áreas avaliadas para implantação de aterro sanitário de Barcarena - PA. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 16 - Área total das trincheiras e área total do aterro estimado de acordo com as profundidades e volumes das trincheiras. Fonte: elaborada pelos autores.

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO					
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5	ÁREA 6
		%	%	%	%	%	%
Proximidade a cursos d'água	10	T	P	P	P	T	T
Proximidade a núcleos residenciais	10	T	T	T	T	T	T
Proximidade a aeroportos	10	T	T	T	T	T	T
Distância do lençol freático	10	N	N	N	T	T	N
Distância de núcleos de baixa renda	6	T	T	T	T	T	T
Vias de acesso com baixa ocupação	6	T	T	T	T	T	T
Problemas com a comunidade local	6	T	T	T	T	T	T
Aquisição do terreno	4	T	T	T	T	T	P
Investimento em infraestrutura	4	T	T	T	T	T	T
Vida útil mínima	3	T	T	T	T	T	T
Uso do solo	3	T	T	T	T	T	T
Permeabilidade natural do solo	3	P	P	P	T	*	P
Extensão da bacia de drenagem	3	T	T	T	T	T	T
Acesso a veículos pesados	3	T	T	T	T	T	T
Material de cobertura	3	P	P	P	T	T	P
Manutenção do sistema de drenagem	2	T	T	T	T	T	T
Distância para o centro de coleta	1	P	T	P	P	P	P

Legenda: **T** – atende integralmente; **P** – atende parcialmente; **N** – não atende; \* Não Avaliado.

**AValiação Técnica de Área Destinada à Implantação de Aterro Sanitário**  
**BARCARENA, PA**

Tabela 17 - Porcentagem de atendimento das áreas pré-selecionadas para implantação do aterro sanitário municipal de Barcarena, de acordo com a Norma NBR 13896 da ABNT (1997). Fonte: modificado de Monteiro *et al.* (2001).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO					
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5	ÁREA 6
		%	%	%	%	%	%
Proximidade a cursos d'água	10	100	50	50	50	100	100
Proximidade a núcleos residenciais	10	100	100	100	100	100	100
Proximidade a aeroportos	10	100	100	100	100	100	100
Distância do lençol freático	10	0	0	0	100	100	0
Distância de núcleos de baixa renda	6	100	100	100	100	100	100
Vias de acesso com baixa ocupação	6	100	100	100	100	100	100
Problemas com a comunidade local	6	100	100	100	100	100	100
Aquisição do terreno	4	100	100	100	100	100	50
Investimento em infraestrutura	4	100	100	100	100	100	100
Vida útil mínima	3	100	100	100	100	100	100
Uso do solo	3	100	100	100	100	100	100
Permeabilidade natural do solo	3	50	50	50	100	*	50
Extensão da bacia de drenagem	3	100	100	100	100	100	100
Acesso a veículos pesados	3	100	100	100	100	100	100
Material de cobertura	3	50	50	50	100	100	50
Manutenção do sistema de drenagem	2	100	100	100	100	100	100
Distância para o centro de coleta	1	50	100	50	50	50	50

Tabela 18 - Pontuação final das áreas pré-selecionadas para implantação do aterro sanitário do município de Barcarena, de acordo com a Norma NBR 13896 da ABNT (1997). Fonte: modificado de Monteiro *et al.* (2001).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO					
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5	ÁREA 6
		%	%	%	%	%	%
Proximidade a cursos d'água	10	10	5	5	5	10	10
Proximidade a núcleos residenciais	10	10	10	10	10	10	10
Proximidade a aeroportos	10	10	10	10	10	10	10
Distância do lençol freático	10	0	0	0	10	10	0
Distância de núcleos de baixa renda	6	6	6	6	6	6	6
Vias de acesso com baixa ocupação	6	6	6	6	6	6	6
Problemas com a comunidade local	6	6	6	6	6	6	6
Aquisição do terreno	4	4	4	4	4	4	2
Investimento em infraestrutura	4	4	4	4	4	4	4
Vida útil mínima	3	3	3	3	3	3	3
Uso do solo	3	3	3	3	3	3	3
Permeabilidade natural do solo	3	1,5	1,5	1,5	1,5	*	1,5
Extensão da bacia de drenagem	3	3	3	3	3	3	3
Acesso a veículos pesados	3	3	3	3	3	3	3
Material de cobertura	3	1,5	1,5	1,5	3	3	1,5
Manutenção do sistema de drenagem	2	2	2	2	2	2	2
Distância para o centro de coleta	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Pontuação Final das Áreas</b>		73,5	69,0	68,5	80,0	83,5	71,5

Dessa forma, de acordo com os autores, quando um critério técnico não for atendido, a área é automaticamente descartada. Esse fato foi verificado em relação à profundidade do lençol freático identificado nos poços e furo de trado, avaliados nas imediações das áreas 1, 2, 3 e 6 (Tabela 17), considerando que os níveis estáticos identificados foram de 5,31m, 5,5 m, 1,54m e 4,25m, respectivamente.

Diante dessa situação, somente as áreas 4 e 5 puderam ser consideradas favoráveis para a instalação do aterro sanitário municipal de Barcarena; pois atenderam totalmente a 15 itens do total avaliado. No que se refere à permeabilidade natural do solo, correspondente à condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) da zona não saturada, a Norma NBR 13896 (ABNT, 1997) estabelece que os sedimentos locais devem apresentar valores de  $K_v$  na ordem de  $5 \times 10^{-5}$  cm/s.

Entretanto, em todas as áreas investigadas foram identificados valores limites para esse parâmetro na ordem de  $10^{-3}$  cm/s e somente nas áreas 3 e 4 na ordem de  $10^{-4}$  cm/s, de acordo com o que preconiza a referida Norma NBR. Por esse motivo, esse parâmetro foi considerado parcialmente atendido em todas as áreas.

A pontuação final, obtida a partir da soma de todos os parâmetros avaliados individualmente, foi o critério utilizado para identificar a (s) área (s) mais favorável (is) para instalação do referido empreendimento. Por fim, dentre as cinco áreas avaliadas, as áreas 4 e 5 atingiram os valores finais de 80,0 e 83,5 pontos, respectivamente, enquanto que as áreas 1, 2, 3 e 6 apresentaram pelo menos um parâmetro não atendido, sendo automaticamente descartadas.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

De acordo com os estudos realizados no município de Barcarena (PA), com o objetivo de identificar as áreas mais apropriadas para a instalação do aterro sanitário municipal, foi possível ponderar as seguintes conclusões, além de apreciar algumas recomendações, como:

1. Para dimensionar a área do aterro sanitário de Barcarena, foram consideradas duas possibilidades: a primeira aprecia a disposição dos resíduos sólidos em celas e empilhamento com projeção de taludes e a segunda sugere a construção de trincheiras para disposição dos resíduos. Na primeira situação, a área necessária para sua instalação é de 5,65 hectares, enquanto que na segunda opção se recomenda a construção de trincheiras com dimensões de 5m x 5m x 4m, correspondendo ao volume de  $100\text{m}^3$  por trincheira. Para essas dimensões, seria necessária uma área total de 31,39 hectares para o aterro sanitário municipal;
2. Recomenda-se que seja utilizado o sistema de celas e empilhamentos para a disposição final dos resíduos sólidos domiciliares de Barcarena, considerando, principalmente, a população urbana estimada para 2021, de aproximadamente 54.885 habitantes (42% da população total), cujo coeficiente de crescimento populacional, calculado em 3,15% com base nos últimos 30 anos, deverá ocasionar em uma população urbana estimada de 102.000 habitantes até o ano de 2041;
3. O sistema de disposição por meio de celas e empilhamento pode ser composto por uma vala escavada com 300m x 160m de área ( $48.000\text{m}^2$ ), seguido por cinco camadas subsequentes, totalizando um volume de armazenamento de  $1.107.680,29\text{m}^3$ , valor este superior ao calculado para os 20 anos de vida útil do aterro sanitário. O Apêndice B apresenta os cálculos para dimensionamento da vala escavada e das cinco camadas subsequentes do aterro sanitário;



4. O tipo de sedimento predominante nas áreas avaliadas de Barcarena corresponde à areia, equivalente a 58,36% das amostras analisadas, com frações variando entre as granulometrias muito fina a muito grossa;
5. As análises de difração de raios X representadas nos difratogramas confirmam os resultados obtidos nas análises granulométricas, em que o quartzo é o mineral predominante, acompanhado de moderadas frações de hematita e pequenas frações de caulinita e goethita;
6. Os valores de permeabilidade ou condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) dos sedimentos que constituem a zona não saturada das áreas avaliadas foram identificados na ordem de  $10^{-3}$  cm/s a  $10^{-4}$  cm/s ou 1,0 a  $10^{-1}$  m/dia, característicos de sedimentos arenosos, conforme descrito por Fetter (1988) e corroborado pelas análises granulométricas e pelas difrações de raios X;
7. Dentre as seis áreas avaliadas no município de Barcarena, as áreas 4 e 5 atenderam integralmente a 15 dos 17 critérios avaliados pela Norma NBR 13896 (ABNT, 1997), respectivamente, tendo atendido parcialmente os demais critérios. As demais áreas não atenderam a pelo menos um dos critérios avaliados, sendo consideradas inadequadas, e, de acordo com o método estabelecido por Krebs, Adamy e Reis (1999), foram descartadas;
8. Apesar das áreas 4 e 5 terem obtido pontuações próximas (80,0 e 83,5 pontos), recomenda-se que o aterro sanitário municipal de Barcarena seja construído na área 5, em função da maior distância em relação às drenagens locais;
9. Devido às dimensões e tamanho da população do município de Barcarena, aliados ao volume de resíduos sólidos domiciliares (RDO) produzidos até o final da vida útil do aterro e à facilidade operacional, recomenda-se que o aterro sanitário municipal de Barcarena utilize o sistema de celas e empilhamento para a disposição final dos resíduos, cujas dimensões e volume já foram apontados. As bases das celas deverão ser impermeabilizadas com mantas constituídas por polietileno de alta densidade (PEAD), considerando a condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) dos sedimentos constituintes da zona não saturada;
10. Em etapa anterior à elaboração do projeto executivo do aterro sanitário municipal de Barcarena, recomenda-se a realização de um estudo hidrogeológico local, a fim de determinar o sentido do fluxo subterrâneo no aquífero livre, para orientar na instalação de poços de monitoramento;
11. O projeto executivo do aterro sanitário municipal de Barcarena deve considerar um estudo de direção dos ventos, a fim de evitar que qualquer tipo de poeira e poluição do ar atinja estradas, vilas ou localidades próximas ao empreendimento.

