



**SERVIÇO GEOLÓGICO  
DO BRASIL - CPRM**



**ESTUDO PARA SELEÇÃO DE  
ÁREAS APROPRIADAS PARA  
A INSTALAÇÃO DE ATERROS  
SANITÁRIOS NOS MUNICÍPIOS  
DE UNIÃO, LAGOA ALEGRE,  
SANTA CRUZ DOS MILAGRES,  
SÃO MIGUEL DO TAPUIO E  
SOCORRO DO PIAUÍ**

**EMENDA PARLAMENTAR**

**19350002/2021**

**MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL**

**DO TAPUIO - PI**



**Realização**

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT)  
Departamento de Gestão Territorial (DEGET)  
Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)

**2022**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**Ministro de Estado**

Adolfo Sachsida

**Secretário Executivo**

Hailton Madureira de Almeida

**Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Líliá Mascarenhas Sant'agostino

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor-Presidente interino**

Cassiano de Souza Alves

**Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais interino**

Paulo Afonso Romano

**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 Andrade da Silva

**Chefe da Divisão de Gestão Territorial**

Maria Adelaide Mansini Maia

**Chefe da Divisão de Geologia Aplicada**

Tiago Antonelli

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**  
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

---

**ESTUDO PARA SELEÇÃO DE ÁREAS APROPRIADAS  
PARA A INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS  
NOS MUNICÍPIOS DE UNIÃO, LAGOA ALEGRE,  
SANTA CRUZ DOS MILAGRES, SÃO MIGUEL DO  
TAPUIO E SOCORRO DO PIAUÍ**

**(EMENDA PARLAMENTAR Nº 19350002/2021)**  
**MUNICÍPIO SÃO MIGUEL DO TAPUIO – PI**

---

**AUTOR**

Homero Reis de Melo Junior



---

TERESINA - PI  
2022

## CRÉDITOS TÉCNICOS

### Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

### Divisão de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

### Superintendente Regional de Belém

Jânio Souza Nascimento

### Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial de Manaus

Homero Reis de Melo Junior

### Chefe da Residência Teresina

Gilberto Antônio Neves Pereira da Silva

### Assistente de Hidrologia e Gestão Territorial Teresina

Jean Ricardo da Silva Nascimento

### Autoria

Homero Reis de Melo Junior

### Colaboração

Anélio Ibiapino da Rocha

Lenilson José Souza de Queiroz

Cipriano Gomes de Oliveira

### Apoio

Irinéa Barbosa da Silva e Beatriz Siqueira (Revisão Textual)

Isabel Ângela dos Santos Matos (Normalização Bibliográfica)

Washington José Ferreira dos Santos (Projeto Gráfico)

Lucas Victor de Alcântara Estevão (Editoração da capa)

Andrea Machado de Souza (Diagramação)

Fotos: Estudos *in loco* para caracterização das áreas selecionadas para implantação de aterros sanitários.  
Créditos: Homero Reis de Melo Junior.

---

## Serviço Geológico do Brasil – CPRM

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

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

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M528e

Melo Junior, Homero Reis de.

Estudo para seleção de áreas apropriadas para a instalação de aterros sanitários nos municípios de União, lagoa Alegre, Santa Cruz dos Milagres, São Miguel do Tapuio e Socorro do Piauí: emenda parlamentar n. 19350002/2021, município de São Miguel do Tapuio, PI / Homero Reis de Melo Junior – Teresina: CPRM, 2022.

1 recurso eletrônico : PDF

ISBN 978-65-5664-333-5

1. Aterro Sanitário. 2. Solo – Uso. I. Título.

CDD 628.44564

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB - 7 / 5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM  
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

# APRESENTAÇÃO

---

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

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, com 90%.

O Serviço Geológico do Brasil CPRM, em apoio à PNRS, vem atuando, ao longo das duas últimas décadas, no atendimento às demandas das prefeituras municipais para a seleção de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários, em consonância com a Norma NBR 13.896, estabelecida, em 1997, 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 municipais no estado do Piauí (União, Lagoa Alegre, Santa Cruz dos Milagres, São Miguel do Tapuí e Socorro do Piauí), por intermédio dos recursos disponibilizados pela **Emenda Parlamentar 19350002/2021**.

**Cassiano de Souza Alves**  
Diretor-Presidente interino

**Alice Silva de Castilho**  
Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

# SUMÁRIO

---

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
2. ESTUDOS REALIZADOS .....	3
3. RESULTADOS OBTIDOS.....	5
3.1. Definição dos critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário.....	5
3.2. Definição do centro produtor de lixo. ....	5
3.3. Estimativa da população municipal em 20 anos. ....	5
3.4. Estimativa da produção de resíduos domiciliares (RDO) em 20 anos .....	6
3.5. Cálculo da área mínima necessária do aterro .....	7
3.6. Avaliação prévia da profundidade do nível estático dos poços cadastrados no SIAGAS.....	8
3.7. Indicação de áreas elegíveis por modelagem matemática .....	8
3.8. Caracterização das áreas elegíveis .....	10
3.8.1. Área 1.....	10
3.8.2. Área 2.....	11
3.8.3. Área 3.....	12
3.8.4. Área 4.....	14
3.8.5. Área 5 .....	16
3.9. Análise comparativa e classificação das áreas diante dos critérios estabelecidos. ....	17
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	22
REFERÊNCIAS.....	23

# 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

---

A preocupação com a geração e a destinação de resíduos sólidos tem sido discutida há algumas décadas em âmbito global, principalmente, devido à expansão da consciência coletiva com relação ao meio ambiente. Assim, a complexidade das atuais demandas ambientais, sociais e econômicas induz a um novo posicionamento nacional nos três níveis de governo, na sociedade civil e na iniciativa privada (IBAMA, 2019).

A aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12305 de 2 de agosto de 2010, após 21 anos de discussões no Congresso Nacional, marcou o início de uma forte articulação institucional envolvendo os três entes federados - União, estados e municípios, o setor produtivo e a sociedade em geral - na busca de soluções para os problemas na gestão dos resíduos sólidos que comprometem a qualidade de vida dos brasileiros. A aprovação da PNRS qualificou e deu novos rumos à discussão sobre o tema (IBAMA, 2019).

No Brasil, tradicionalmente, ocorre a competência do município sobre a gestão dos resíduos sólidos produzidos em seu território, incluindo-se os provenientes dos serviços de saúde, com exceção daqueles de natureza industrial.