## REFERÊNCIAS

---

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13896**: aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

- DIAS, J. A. A. **Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**: uma introdução à oceanografia geológica. Faro: Universidade do Algarve, 2004.
- FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 2. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1988, 592 p.
- FIORI, J. P. O. **Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 2010.
- IBGE. **Cidades**: Barcarena. [2022]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/barcarena/panorama>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- IPT; CEMPRE. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 4. ed. São Paulo, SP: CEMPRE, 2018. Disponível em: [https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo\\_Municipal\\_2018.pdf](https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf). Acesso em: 15 abr. 2023.
- KREBS, A. S. J.; ADAMY, A. REIS, M. R. **Alternativas locais para a disposição de resíduos sólidos urbanos na área de Porto Velho-RO**. Porto Velho: CPRM, 1999. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14616>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- MELO JUNIOR, H. R.; MARMOS, J. L.; CONCEIÇÃO, R. A. C.; MAIA, M. A. M.; MACHADO, M. F. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 6 – seleção e caracterização de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários**. Brasília: SGB-CPRM, 2022. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23007>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F.; BRITO, J. C. X.; ALMEIDA, T. P. de F.; MANSUR, G. L. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 193 p.
- NUNES, L. M. C. *et al.* O catador de lixo e os fatores de risco à saúde em um lixão do município de Barcarena – PA. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 7., 2018, Belém, PA. **Trabalhos [...]**. Belém, PA: UEPA, 2018. Disponível em: <https://www.doity.com.br/anais/viisimposiocienciasambientaisuepa/trabalho/79730>. Acesso em: 06 jun. 2023.
- OLIVEIRA, A. M. dos S.; MONTICELI, J. J. (ed.). **Geologia de engenharia e ambiental, volume 3**: aplicações. São Paulo: ABGE, 2018. v. 3, 356 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BARCARENA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos de Barcarena**. Barcarena, PA: Gabinete do Prefeito, 2013. 203 p.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and glass terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p. 377-392, 1922. DOI <https://doi.org/10.1086/622910>. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/622910>.

## **APENDICE A**

---

**ESTABELECIMENTO DO CONJUNTO DE CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS  
PARA A INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS E DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES PARA O  
ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO**

## 1. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

### 1.1 Técnicos

A seleção de uma área para servir de aterro sanitário para disposição final de resíduos sólidos domiciliares deve atender, no mínimo, aos critérios técnicos impostos pela norma NBR 13896 da ABNT (1997) e pelas legislações federal, estadual e municipal (quando houver).

Todas as condicionantes e restrições relativas às normas da ABNT, assim como os aspectos técnicos da legislação atualmente em vigor, estão consideradas nos critérios listados na Tabela A.1.

Tabela A.1: Critérios técnicos estabelecidos pela Norma NBR 13896 da ABNT (1997) para seleção de área para implantação de aterro sanitário. Fonte: modificado de Monteiro *et al.* (2001).

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Uso do solo	As áreas têm que se localizar em regiões onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer unidade de conservação ambiental.
2	Proximidade a cursos d'água relevantes	As áreas não podem se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes, tais como: rios, lagos, lagoas e oceano. Também, não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas de drenagem que pertençam ao sistema de drenagem municipal ou estadual.
3	Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem se situar a menos de 1.000m de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
4	Proximidade a aeroportos	As áreas não podem se situar próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
5	Distância do lençol freático	As distâncias mínimas recomendadas pelas normas federais e estaduais são as seguintes: <ul style="list-style-type: none"><li>• Para aterros com impermeabilização inferior por meio de manta plástica sintética, a distância do lençol freático até a manta não poderá ser inferior a 1,5 metros.</li><li>• Para aterros com impermeabilização inferior por meio de camada de argila, a distância do lençol freático até a camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros. A camada impermeabilizante deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que <math>10^{-6}</math> cm/s.</li></ul>
6	Vida útil mínima	É desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham, no mínimo, cinco anos de vida útil.
7	Permeabilidade do solo natural	É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.
8	Extensão da bacia de drenagem	A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, de modo a evitar o ingresso de grandes volumes de água de chuva na área do aterro.
9	Facilidade de acesso a veículos pesados	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas.
10	Disponibilidade de material de cobertura	Preferencialmente, o terreno deve possuir ou se situar próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente cobertura do lixo a baixo custo.

## 1.2 Econômico-Financeiros

A Tabela A.2 apresenta os critérios econômico-financeiros apresentados pela Norma NBR 13896 da ABNT (1997), utilizada para a seleção das áreas para implantação de aterros sanitários no Brasil.

Tabela A.2: Critérios econômico-financeiros estabelecidos pela Norma NBR 13.896 da (ABNT, 1997) para seleção de área para implantação de aterro sanitário. Fonte: modificado de Monteiro *et al.* (2001).

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Distância para o centro geométrico de coleta	É desejável que o percurso de ida (ou de volta), que os veículos de coleta fazem até o aterro por meio das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o desgaste e o custo de transporte do lixo.
2	Custo de aquisição do terreno	Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o custo de aquisição será menor do que os situados em áreas industriais.
3	Custo de investimento em construção e infraestrutura	É importante que a área escolhida disponha de infraestrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
4	Custos com manutenção do sistema de drenagem	A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e a manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

## 1.3 Político-Sociais

Por último, a legislação vigente estabelece os critérios político-sociais para a seleção das áreas de implantação de aterros sanitários, conforme a Tabela A.3.

Tabela A.3: Critérios político-sociais estabelecidos pela Norma NBR 13896 da ABNT (1997) para seleção de área para implantação de aterro sanitário. Fonte: modificado de Monteiro *et al.* (2001).

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Distância de núcleos urbanos de baixa renda	Aterros são locais que atraem pessoas desempregadas, de baixa renda ou sem outra qualificação profissional, que buscam a catação do lixo como forma de sobrevivência e que passam a viver desse tipo de trabalho em condições insalubres, gerando, para a prefeitura, uma série de responsabilidades sociais e políticas. Por isso, caso a nova área se localize próxima a núcleos urbanos de baixa renda, deverão ser criados mecanismos alternativos de geração de emprego e/ou renda que minimizem as pressões sobre a administração do aterro em busca da oportunidade de catação. Entre tais mecanismos, poderão estar iniciativas de incentivo à formação de cooperativas de catadores, que podem trabalhar em instalações de reciclagem dentro do próprio aterro ou mesmo nas ruas da cidade, de forma organizada, fiscalizada e incentivada pela prefeitura.
2	Acesso à área por vias com baixa densidade de ocupação	O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde passam, sendo desejável que o acesso à área do aterro passe por locais de baixa densidade demográfica.
3	Inexistência de problemas com a comunidade local	É desejável que, nas proximidades da área selecionada, não tenha havido nenhum tipo de problema da prefeitura com a comunidade local, com organizações não governamentais (ONG's) e com a mídia, pois esta indisposição com o poder público irá gerar reações negativas à instalação do aterro.

## 2. DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES PARA O ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

O local selecionado para se implantar um aterro sanitário deve ser aquele que atenda ao maior número de critérios estabelecidos pela Norma NBR 13896 da ABNT (1997), dando ênfase aos de maior prioridade. Tal seleção deve ser precedida de uma análise individual de cada área selecionada com relação a cada um dos diversos critérios apresentados, fornecendo-se a justificativa que permita considerar cada critério como “totalmente atendido”, “parcialmente atendido” ou “não atendido”.

Quando os atributos naturais do terreno selecionado não forem suficientes para atender integralmente ao critério analisado, tais deficiências deverão ser sanadas por meio da implantação de soluções da engenharia, a fim de que o critério seja atendido.

### 2.1 Priorização dos Critérios de Seleção

Desta forma, é realizada uma hierarquização dos critérios estabelecidos, elegendo-se prioridades de 1 a 6 para os parâmetros analisados na seleção das novas áreas para implantação de aterro sanitário, conforme descrito na Tabela A.4.

Tabela A.4: Hierarquização dos critérios de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários municipais, de acordo com a metodologia adotada. Fonte: modificado de Monteiro *et al.* (2001)

CRITÉRIOS	PRIORIDADE
Atendimento ao SLAP* e à legislação ambiental em vigor	1
Atendimento aos condicionantes político-sociais	2
Atendimento aos principais condicionantes econômicos	3
Atendimento aos principais condicionantes técnicos	4
Atendimento aos demais condicionantes econômicos	5
Atendimento aos demais condicionantes técnicos	6

\*SLAP = Sistema de Licenciamento de Atividade Poluidora.

Tabela A.5: Pesos dos critérios e dos tipos de atendimentos estabelecidos para a análise das áreas investigadas.

Fonte: modificado de Monteiro *et al.* (2001).

<b>PESOS DOS CRITÉRIOS E DO TIPO DE ATENDIMENTO</b>	
<b>PRIORIDADE DOS CRITÉRIOS</b>	<b>PESO</b>
1	10
2	6
3	4
4	3
5	2
6	1
<b>TIPO DE ATENDIMENTO</b>	<b>PESO</b>
Total	100%
Parcial ou com obras	50%
Não atendido	0%

## 2.2 Ponderação do Atendimento aos Critérios

Para que a escolha da melhor área possa ser efetuada, é necessário que se fixem pesos, tanto para as prioridades, quanto para o atendimento aos critérios selecionados, como mostrados na Tabela A.5.

## 2.3 Escolha da melhor Área

Será considerada melhor área aquela que obtiver o maior número de pontos após a aplicação dos pesos às prioridades e ao atendimento dos critérios.

## **APENDICE B**

---

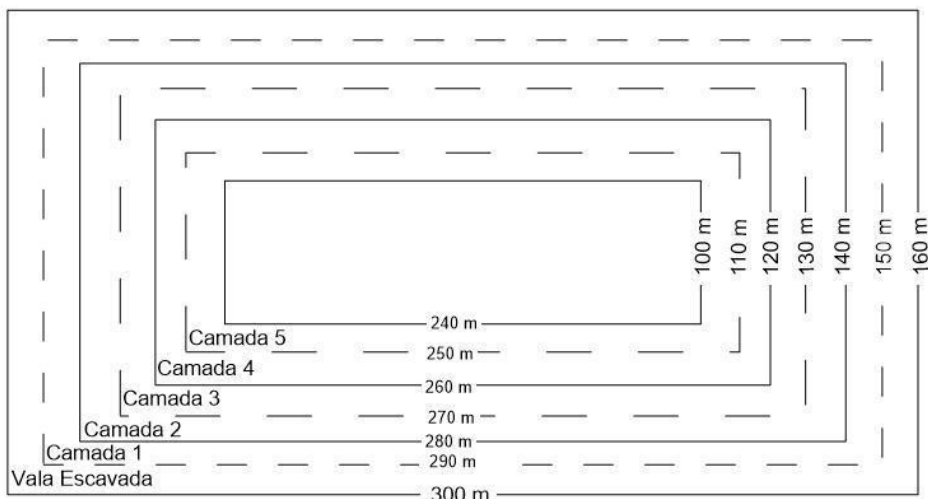
### **CÁLCULO DAS DIMENSÕES DO ATERRO SANITÁRIO**



O aterro sanitário municipal de Barcarena poderá ser constituído por celas de disposição e empilhamento com uma vala escavada e cinco camadas subsequentes, cujas dimensões e estruturas são apresentadas no Quadro B1.