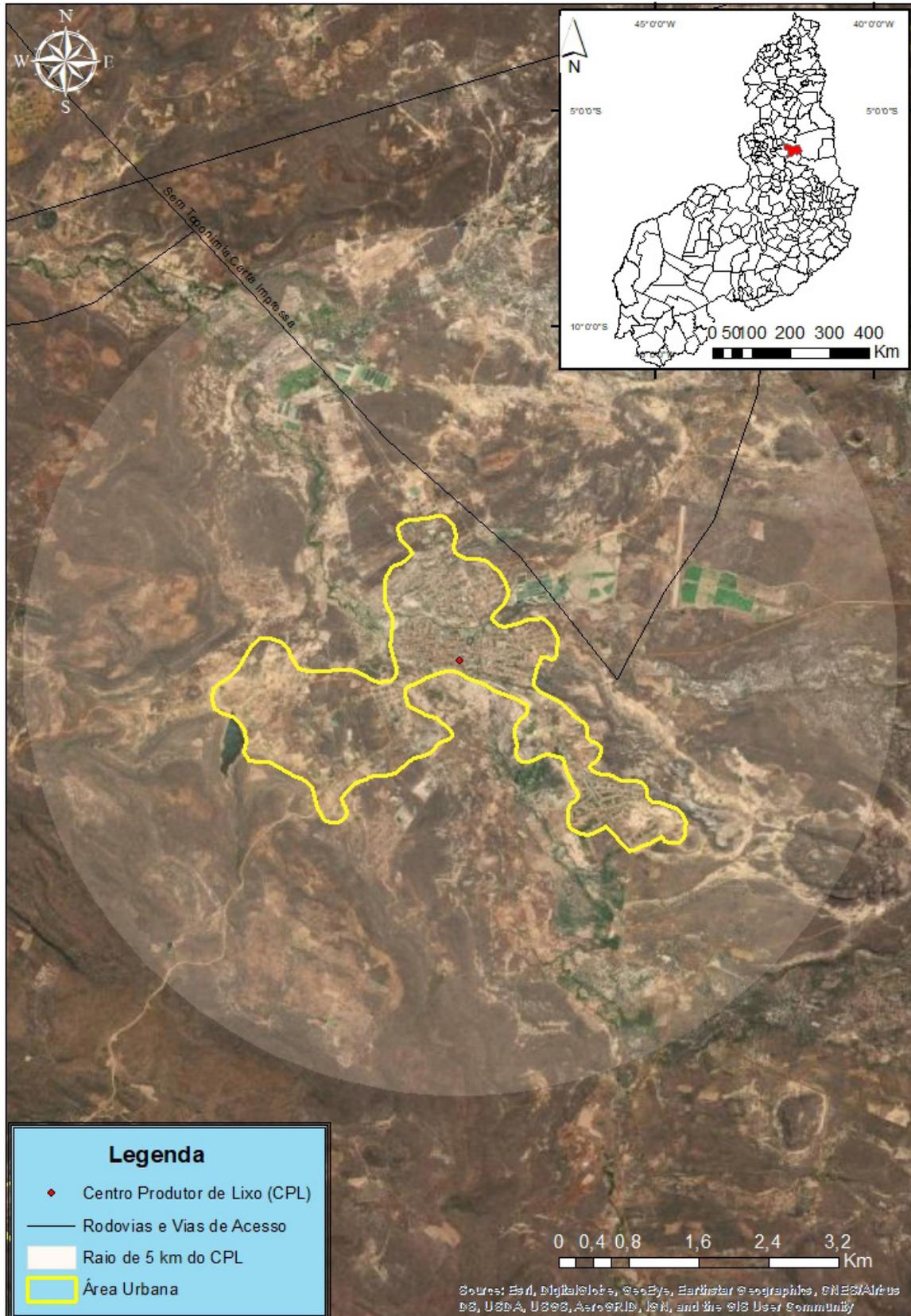
O município tem competência para estabelecer o uso do solo em seu território, portanto, é ele quem emite as licenças para construção e alvará de localização para o funcionamento de qualquer atividade, instrumentos indispensáveis para a localização, construção, instalação, ampliação e operação de empreendimentos em seu território. Dessa forma, o município pode estabelecer parâmetros ambientais para a concessão ou não das licenças e alvarás. A lei federal que criou o licenciamento ambiental (Lei nº 6938/1981), quando menciona que a licença ambiental é exigível sem prejuízo de outras licenças possíveis, já prevê a possibilidade de que os municípios exijam licenças municipais (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Os procedimentos e os métodos para disposição final dos resíduos sólidos têm evoluído com o progresso do conhecimento sobre os efeitos e as consequências da disposição direta sobre os solos, o comportamento geomecânico dos maciços de resíduos e as soluções técnicas de engenharia para construção e operação dos aterros (ABGE, 2018).

A forma mais adequada, técnica e ambientalmente, de disposição dos resíduos sólidos domiciliares e de limpeza urbana são os aterros sanitários, definidos como a “técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança minimizando os impactos ambientais, método que utiliza os princípios da engenharia, como impermeabilização do solo, cercamento, sistema de drenagem de gases, águas pluviais e lixiviado, além da ausência de catadores, garantindo o confinamento dos resíduos e rejeitos na menor área possível e reduzindo-os ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”, conforme descrito pela Norma NBR 8419 (ABNT, 1992).

O principal objetivo do estudo realizado no município de São Miguel do Tapuio (PI) foi a seleção de área adequada para a implantação do aterro sanitário municipal, de acordo com a Norma NBR 13.896/1997 da ABNT e as legislações federal e estadual vigentes (Figura 1.1).

O presente relatório faz parte de uma série de estudos que visam à seleção de áreas apropriadas para a instalação de aterros sanitários municipais em cinco municípios do estado do Piauí: União, Lagoa Alegre, Santa Cruz dos Milagres, São Miguel do Tapuio e Socorro do Piauí, por intermédio dos recursos financeiros disponibilizados pela Emenda Parlamentar Federal nº: 19350002/2021.



**Figura 1.1** - Mapa de localização do município de São Miguel do Tapuio - PI. Localização do centro produtor de lixo (CPL) e raio de 5 km de abrangência para a coleta de resíduos domiciliares (RDO)..

## 2. ESTUDOS REALIZADOS

Os procedimentos metodológicos utilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para selecionar áreas adequadas à instalação de aterros sanitários municipais em todo o território nacional têm por base a Norma NBR 13.896 da 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 no Quadro 2.1. A descrição detalhada dos materiais e métodos adotados para esse 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).

**Quadro 2.1** - Fluxo de trabalho adotado pelo SGB - CPRM para a seleção adequada de áreas para aterros sanitários municipais baseada na Norma NBR 13.896 da ABNT (1997).

ETAPA 1	
ESTUDOS INDIRETOS (ESCRITÓRIO – PRÉ-CAMPO)	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 para o aterro.
	Indicação de áreas por modelagem matemática.
	Avaliação prévia da profundidade do nível estático dos poços cadastrados no SIAGAS.
ETAPA 2	
ESTUDOS DIRETOS (COLETA DE PARÂMETROS EM CAMPO)	Avaliação <i>in loco</i> da profundidade do nível estático (poços do tipo cacimba e tubulares).
	Teste de infiltração pelo método “ <i>open end hole</i> ”.
	Avaliação da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ).
ETAPA 3	
ANÁLISES LABORATORIAIS	Análise granulométrica de solo/sedimento.
	Análise mineralógica – DRX.
ETAPA 4	
CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS (ESCRITÓRIO – PÓS-CAMPO)	Análise comparativa e classificação das áreas considerando os critérios estabelecidos.

Fonte: elaborada pelos autores.

Os estudos diretos compreenderam a coleta de parâmetros em campo, visando à determinação da profundidade do lençol freático diretamente em poços dos tipos cacimba e tubulares, definição dos tipos de solos predominantes e execução de testes de infiltração para determinar a condutividade hidráulica da zona vadosa (não saturada). Nessa etapa, também foram coletadas amostras de solos inconsolidados para análises laboratoriais, retirados nas sondagens a trado, para determinação da granulometria e da mineralogia dos constituintes dos solos da área avaliada.

Para os testes de infiltração, foi utilizado o método “*open end hole*” (FIORI, 2010). Os ensaios foram realizados com auxílio de um trado motorizado para execução das sondagens às profundidades de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m.

Para revestir os furos foram utilizados tubos de plástico PVC com 75 mm de diâmetro e os respectivos comprimentos para preencher cada um dos três furos. Em seguida, os furos foram saturados com água e medido, em cada um, o rebaixamento, ao longo do tempo, com cronômetro digital para, posteriormente, aplicar os dados coletados em campo na Equação 2.1, para identificar a condutividade hidráulica da zona não saturada ( $K_v$ ).

$$K_v = 2,303 * \left(\frac{R}{4\Delta t}\right) * \text{Log} \frac{h_1}{h_0} \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo: R o raio do tubo de PVC,  $\Delta t$  o intervalo de tempo avaliado,  $h_1$  a altura da coluna d'água final e  $h_0$  a altura da coluna d'água inicial

Os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) foram obtidos nas três profundidades investigadas (0,5 m, 1,0 m e 1,5 m), cujos resultados foram classificados de acordo com Fetter (1988).

A análise granulométrica foi realizada por meio do método de peneiramento, desenvolvido com a utilização de peneiras metálicas com malhas específicas. No método, as peneiras são encaixadas umas nas outras formando uma coluna de peneiras, o que permite a retenção gradual do material com dimensões de interesse. A ordem das peneiras é estabelecida de acordo com a abertura das malhas de forma decrescente, do topo para base, e, na porção basal, é instalada uma bandeja para reter o material que atravessou toda a coluna (DIAS, 2004). A escolha da série de peneiras para análise granulométrica estabelece os intervalos de interesse, normalmente, as malhas são definidas em 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm e 0,063 mm, com a finalidade de identificar as frações granulométricas mais grossas, das quais destacam-se o cascalho e a areia. A determinação dos teores de silte e de argila é feita pelo método da sedimentação/pipetagem.

Após o empilhamento, as peneiras são agitadas por um “agitador de peneiras”, que confere movimentos mecânicos de alta frequência, proporcionando o deslocamento lateral e descendente do material constituinte dos solos, a fim de acumular as frações granulométricas estabelecidas pela malha de cada peneira (DIAS, 2004).

A classificação granulométrica foi realizada de acordo com a proposta feita por Wentworth (1922), adotando a Norma NBR 7181 (ABNT, 2016); enquanto os intervalos de granulometria utilizados para classificar os solos seguem a metodologia estabelecida pela Norma NBR 6.502 (ABNT, 1995).

Para determinar a composição dos minerais constituintes da zona vadosa dos solos nas áreas investigadas, foi utilizado o método de difração de raios X, por intermédio de um difratômetro de raios X, no Laboratório de Análises Mineraias, (Lamin), da Superintendência Regional de Manaus. O modelo utilizado foi o X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da Panalytical, com goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios X cerâmico de anodo de Cu ( $K\alpha_1$  1,5406 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, X'Ceerator.

Após a execução das etapas de escritório (métodos indiretos) e de campo (métodos diretos), associadas aos dados das análises de laboratório, foi possível aplicar a metodologia para a seleção da área com maior viabilidade para a implantação do aterro sanitário municipal. Para ilustrar a classificação das áreas avaliadas de forma didática, Krebs *et al.* (1999) as separou em três classes: **favoráveis, medianamente favoráveis e desfavoráveis** para a implantação de aterros sanitários.

Utilizou-se do geoprocessamento para integração dos dados e extração de informações para a aplicação dos critérios e seleção das áreas favoráveis. A indicação das áreas favoráveis foi obtida por modelagem matemática (*Model Builder* + Análise Hierárquica do Processo - AHP).

### 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 rigorosos, 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 13.896 da ABNT (1997), a qual institui critérios técnicos, ambientais, econômico-financeiros e político-sociais, enfatizando os de maior prioridade. A seleção deve ser precedida de análise individual da área selecionada com relação a cada um dos diversos elementos apresentados, fornecendo uma 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 por meio da implantação de soluções de engenharia.

#### 3.2. DEFINIÇÃO DO CENTRO PRODUTOR DE LIXO

O centro produtor de lixo de São Miguel do Tapuio compreende, principalmente, a sua zona urbana, considerando-se, sobretudo, que essa região concentra cerca de 37% da população, além disso, nesta zona ocorre coleta regular de resíduos domiciliares (RDO) (ESTADOS E CIDADES, 2022).

Neste estudo, considera-se que a produção de lixo ocorra de forma homogênea na zona urbana de São Miguel do Tapuio, uma vez que suas dimensões correspondem a um polígono bastante irregular, conforme a Figura 3.1. 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, o raio de 10 km geralmente é definido como a distância máxima viável economicamente do centro produtor para a área do aterro sanitário. Entretanto, no presente estudo, a distância máxima de 5 km foi considerada ideal, devido, principalmente, às dimensões reduzidas de São Miguel do Tapuio.

#### 3.3. ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO MUNICIPAL EM 20 ANOS

Para determinar a área necessária para o aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio, foi estimado o crescimento demográfico exponencial de sua população urbana durante um período de 30 anos, com base nos dados censitários de 1991 a 2021 (Tabela 3.1), assim como, a produção de resíduos ao longo de sua vida útil (Tabela 3.2). Um fato muito interessante observado em relação à demografia do município, foi o decréscimo populacional entre os anos de 1991 a 2021, apontado na Tabela 3.1, da ordem de 1,02%/ano.

**Tabela 3.1** - População urbana estimada e verificada para o município de São Miguel do Tapuio nos anos de 1991, 2000, 2010 e 2021.

Censo/Estimativa (Ano)	População Estimada/Verificada (Nº de Habitantes)
1991	9151
2000	6946
2010	6710
2021	6518

Fonte: IBGE (2022).

### 3.4. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES (RDO) EM 20 ANOS

Para estimar a produção de resíduos sólidos domiciliares para os próximos 20 anos, considerando o decréscimo populacional verificado, considerou-se que a população de São Miguel do Tapuio deve permanecer constante até o ano de 2030, ocorrendo crescimento demográfico exponencial de 0,5%/ano até 2041. Essa situação foi considerada para evitar um subdimensionamento da área do aterro, em função do constante decréscimo populacional de 1,02% verificado nos anos anteriores, avaliando-se que essa decisão não irá impactar de forma significativa em relação ao tamanho da área do aterro e aos custos de operação. Para estimar a produção de resíduos sólidos domiciliares para os próximos 20 anos, considerando o decréscimo populacional verificado, considerou-se que a população de São Miguel do Tapuio deve permanecer constante até o ano de 2030, ocorrendo crescimento demográfico exponencial de 0,5%/ano até 2041.

O volume de resíduos sólidos domiciliares produzido e aterrado, considerando-se que a densidade do lixo compactado e armazenado varia em torno de 0,75 ton/m<sup>3</sup> (IPT, 2018), ao aplicar essa relação ao volume total identificado de 69.539,55 toneladas (Tabela 3.2), deve atingir a grandeza de 92.719,40 m<sup>3</sup>.