Quadro B1: Dimensões e estruturas do aterro sanitário projetado para Barcarena, constituído por celas e empilhamento de camadas, formando uma pirâmide de base regular.

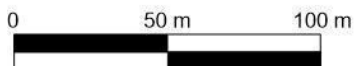
### VISTA SUPERIOR



### VISTA LATERAL PRINCIPAL



### VISTA LATERAL SECUNDÁRIA



O aterro sanitário de Barcarena deve ser projetado de forma piramidal com base regular, conforme apresentado no Quadro B1, cujos cálculos das dimensões e volumes das células de disposição são apresentados a seguir.

Área do Aterro para disposição de resíduos = 48.000m<sup>2</sup>

Área Total do Aterro (disposição de resíduos + áreas de servidão + áreas administrativas) = 57.600m<sup>2</sup>

Cálculo do volume da pirâmide de base regular:

$$V = \frac{h}{3} + (SB + \sqrt{SB \times Sb} + Sb)$$

V = Volume do tronco

h = Altura do tronco

S<sub>B</sub> = Área da base maior

S<sub>b</sub> = Área da base menor

#### **Cálculo da Vala Escavada**

$$V = \frac{5}{3} + (48.000 + \sqrt{48.000 \times 43.500} + 43.500)$$

$$V = 277.743,10 \text{ m}^3$$

#### **Cálculo da Primeira Camada**

$$V = \frac{5}{3} + (43.500 + \sqrt{43.500 \times 39.200} + 39.200)$$

$$V = 205.860,15 \text{ m}^3$$

#### **Cálculo da Segunda Camada**

$$V = \frac{5}{3} + (39.200 + \sqrt{39.200 \times 35.100} + 35.100)$$

$$V = 184.913,04 \text{ m}^3$$

#### **Cálculo da Terceira Camada**

$$V = \frac{5}{3} + (35.100 + \sqrt{35.100 \times 31.200} + 31.200)$$

$$V = 164.991,71 \text{ m}^3$$

#### **Cálculo da Quarta Camada**

$$V = \frac{5}{3} + (31.200 + \sqrt{31.200 \times 27.500} + 27.500)$$

$$V = 146.066,12 \text{ m}^3$$

#### **Cálculo da Quinta Camada**

$$V = \frac{5}{3} + (27.500 + \sqrt{27.500 \times 24.000} + 24.000)$$

$$V = 128.136,17 \text{ m}^3$$

**Volume total de resíduos para dispor no aterro: 1.107.710,29m<sup>3</sup>.**

## **APENDICE C**

---

### **RESULTADOS LABORATORIAIS**

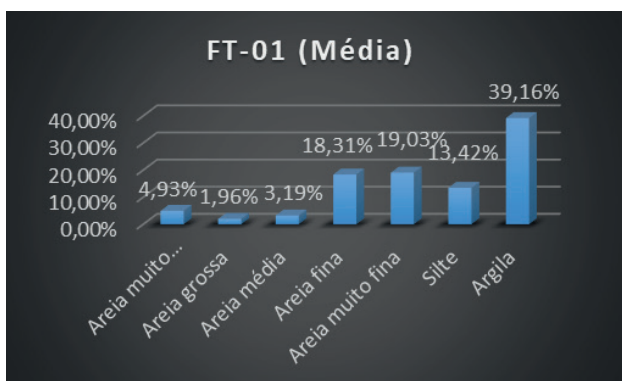
## C1. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

A seguir, são apresentados os resultados das análises granulométricas dos sedimentos coletados nos furos de trados realizados para sondagem do material (Quadro C.1).

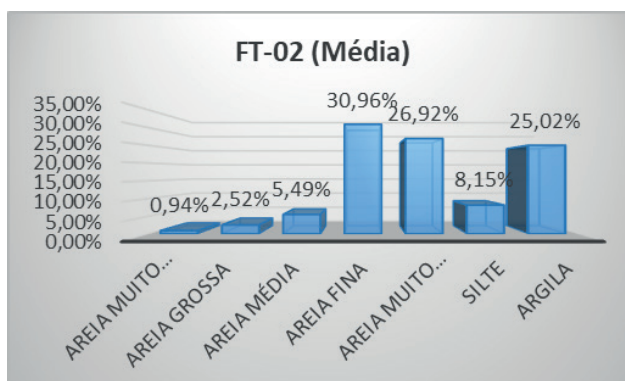
Quadro C1: Gráfico ilustrando o resultado da análise granulométrica realizada nos sedimentos coletados nos furos de trado.

Quadro C1: Gráfico ilustrando o resultado da análise granulométrica realizada nos sedimentos coletados nos furos de trado.

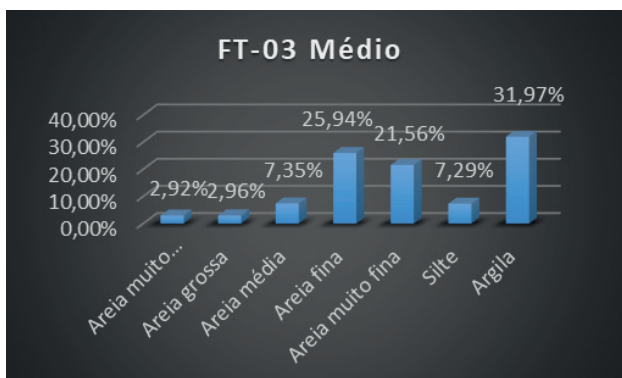
FT-01 – Área 1.



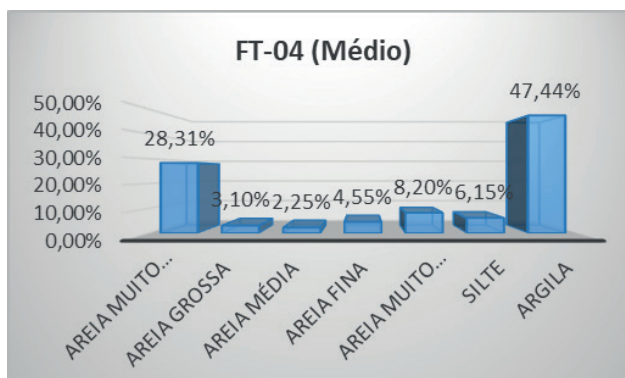
FT-02 - Área 2.



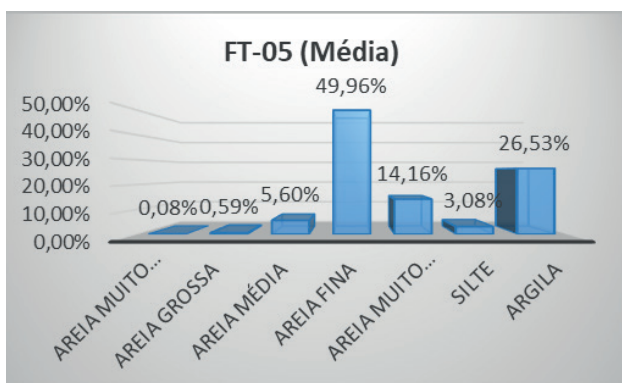
FT-03 - Área 3.



FT-04 - Área 4.



FT-05 - Área 6.

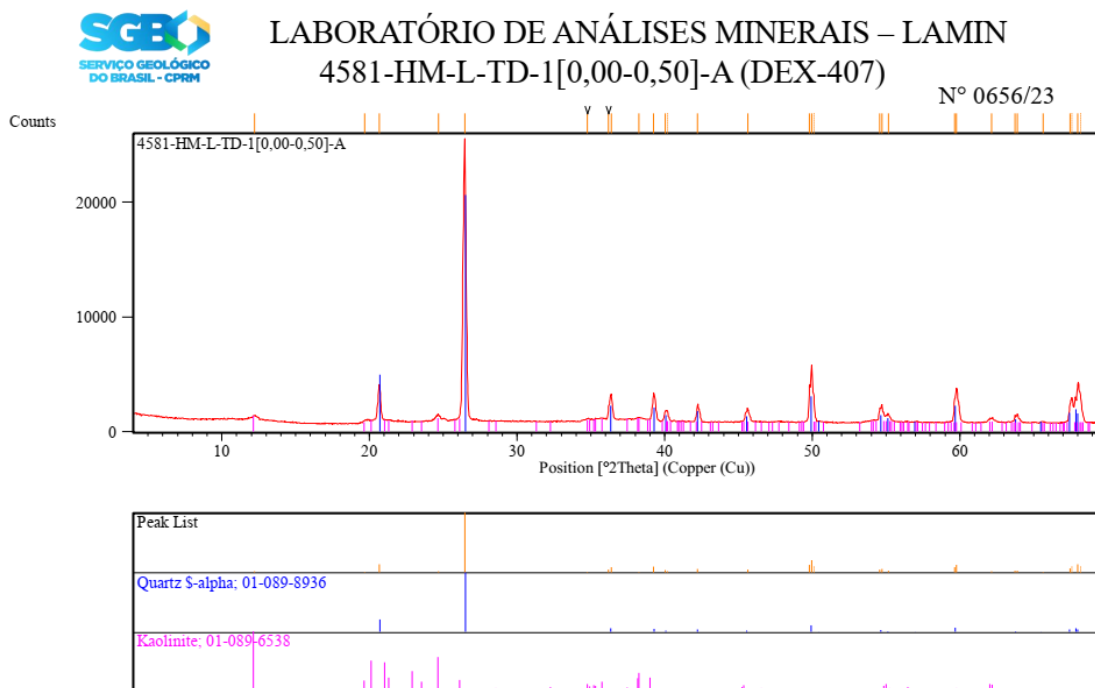


## C2. ANÁLISES MINERALÓGICAS

As análises mineralógicas do material coletado nos furos de sondagem são apresentadas na Figura C2.

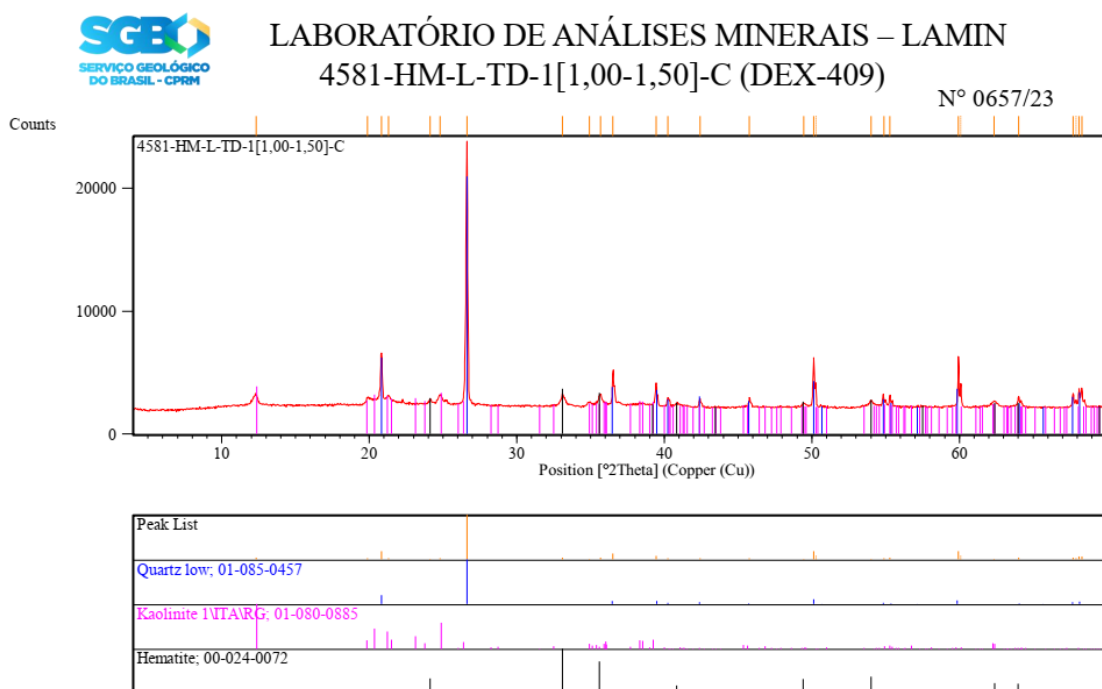
Figura C2: Difratograma com os principais minerais identificados nos sedimentos coletados nos furos de trado.

FT-01A - Área 1.



A amostra 4581-HM-L-TD-1[0,00-0,50]-A contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT-01C - Área 1.



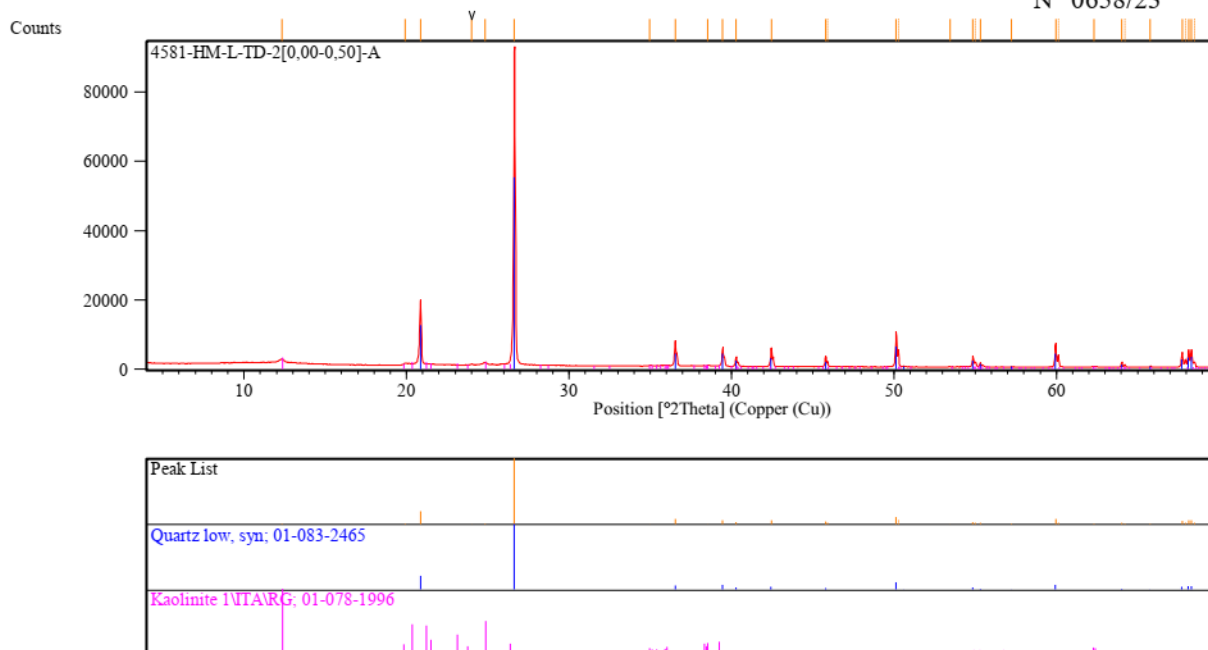
A amostra 4581-HM-L-TD-1[1,00-1,50]-C contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita e Hematita.

FT- 02C - Área 2.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-2[0,00-0,50]-A (DEX-410)

Nº 0658/23



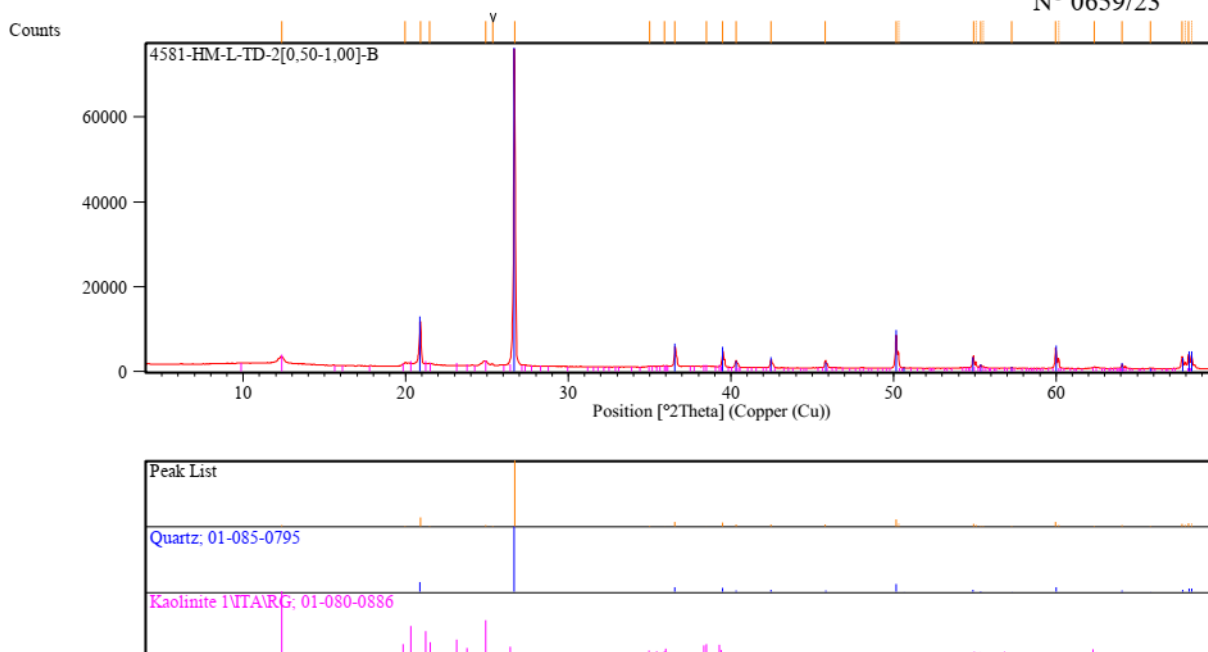
A amostra 4581-HM-L-TD-2[0,00-0,50]-A contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 02B - Área 2.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-2[0,50-1,00]-B (DEX-411)

Nº 0659/23



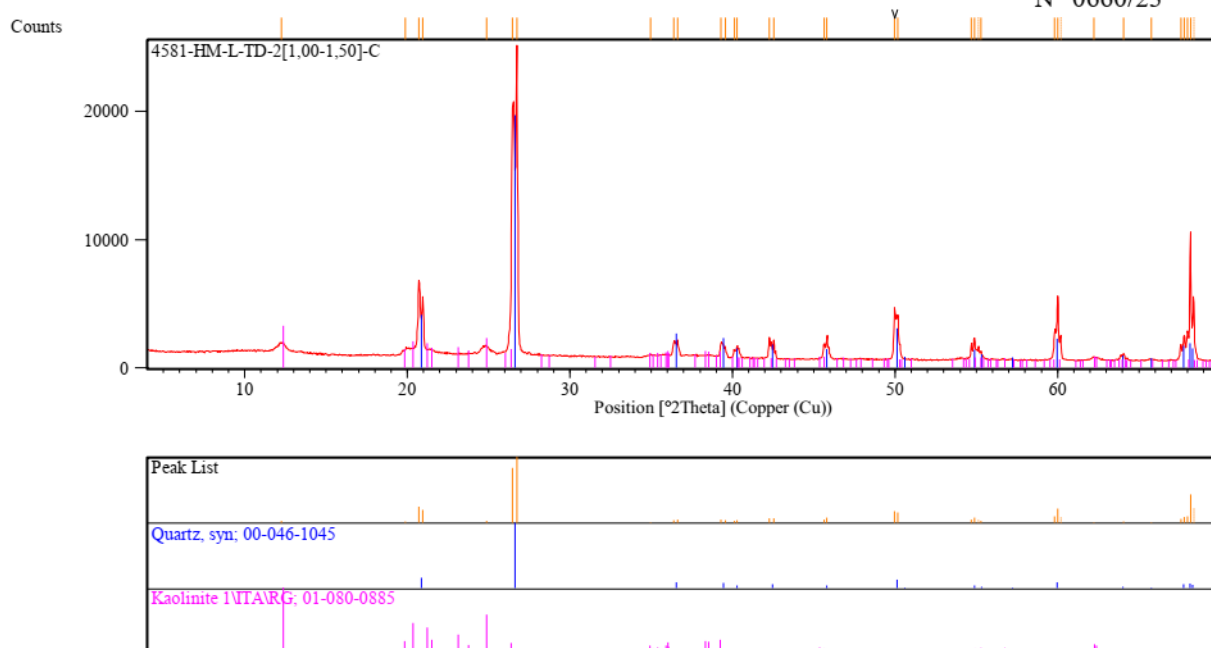
A amostra 4581-HM-L-TD-2[0,50-1,00]-B contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 02C - Área 2.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-2[1,00-1,50]-C (DEX-412)