**Tabela 3.2** - População urbana estimada e produção de resíduos sólidos domiciliares (RDO) estimada para os anos de 2021 a 2041 na zona urbana do município de União.

Ano	População urbana estimada	Produção per capita/dia	Produção de lixo (kg/dia)	Produção de lixo (ton/dia)	Produção de lixo (kg/ano)	Produção de lixo (ton/ano)
2021	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2022	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2023	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2024	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2025	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2026	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2027	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2028	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2029	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2030	6.518	1,37	8.929,66	8,93	3.259.326	3.259,33
2031	6.551	1,37	8.974,31	8,97	3.275.623	3.275,62
2032	6.583	1,37	9.019,18	9,02	3.292.001	3.292,00
2033	6.616	1,37	9.064,28	9,06	3.308.461	3.308,46
2034	6.649	1,37	9.109,60	9,11	3.325.003	3.325,00
2035	6.683	1,37	9.155,15	9,16	3.341.628	3.341,63
2036	6.716	1,37	9.200,92	9,20	3.358.336	3.358,34
2037	6.750	1,37	9.246,93	9,25	3.375.128	3.375,13
2038	6.783	1,37	9.293,16	9,29	3.392.003	3.392,00
2039	6.817	1,37	9.339,63	9,34	3.408.963	3.408,96
2040	6.851	1,37	9.386,32	9,39	3.426.008	3.426,01
2041	6.886	1,37	9.433,26	9,43	3.443.138	3.443,14
		<b>SOMA</b>	<b>190.519</b>	<b>190,52</b>	<b>69.539.551</b>	<b>69.539,55</b>

Fonte: elaborada pelos autores.

### 3.5. CÁLCULO DA ÁREA MÍNIMA NECESSÁRIA DO ATERRO

Para determinar a área necessária do aterro sanitário, deve-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, 2018). Assim, o volume acumulado do material de cobertura ao final de 20 anos, no município de São Miguel do Tapuio, deverá atingir 18.543,88 m<sup>3</sup> (correspondente a 92.719,40 x 0,2). Logo, o volume total de material aterrado deve ser da ordem de 111.263,28 m<sup>3</sup>.

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 consiste, 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 sanitário do município de São Miguel do Tapuio, 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 a população urbana de São Miguel do Tapuio atinja a marca de 6.886 habitantes, e que cada morador produza uma quantidade de lixo, de acordo com a estimativa regional, de 1,37 kg/dia, conforme apresentado na Tabela 3.1. Para calcular a área necessária para o referido aterro, ao longo de 20 anos de vida útil, foi considerada, no fator produção diária de lixo (ton/dia), a mediana desse valor, que é 8,97 ton/dia, em função da produção inicial de resíduos, na ordem de 8,93 ton/dia, que foi rapidamente ultrapassada; entretanto, a produção final de resíduos, em torno de 9,43 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 considera-se a mediana para o parâmetro mencionado.

Portanto, a área necessária para o aterro é de 5.025,61 m<sup>2</sup> ou 0,5 hectares, conforme apresentado na Equação 3.1:

$$\text{Área do aterro} = \text{mediana da produção diária de lixo (ton/dia)} \times \text{fator de construção dos taludes (560)} \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$\text{Área} = 8,97 \times 560 = 5.023,20 \text{ m}^2 = 0,5 \text{ hectares.}$$

Como a região das celas de disposição deve corresponder a 80% do aterro, em caso da disposição por projeção de taludes, a área total necessária para a instalação do aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio corresponderá a 0,6 hectares.

Caso o processo de disposição dos resíduos seja executado pelo método de trincheiras ou valas, que consiste na escavação de pequenos canais, com posterior preenchimento dos mesmos com resíduos e com material de cobertura até a superfície do terreno, considera-se que os resíduos sejam enterrados em uma espécie de paralelepípedo, cujas valas sejam preenchidas por etapas e possuam dimensões de 5 m x 5 m x 5 m. O Guia de Procedimentos Técnicos para Seleção e Caracterização de Áreas Adequadas para Instalação de aterros sanitários (MELO JUNIOR *et al.*, no prelo) detalha as formas e dimensões das trincheiras. Para se determinar a área total necessária para o acondicionamento de resíduos adicionado ao 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 à Equação 3.2:

$$A = \frac{VRDO}{H_t} \quad (\text{Equação 3.2})$$

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-se que a área de disposição dos RDOs corresponde, no máximo, a 80% da área do aterro e que as demais áreas de servidão, como o cinturão de vegetação, estradas internas, galpões, instalações de escritório e balança, dentre outros, correspondam aos 20% restantes das instalações, a Tabela 3.3 apresenta as dimensões necessárias para o aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio, caso a disposição dos RDOs seja realizada dessa forma.

**Tabela 3.3** - Área total das trincheiras e área total do aterro estimado de acordo com as profundidades e volumes das trincheiras das trincheiras.

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	55631,64	5,56	66757,97	6,68
3	75	37087,76	3,71	44505,31	4,45
4	100	27815,82	2,78	33378,98	3,34
5	125	22252,66	2,23	26703,19	2,67

Fonte: elaborada pelos autores.

Dessa forma, a área total necessária para a instalação do aterro corresponde a 2,67 hectares, considerando-se a área de cada trincheira de 25 m<sup>2</sup>.

### 3.6. AVALIAÇÃO PRÉVIA DA PROFUNDIDADE 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), constatando-se a existência de 322 poços cadastrados, nos limites de São Miguel do Tapuio, com dados de nível estático disponíveis. Entretanto, para a avaliação do presente estudo foram considerados somente os poços existentes no raio aproximado de 5 km de distância do centro produtor de lixo (CPL), totalizando 65 poços. A profundidade do nível estático verificada varia de 1,10 m a 44,0 m de profundidade, com valores médios de 9,66 m e mediana de 7,0 m.