Nº 0660/23



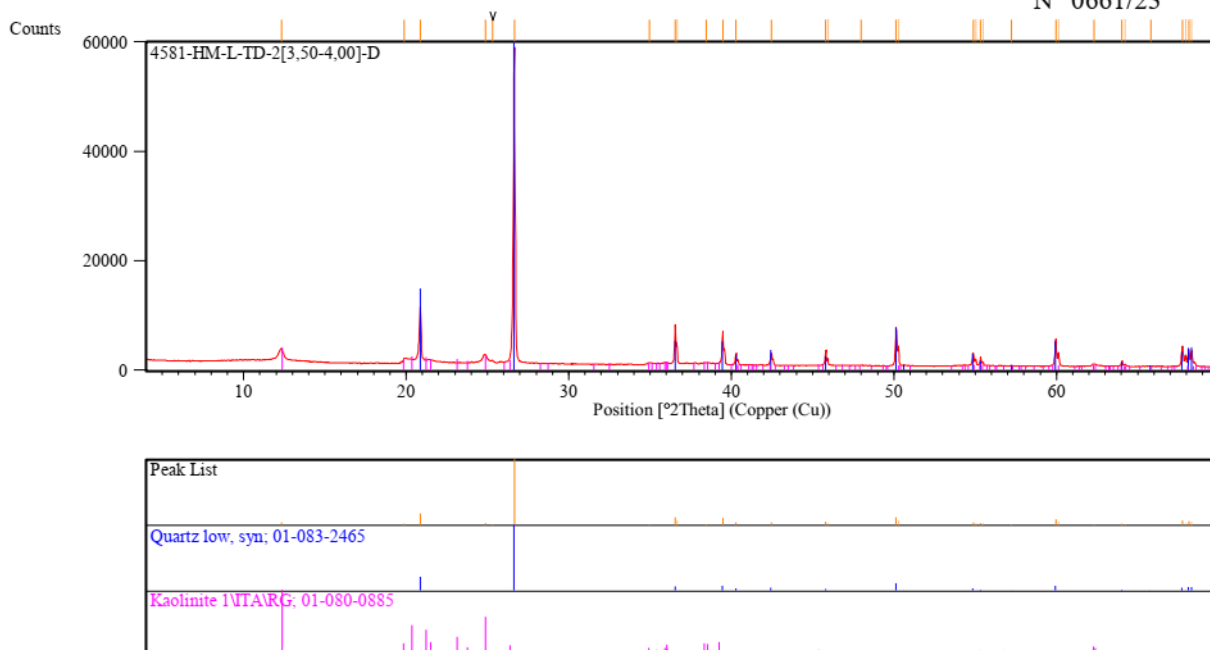
A amostra 4581-HM-L-TD-2[1,00-1,50]-C contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 02D - Área 2.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-2[3,50-4,00]-D (DEX-413)

Nº 0661/23



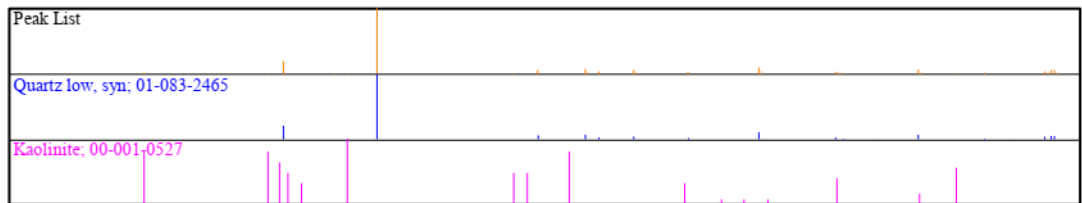
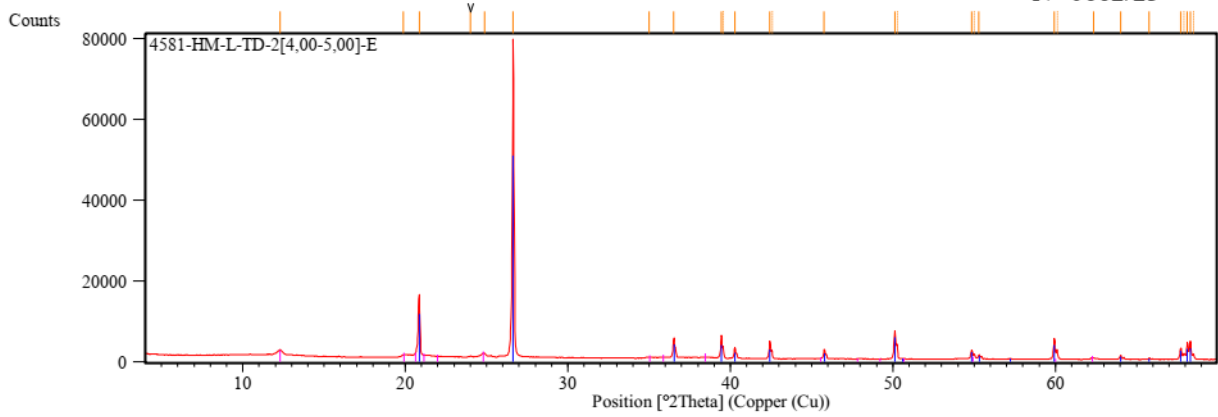
A amostra 4581-HM-L-TD-2[3,50-4,00]-D contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 02E - Área 2.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-2[4,00-5,00]-E (DEX-414)

Nº 0662/23



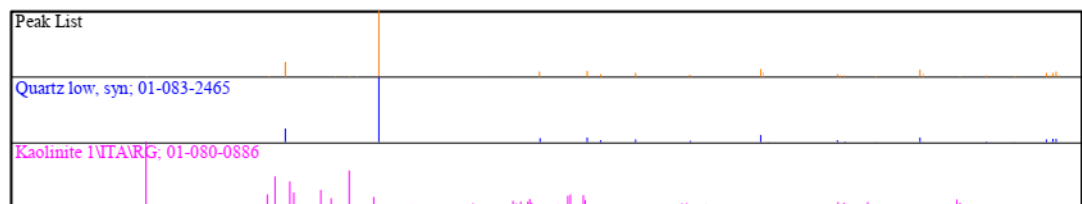
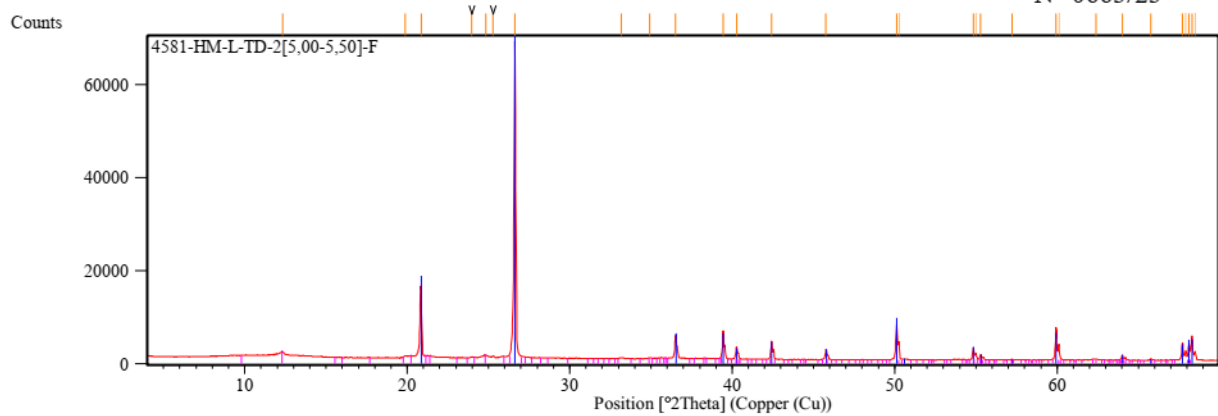
A amostra 4581-HM-L-TD-2[4,00-5,00]-E contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 02F - Área 2.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-2[5,00-5,50]-F (DEX-415)

Nº 0663/23



A amostra 4581-HM-L-TD-2[5,00-5,50]-F contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

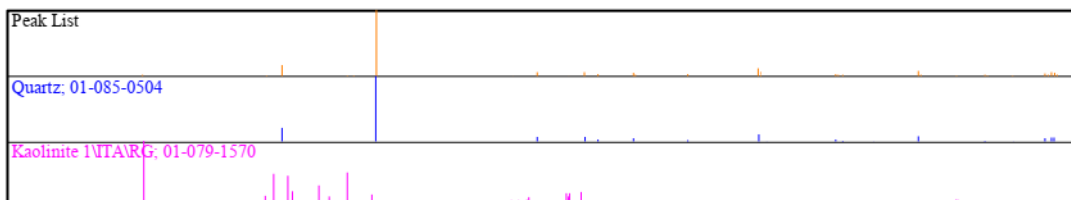
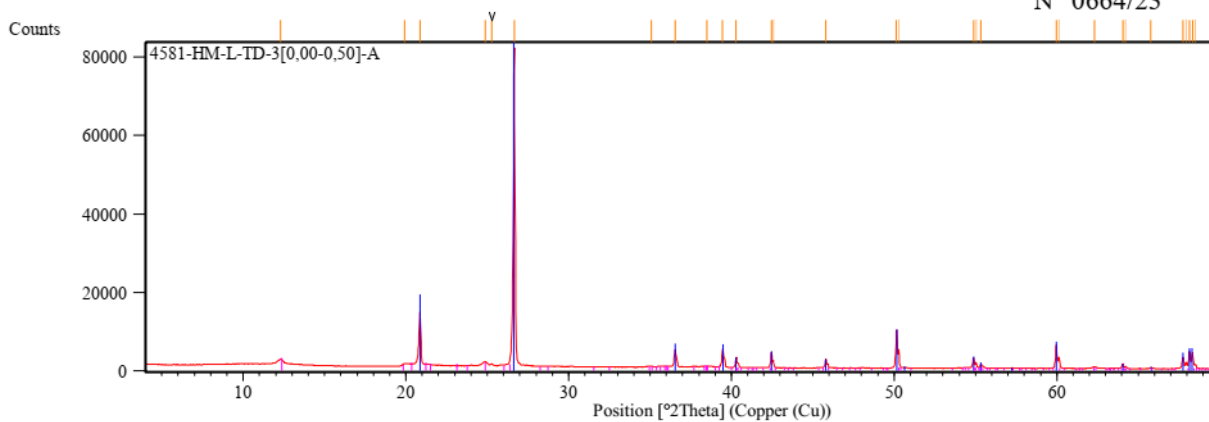


FT- 03A - Área 3.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-3[0,00-0,50]-A (DEX-416)

N° 0664/23



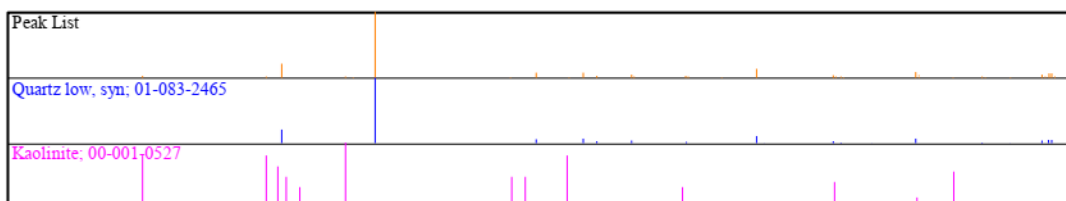
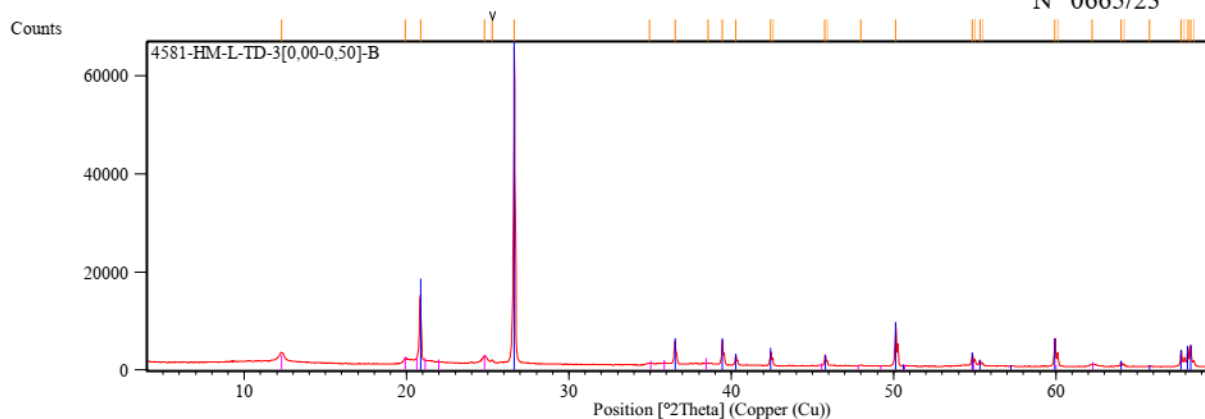
A amostra 4581-HM-L-TD-3[0,00-0,50]-A contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 03B - Área 3.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-3[0,50-1,00]-B (DEX-417)

N° 0665/23



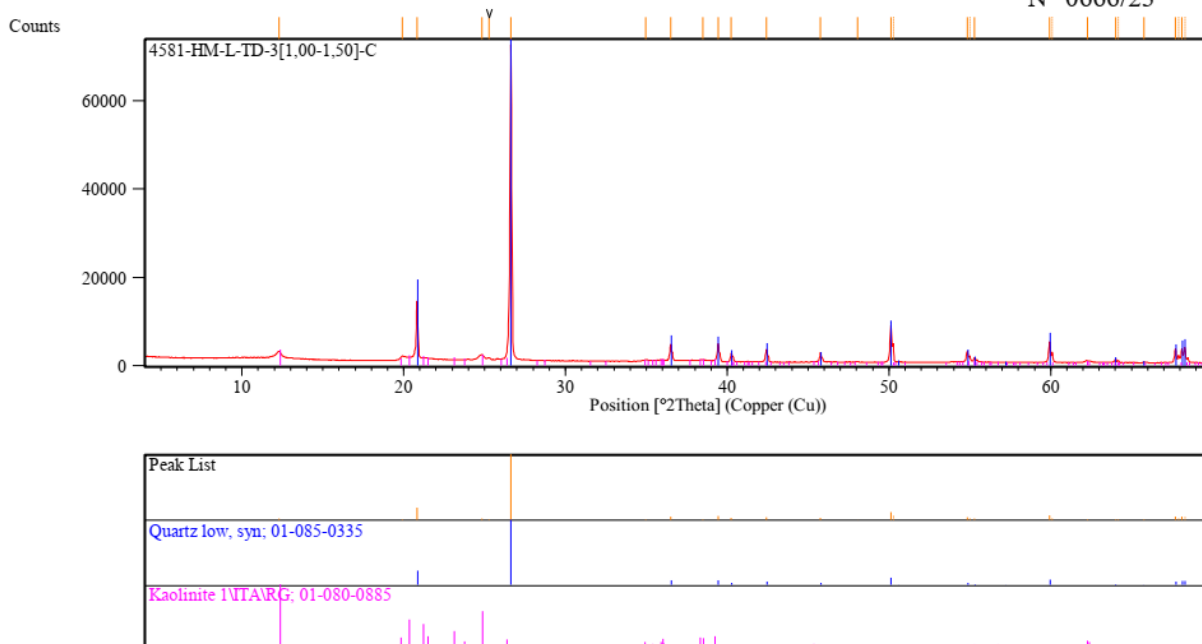
A amostra 4581-HM-L-TD-3[0,50-1,00]-B contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 03C - Área 3.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-3[1,00-1,50]-C (DEX-418)

Nº 0666/23



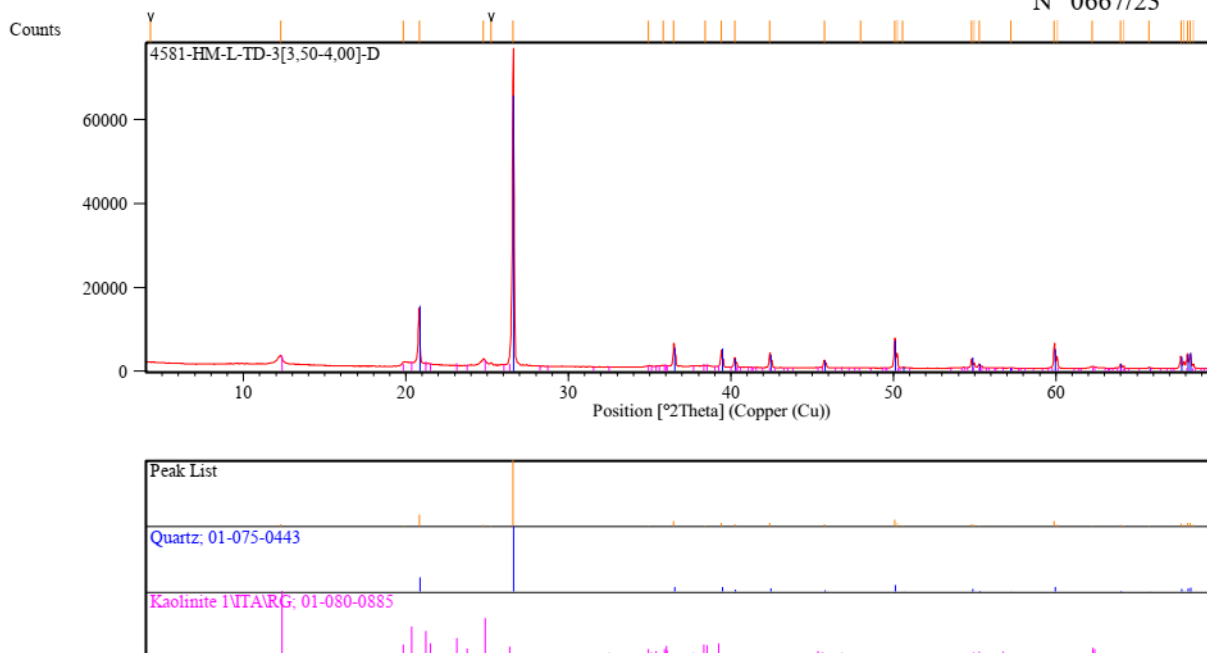
A amostra 4581-HM-L-TD-3[1,00-1,50]-C contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 03D - Área 3.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-3[3,50-4,00]-D (DEX-419)

Nº 0667/23



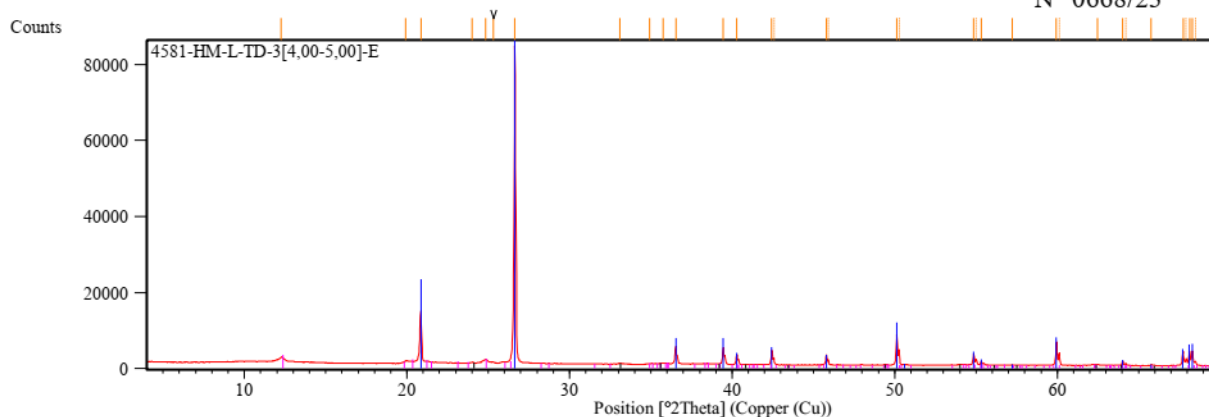
A amostra 4581-HM-L-TD-3[3,50-4,00]-D contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 03E - Área 3.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-3[4,00-5,00]-E (DEX-420)

Nº 0668/23



Phase	Reference ID
Quartz low, syn;	01-083-2465
Kaolinite 1 (TARG);	01-080-0885
Hematite, syn;	01-089-0597

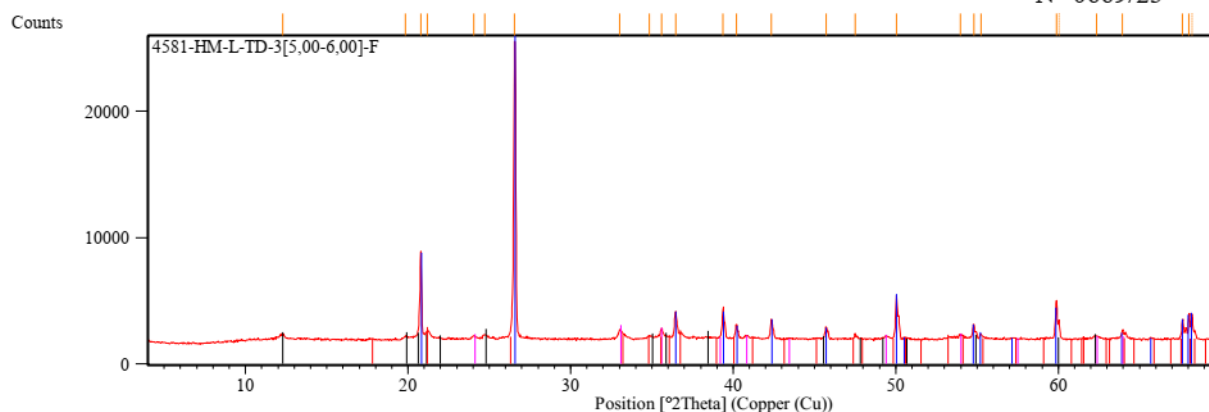
A amostra 4581-HM-L-TD-3[4,00-5,00]-E contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita e Hematita.