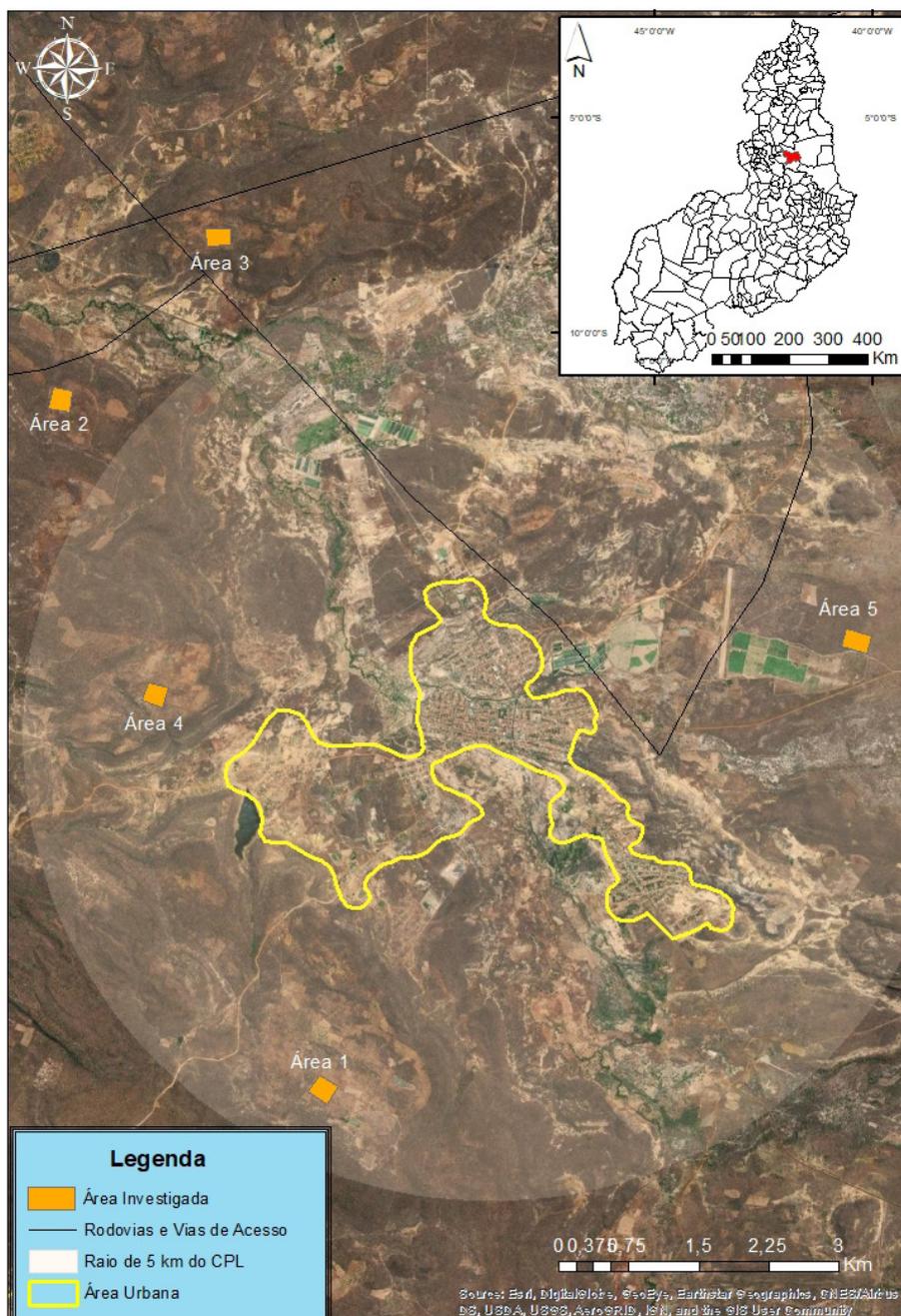
### 3.7. INDICAÇÃO DE ÁREAS ELEGÍVEIS POR MODELAGEM MATEMÁTICA

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 cinco áreas em um raio inferior a 5 km de distância, a partir do centro produtor de lixo (CPL), localizado no centro urbano de São Miguel do Tapuio, cujas dimensões e localização são apresentadas na Tabela 3.4, assim como na Figura 3.1.

**Tabela 3.4** - Dimensões das áreas investigadas nos levantamentos de campo realizados no raio aproximado de 5 km do CPL da cidade de São Miguel do Tapuio.

Áreas investigadas	Dimensões (m <sup>2</sup> )	Dimensões (Ha)	Distância aproximada do CPL (km)
Área 1	55.750	5,58	5,68
Área 2	53.088	5,31	7,94
Área 3	48.433	4,84	6,79
Área 4	50.830	5,08	4,33
Área 5	53.568	5,68	4,66

Fonte: elaborada pelos autores.



**Figura 3.1** - Mapa de localização das áreas avaliadas para implantação de aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio - PI. Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.8. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ELEGÍVEIS

#### 3.8.1. Área 1

A Área 1 está localizada a sudoeste da zona urbana de São Miguel do Tapuio, a cerca de 5,70 km do centro produtor de lixo, com acesso por estradas vicinais no sentido ao município de Santa Cruz dos Milagres. O poço cadastrado no banco de dados SIAGAS, sob o número 2200023090, é o mais próximo da Área 1, localizado a cerca de 1.700 m de distância, e o nível estático registrado é de 33 m de profundidade. Na área, foi realizado o furo de trado FT-01 para realizar testes de infiltração, conforme pode ser observado nas Figuras 3.2 e 3.3.



**Figura 3.2** - Execução do FT-01.  
Foto: acervo dos autores.



**Figura 3.3** - Furos de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m revestidos com tubos de PVC com 75 mm de diâmetro, para serem executados os testes de infiltração.  
Foto: acervo dos autores.

Os dados de rebaixamento do nível da água nas sondagens realizadas são apresentados na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5** - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 01.

FT - 01					
Tempo (minutos)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)
1	6,00	1	0,20	1	0,10
2	11,00	2	0,20	2	0,10
3	15,50	3	0,50	3	0,20
4	19,00	4	0,50	4	0,20
5	22,00	5	0,50	5	0,30
6	25,50	6	0,60	6	0,30
7	28,50	7	0,60	7	0,50
8	29,50	8	0,70	8	0,50
9	31,00	9	0,70	9	0,50
10	32,50	10	0,80	10	0,50
15	37,00	15	1,20	15	0,60
20	41,50	20	1,50	20	0,90

Fonte: elaborada pelos autores.

A Tabela 3.6 apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e as medianas agrupadas.

**Tabela 3.6** - Valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidos nas três profundidades investigadas no FT - 01.

	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	FT-01	
				Mediana	Média
$K_v$ (cm/seg)	0,00015112	0,00015744	0,000171689	0,00015744	0,00016008
$K_v$ (m/seg)	0,00000151	0,00000157	1,71689E-06	0,00000157	0,00000160
$K_v$ (m/dia)	0,130564065	0,136030461	0,148339384	0,13603046	0,13831130

Fonte: elaborada pelos autores.

Os valores de  $K_v$  medianos ( $1,57 \times 10^{-4}$  cm/seg ou 0,14 m/dia) identificados para os testes da Area 1 caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de  $1,60 \times 10^{-6}$  m/seg, enquadrando-se como silte arenoso ou areia fina siltosa. Nas análises granulométricas realizadas, foram identificadas frações correspondentes à areia (~85%), com predominância de areia média e muito fina, com pouca argila, conforme pode ser verificado no Apêndice B (Quadro B.1).

Foi identificada, no FT-01, a predominância de solos arenosos onde se destacam, fato corroborado pelas análises de difração de raios X, em que o principal mineral identificado foi o quartzo, acompanhado por outros minerais em menor quantidade e não identificados, conforme apresentado no difratograma do Apêndice B (Quadro B.2). A profundidade do nível estático foi identificada no poço 2200023090 do banco de dados do SIAGAS, distante cerca de 1.700 m do local onde foi executado o FT-01, considerando que nas proximidades não foi verificado nenhum poço. O valor registrado no nível estático é de 33,0 m de profundidade.

### 3.8.2. Área 2

A segunda área avaliada está localizada a noroeste da zona urbana do município, localizada a aproximadamente 7,9 km do centro produtor de lixo. A cerca de 470 metros da Área 2, foi identificado um poço tubular (Figura 3.4), cuja profundidade verificado nível estático foi de 8,28 m.