FT- 03F - Área 3.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-3[5,00-6,00]-F (DEX-421)

Nº 0669/23



Phase	Reference ID
Quartz;	01-083-0539
Hematite;	00-024-0072
Kaolinite;	00-001-0527
Goethite, syn;	01-074-2195

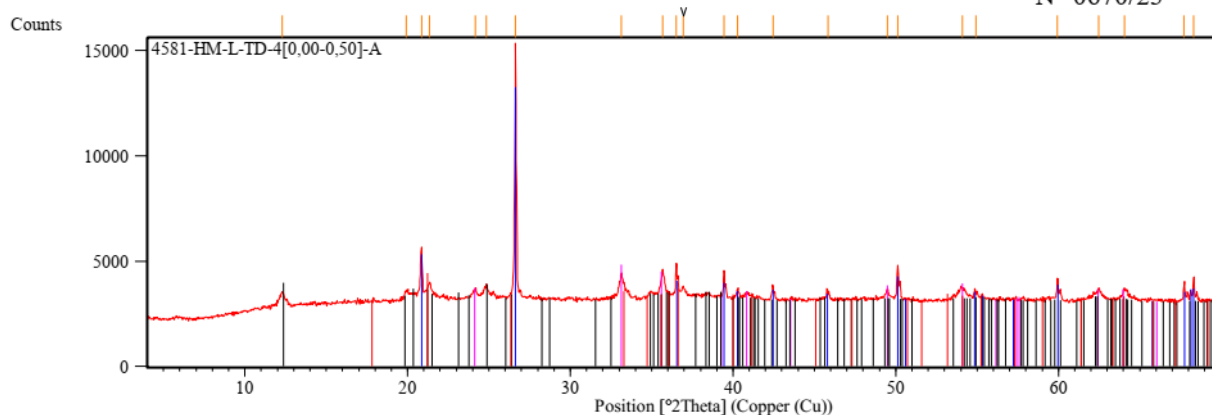
A amostra 4581-HM-L-TD-3[5,00-6,00]-F contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Hematita, Caulinita e Goethita.

FT- 04A - Área 4.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-4[0,00-0,50]-A (DEX-422)

Nº 0670/23



Phase	Reference
Quartz	01-079-1910
Hematite, syn:	00-033-0664
Kaolinite 1\TARG:	01-080-0885
Goethite:	00-017-0536

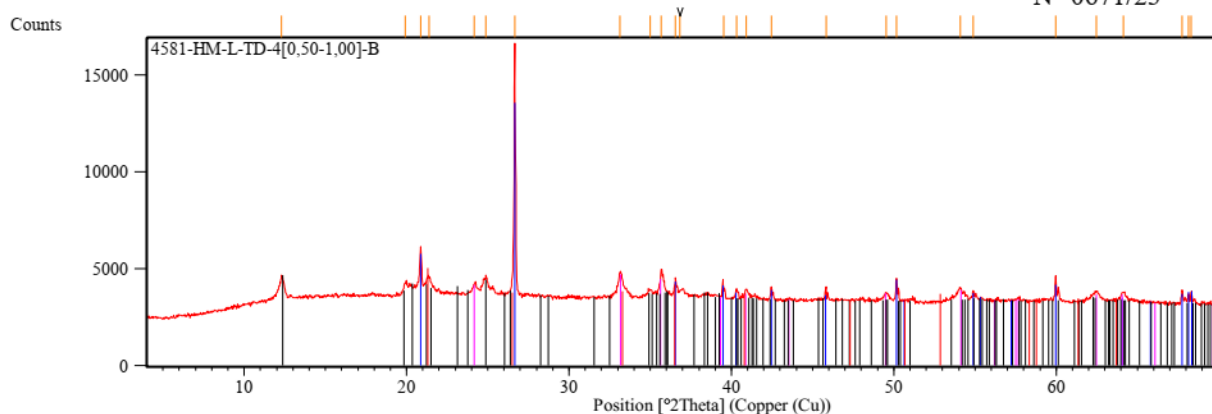
A amostra 4581-HM-L-TD-4[0,00-0,50]-A contém predominantemente Quartzo. Frações moderadas de Hematita. Frações pequenas de Caulinita e Goethita.

FT- 04B - Área 4.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-4[0,50-1,00]-B (DEX-423)

Nº 0671/23



Phase	Reference
Quartz	01-078-2315
Hematite, syn:	01-089-0599
Kaolinite 1\TARG:	01-080-0885
Goethite:	00-003-0251

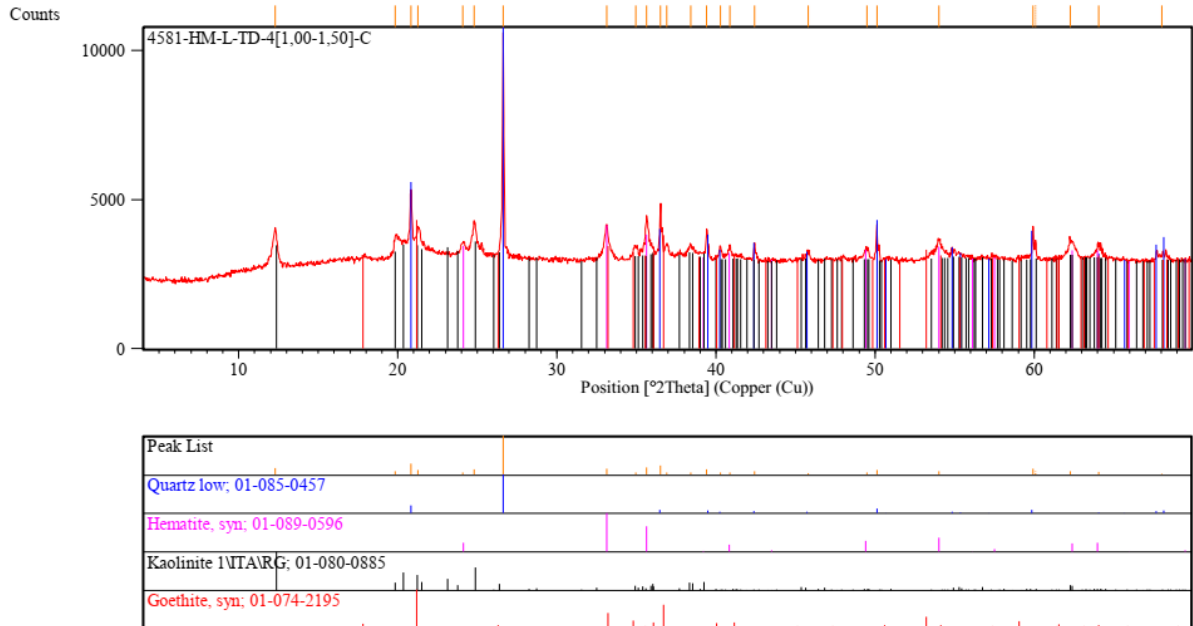
A amostra 4581-HM-L-TD-4[0,50-1,00]-B contém predominantemente Quartzo. Frações moderadas de Hematita. Frações pequenas de Caulinita e Goethita.

FT- 04C - Área 4.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-4[1,00-1,50]-C (DEX-424)

Nº 0672/23



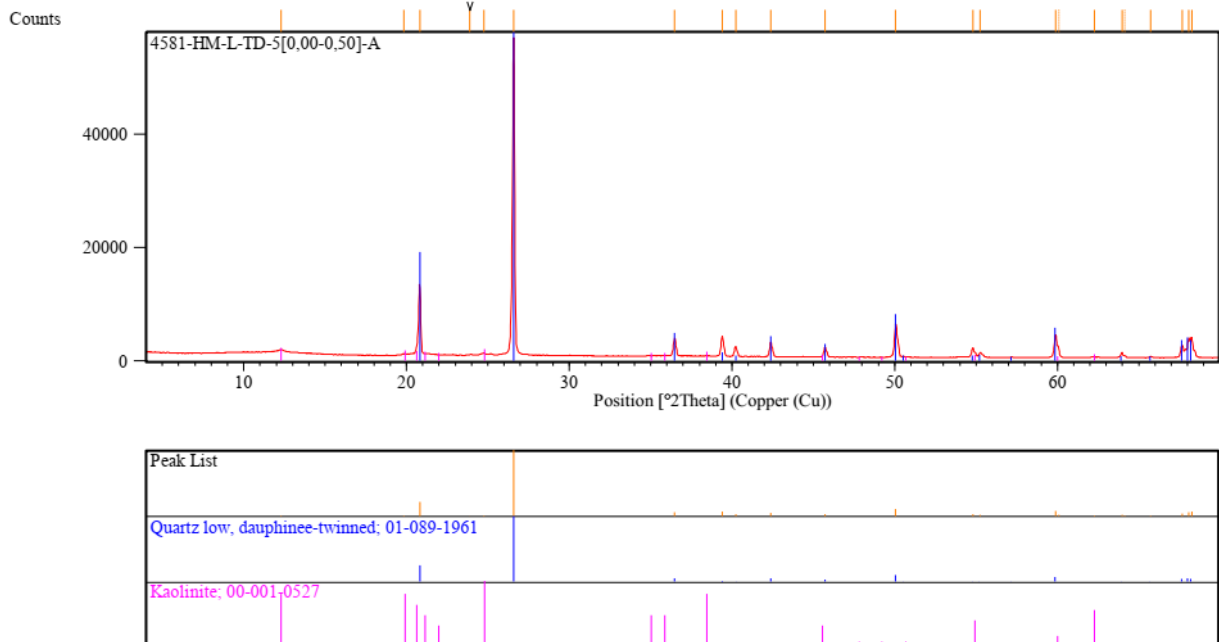
A amostra 4581-HM-L-TD-4[1,00-1,50]-C contém predominantemente Quartzo. Frações moderadas de Hematita e Caulinita. Frações pequenas de Goethita.

FT- 05A - Área 6.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-5[0,00-0,50]-A (DEX-425)

Nº 0673/23



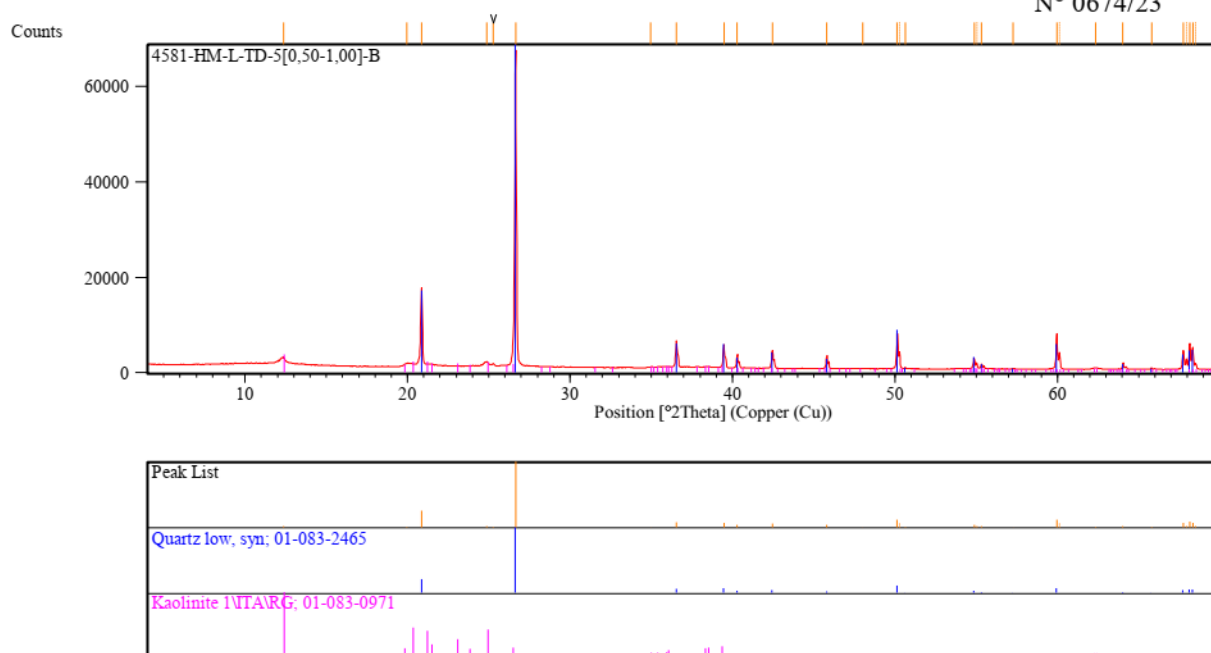
A amostra 4581-HM-L-TD-5[0,00-0,50]-A contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 05B - Área 6.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-5[0,50-1,00]-B (DEX-426)

Nº 0674/23



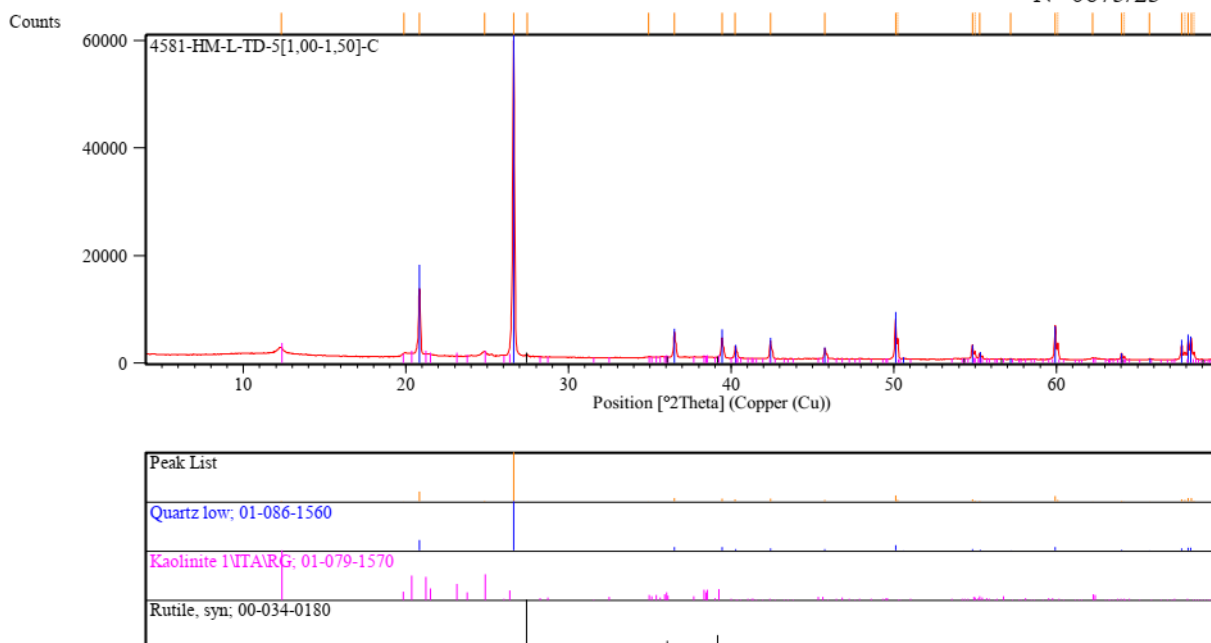
A amostra 4581-HM-L-TD-5[0,50-1,00]-B contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita.

FT- 05C - Área 6.



LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS – LAMIN  
4581-HM-L-TD-5[1,00-1,50]-C (DEX-427)

Nº 0675/23



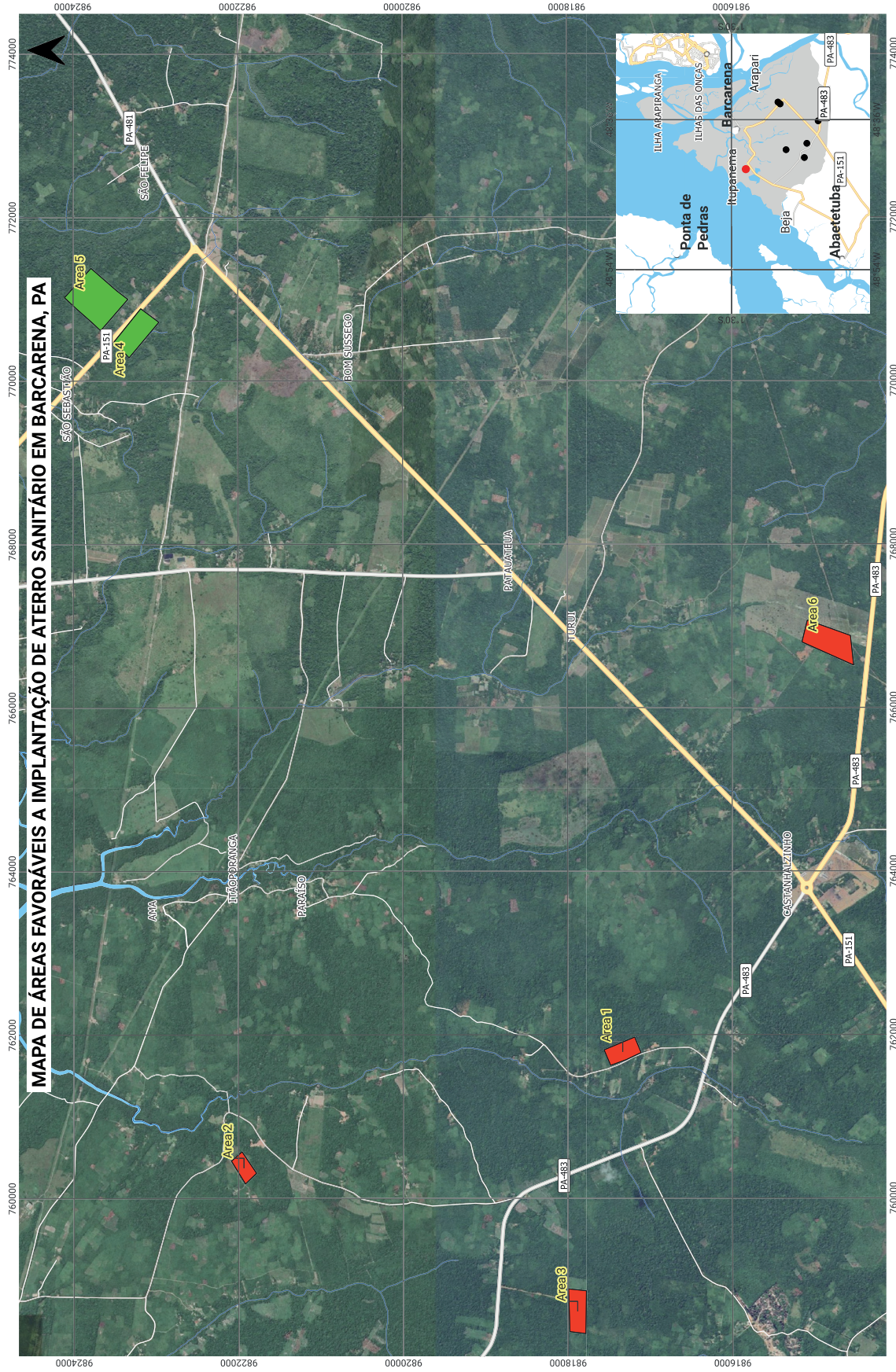
A amostra 4581-HM-L-TD-5[1,00-1,50]-C contém predominantemente Quartzo. Frações pequenas de Caulinita. Possíveis frações pequenas de Rutilo.

Fonte: Lamin - Manaus.

## **APENDICE D**

---

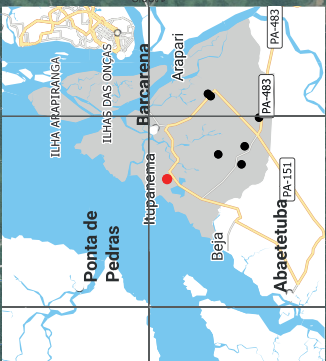
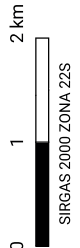
### **MAPA DE FAVORABILIDADE**



**MAPA DE ÁREAS FAVORÁVEIS A IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM BARCARENA, PA**

**LEGENDA**

- Cidades
- Centro Produtor de Lixo
- Rodovias
- Hidrografia
- Limites da área
- Buffer 20 km
- Áreas em estudo
- Favorável
- Não favorável





# O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O Serviço Geológico do Brasil – CPRM atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

# Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO  
SERVIÇOS COMPARTILHADOS

ÁREA DE ATUAÇÃO  
GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AVALIAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO  
PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA





MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