Na área, foi realizado o furo de trado FT-02 para executar o teste de infiltração de acordo com a Figura 3.5. Os dados de rebaixamento do nível da água, nas sondagens do FT-02, são apresentados na Tabela 3.7.



**Figura 3.4** - Medição do nível estático em poço tubular.  
Foto: acervo dos autores



**Figura 3.5** - Furos de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m revestidos com tubos de PVC com 75 mm de diâmetro, para serem executados os testes de infiltração.  
Foto: acervo dos autores.

**Tabela 3.7** - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 02.

FT-02					
Tempo (minutos)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,3 m (rebaixamento em cm)
1	1,00	1	2,00	1	0,50
2	2,50	2	3,00	2	0,80
3	4,50	3	4,50	3	1,60
4	5,50	4	6,40	4	2,00
5	6,70	5	7,20	5	2,10
6	7,60	6	8,00	6	2,90
7	9,10	7	9,30	7	3,10
8	9,80	8	10,00	8	3,50
9	11,00	9	12,00	9	4,10
10	12,50	10	12,50	10	4,40
15	17,50	15	17,50	15	6,50
20	21,50	20	22,00	20	8,60

Fonte: elaborada pelos autores.

A Tabela 3.8 apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e medianas agrupadas.

**Tabela 3.8** - Valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidas nas três profundidades investigadas no FT - 02.

	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	FT-02	
				Mediana	Média
$K_v$ (cm/seg)	0,00023973	0,00001874	0,000222299	0,00022230	0,00016026
$K_v$ (m/seg)	0,00000240	0,00000019	2,22299E-06	0,00000222	0,00000160
$K_v$ (m/dia)	0,20713089	0,01618871	0,192065986	0,19206599	0,13846186

Fonte: elaborada pelos autores.

Os valores de ( $K_v$ ) medianos ( $2,22 \times 10^{-4}$  cm/s ou 0,19 m/dia) identificados para os testes do FT-02 da Área 2 caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de  $1,60 \times 10^{-6}$  m/seg enquadrando-se como silte arenoso, areia fina e areia siltica.

Nas análises granulométricas realizadas, foram identificados solos correspondentes à areia, perfazendo 76,00% do total analisado, com forte predominância da fração muito fina, com conteúdo de argila e de silte de apenas 24% (Apêndice B – Quadro B.1).

A análise mineralógica por difração de raios - X confirmou a predominância de solos arenosos no FT-02, pois, conforme apresentado no difratograma, há predominância de quartzo, com minerais secundários não identificados em menores quantidades (Apêndice B – Quadro B.2).

### 3.8.3. Área 3

A Área 3 está localizada a noroeste da zona urbana de São Miguel do Tapuio, com dimensões aproximadas de 4,84 hectares, a cerca de 6,8 km do centro produtor de lixo. Nas proximidades da área, nenhum poço cadastrado no SIAGAS foi identificado, sendo o mais próximo localizado na localidade de Currelino sob o nº 2200023090, cuja profundidade do nível estático cadastrada é de apenas 2,0 m. Foi executada a sondagem FT-03 para a realização dos testes de infiltração (Figura 3.6).



**Figura 3.6** - Execução do teste de infiltração no FT-03. Foto: acervo dos autores.

A Tabela 3.9 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 3.10 ilustra os valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidos nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e as medianas agrupadas.

**Tabela 3.9** - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 03.

FT-03					
Tempo (minutos)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)
1	4,00	1	0,01	1	0,10
2	5,60	2	0,00	2	0,10
3	7,20	3	0,10	3	0,10
4	8,90	4	0,10	4	0,10
5	10,20	5	0,20	5	0,10
6	12,00	6	0,40	6	0,20
7	13,50	7	0,60	7	0,20
8	15,00	8	0,80	8	0,30
9	16,00	9	0,90	9	0,30
10	17,00	10	1,00	10	0,40
15	22,00	15	1,50	15	0,60
20	26,80	20	2,00	20	0,80

Fonte: elaborada pelos autores.

**Tabela 3.10** - Valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidas nas três profundidades investigadas no FT - 03.

	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	FT-04	
				Mediana	Média
$K_v$ (cm/seg)	0,00014863	0,00041401	0,00016249	0,00016249	0,00024171
$K_v$ (m/seg)	0,00000149	0,00000414	1,6249E-06	0,00000162	0,00000242
$K_v$ (m/dia)	0,12841539	0,35770087	0,1403876	0,14038760	0,20883462

Fonte: elaborada pelos autores.

Os valores de ( $K_v$ ) medianos ( $1,62 \times 10^{-4}$  cm/seg ou 0,14 m/dia), identificados para os testes do FT-03 da Área 3, caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de  $2,42 \times 10^{-6}$  m/seg, enquadrando-se como silte arenoso, areia fina e areia siltica.

Nas análises granulométricas realizadas, foram identificados solos constituídos por areia, correspondendo a 54,2% do total analisado, com predominância de fração muito fina, com considerável conteúdo de argila e de silte, correspondendo a 45,8% (Apêndice B – Quadro B.1).

O difratograma ilustra o quartzo como mineral predominante nas amostras coletadas no FT-03, ocorrendo ainda caulinita e minerais em menor quantidade não identificados (Apêndice B – Quadro B.2).

#### 3.8.4. Área 4

A Área 4 está localizada a noroeste de São Miguel do Tapuio, com acesso por meio de estrada vicinal em sentido à comunidade de Carnaubalzinho, distante 4,33 km do CPL. Possui cerca de 5,08 hectares de dimensão, onde foi executado o FT-04 para coleta de amostras de solos e execução do teste de infiltração (Figura 3.7). A cerca de 1.100 m do vértice da Área 4, está cadastrado um poço no SIAGAS, sob o nº 2200023340”, cuja profundidade do nível estático registrada é de 30,0 m.



**Figura 3.7** - Execução do teste de infiltração na Área 4. Foto: acervo dos autores.

A Tabela 3.11 apresenta os dados de rebaixamento do nível da água durante a execução dos testes de infiltração, nas sondagens de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m de profundidade realizados no FT-04.

**Tabela 3.11** - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT-04.

FT - 04					
Tempo (minutos)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)
1	0,70	1	2,00	1	0,80
2	1,50	2	3,20	2	1,10
3	2,40	3	4,70	3	1,90
4	3,00	4	6,50	4	2,20
5	3,70	5	8,10	5	2,80
6	4,50	6	8,60	6	3,40
7	5,20	7	10,00	7	4,00
8	6,30	8	11,60	8	4,40
9	6,90	9	12,40	9	5,00
10	7,50	10	14,00	10	5,00
15	10,60	15	19,00	15	7,50
20	13,00	20	25,00	20	9,80

Fonte: elaborada pelos autores.

Na Tabela 3.12, 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 3.12** - Valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidos nas três profundidades investigadas no FT-04.

	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	FT-04	
				Mediana	Média
$K_v$ (cm/seg)	0,00511376	0,00019736	0,00019578	0,00019736	0,00183563
$K_v$ (m/seg)	0,00005114	0,00000197	1,9578E-06	0,00000197	0,00001836
$K_v$ (m/dia)	4,41829194	0,1705174	0,16915348	0,17051740	1,58598761

Fonte: elaborada pelos autores.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3.12, a condutividade hidráulica vertical mediana identificada foi de  $1,97 \times 10^{-4}$  cm/seg ou 0,17 m/dia, que representa um valor médio de  $1,84 \times 10^{-6}$  m/seg. Os valores identificados no FT-05 correspondem a silte arenoso, areia fina ou areia siltica.

Nas análises granulométricas, foram identificados 77% de teor de areia nas mostras do FT-05, com predominância da granulometria muito fina (59%), acompanhada de silte (21%) (Apêndice B – Quadro B.1).

O difratograma ilustra o quartzo como mineral predominante nas amostras coletadas no FT-04, seguido de caulinita e demais minerais não identificados em menor quantidade, corroborando os resultados identificados nas análises granulométricas (Apêndice B – Quadro B.2).

### 3.8.5. Área 5

A quinta área avaliada no município de São Miguel do Tapuio possui dimensões aproximadas de 5,68 hectares e está localizada a nordeste de sua sede urbana, a cerca de 4,66 km do centro produtor de lixo, via saída pela Rodovia PI-115, sentido para a comunidade do Tamboril. Na Área 5 foi executado o FT-05 e realizado o teste de infiltração (Figura 3.8). Na Fazenda São Luiz, está cadastrado no banco de dados SIAGAS o poço 2200018280, cujo nível estático registrado é de 13,83 m e se encontra a 190 m da Área 5.



**Figura 3.8** - Execução do FT-05. Foto: acervo dos autores.

Os dados de rebaixamento do nível da água nas sondagens são apresentados na Tabela 3.13.

**Tabela 3.13** - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT-05.

FT - 05					
Tempo (minutos)	Sondagem 0,5 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,0 m (rebaixamento em cm)	Tempo (minutos)	Sondagem 1,5 m (rebaixamento em cm)
1	4,30	1	0,50	1	0,70
2	7,70	2	9,90	2	1,30
3	10,30	3	13,00	3	1,80
4	14,00	4	17,00	4	2,00
5	17,00	5	21,00	5	2,80
6	19,50	6	26,00	6	3,00
7	22,00	7	29,00	7	3,60
8	25,00	8	31,50	8	4,20
9	27,00	9	35,00	9	4,40
10	29,00	10	38,00	10	5,00
15	39,00	15	50,00	15	6,60
20	50,00	20	61,00	20	8,40

Fonte: elaborada pelos autores.

A Tabela 3.14 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 3.14** - Valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) obtidos nas três profundidades investigadas no FT - 05.

	FT-05				
	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	Mediana	Média
$K_v$ (cm/seg)	0,00019171	0,00037538	0,00019417	0,00019417	0,00025375
$K_v$ (m/seg)	0,00000192	0,00000375	1,9417E-06	0,00000194	0,00000254
$K_v$ (m/dia)	0,16563488	0,3243299	0,16776142	0,16776142	0,21924205

Fonte: elaborada pelos autores.

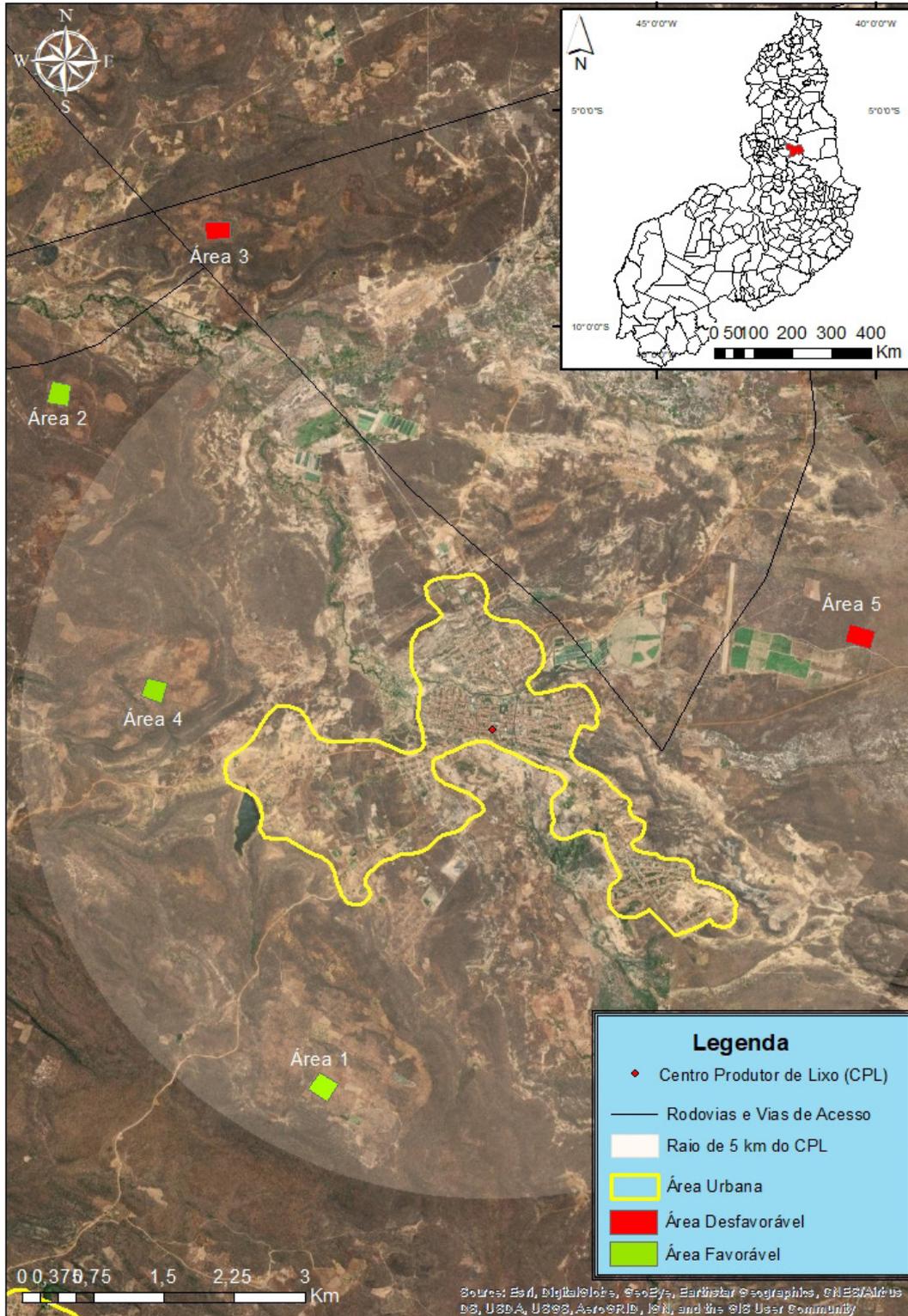
De acordo com a Tabela 3.14, a condutividade hidráulica vertical mediana identificada foi de  $1,94 \times 10^{-4}$  cm/seg ou 0,17 m/dia, que representa um valor médio de  $2,54 \times 10^{-6}$  m/seg. Esses valores de ( $K_v$ ) correspondem a silte arenoso, areia fina ou areia siltica no FT-05, mantendo-se correlacionável ao identificado nos demais testes de infiltração executados.

Nas análises granulométricas, foram identificados 83% de teor de areia nas amostras do FT-05, com predominância das granulometrias fina e muito fina, com baixos teores de cerca de 16% de argila e silte. (Apêndice B – Quadro B.1).

Os principais minerais identificados nas amostras coletadas no FT-05 correspondem ao quartzo, como mineral predominante, seguido de caulinita (Apêndice B – Quadro B.2).

### 3.9. ANÁLISE COMPARATIVA E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS DIANTE DOS CRITÉRIOS ESTABELECIDOS.

Após a análise detalhada das cinco 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 13.896 (ABNT, 1997) e, desta forma, ponderar a(s) área(s) mais adequada(s) para instalação do aterro sanitário municipal. Para ilustrar a classificação das áreas avaliadas de forma didática, Krebs *et al.* (1999) as separou em três classes: **favoráveis, medianamente favoráveis e desfavoráveis** para a implantação de aterros sanitários (Figura 3.9).



**Figura 3.9** - Mapa de favorabilidade das áreas para instalação do aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio - PI. Fonte: elaborado pelos autores.

Definidas as prioridades e os tipos de atendimento para cada parâmetro avaliado pela norma NBR 13.896 nas cinco áreas avaliadas, de acordo com Monteiro *et al.* (2004), seus níveis de atendimento são apresentados na Tabela 3.15. Em seguida, foram inferidos para as áreas selecionadas os respectivos percentuais de atendimento, conforme apresentado na Tabela 3.16, para finalmente ser obtida a classificação da Tabela 3.17, em valores absolutos.

**Tabela 3.15** - Critérios de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, conforme a NBR 13.896 da ABNT (1997), com os índices de atendimento de cada área pré-selecionada.

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

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

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

**Tabela 3.16** - Porcentagem de atendimento das áreas pré-selecionadas para implantação do aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio, com a Norma NBR. 13.896 da ABNT (1997).

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

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

**Tabela 3.17** - Pontuação final das áreas pré-selecionadas para implantação do aterro sanitário do município de São Miguel do Tapuío, de acordo com a Norma NBR 13.896 da ABNT (1997).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO				
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5
		%	%	%	%	%
Proximidade a cursos d'água	10	10	10	10	10	10
Proximidade a núcleos residenciais	10	10	10	10	10	10
Proximidade a aeroportos	10	5	5	5	5	0
Distância do lençol freático	10	10	10	0	10	10
Distância de núcleos de baixa renda	6	6	6	6	6	6
Vias de acesso com baixa ocupação	6	6	6	6	6	6
Problemas com a comunidade local	6	6	6	6	6	6
Aquisição do terreno	4	4	4	4	4	4
Investimento em infraestrutura	4	4	4	4	4	4
Vida útil mínima	3	3	3	3	3	3
Uso do solo	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
Acesso a veículos pesados	3	3	3	3	3	3
Material de cobertura	3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Manutenção do sistema de drenagem	2	2	2	2	2	2
Distância ao centro de coleta	1	0,5	0,5	0,5	1	1
<b>Pontuação Final das Áreas</b>		<b>78,5</b>	<b>78,5</b>	<b>68,5</b>	<b>79</b>	<b>74</b>

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

Vale destacar que de acordo com os critérios estabelecidos por Krebs *et al.* (1999), as áreas medianamente favoráveis são aquelas cujas medidas mitigadoras são suficientes para que uma área investigada atenda aos critérios técnicos, enquanto que as áreas favoráveis são naturalmente adequadas; as áreas desfavoráveis têm as mesmas características, no entanto, no sentido oposto, não podendo ser corrigida por meio de medidas mitigadoras, como obras estruturantes. Dessa forma, de acordo com os autores, quando um critério técnico não é atendido, a área é automaticamente descartada. Esse fato foi verificado em relação à profundidade do lençol freático na Área 3 (Tabela 3.17), pois o nível estático identificado foi de apenas 2,0 m no poço SIAGAS nº 2200023090. A Área 5, por sua vez, foi descartada em função da proximidade de apenas 1.200 m com o aeródromo municipal, localizado na Fazenda São Luiz. Diante dessa situação, somente as áreas 1, 2 e 4 puderam ser consideradas favoráveis para a instalação do Aterro Sanitário Municipal de São Miguel do Tapuío; pois atenderam a 13 itens (Áreas 1 e 2) e 14 itens (Área 4) 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 13.896 (ABNT, 1997) estabelece que os solos 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  $10^{-4}$  cm/s, de acordo com o que preconiza a referida norma. Por esse motivo, considerou-se que esse fator foi parcialmente atendido em todas as áreas. Outro parâmetro, que atende parcialmente aos critérios estabelecidos pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), é a existência de material de cobertura nas proximidades das áreas avaliadas, em função da predominância de solos arenosos, devido à geologia local.

Em relação ao centro de coleta (CPL), as distâncias verificadas nas áreas 1 e 2 encontram-se um pouco acima de 5,0 km, variando entre 5,68 km e 7,94 km, e, por este motivo, considerou-se que esse critério foi parcialmente atendido, entretanto, está distante de ser um fator impeditivo para a atividade no local.

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 adequada (s) para instalação do referido empreendimento. As Áreas 1 e 2 atingiram o valor final de 78,5 pontos, acompanhadas pela Área 4, que atingiu 79,0 pontos finais. A similaridade na pontuação obtida para as três áreas é um indicativo da homogeneidade dos parâmetros técnicos, econômico-financeiros e político-sociais na região; por este motivo, todas as áreas estão aptas para a instalação do aterro sanitário. Entretanto, por ser a área que obteve a pontuação mais elevada, além de considerar a proximidade com o centro coletor de lixo, a profundidade do nível estático do lençol freático e a facilidade de acesso, a Área 4 foi identificada como a mais adequada para instalação do Aterro Sanitário Municipal de São Miguel do Tapuio.

## 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os estudos realizados no município de São Miguel do Tapuio (PI), 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 abaixo listadas:

- ✓ Para dimensionar a área do aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio 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 apenas 0,16 hectares, enquanto que, na segunda opção recomenda-se a construção de trincheiras com dimensões de 5 m x 5 m x 4 m, correspondendo ao volume de 100 m<sup>3</sup> por trincheira. Para essas dimensões, seria necessária uma área total de 3,34 hectares;
- ✓ Recomenda-se que seja utilizado o sistema de valas ou trincheiras para a disposição final dos resíduos sólidos domiciliares de São Miguel do Tapuio, considerando, principalmente, a população urbana estimada, para 2021, de apenas 6.518 habitantes (37% da população total), cujo coeficiente de crescimento populacional estimado a partir do ano 2031 foi de 0,5%. Considerando-se o decréscimo populacional verificado nos últimos 30 anos, o índice de crescimento exponencial de 0,5% foi utilizado para que a área do aterro não seja subestimada; além ponderar a facilidade de operação para instalar e gerenciar esse tipo de sistema de disposição;
- ✓ O tipo de sedimento dominante nas áreas avaliadas de São Miguel do Tapuio corresponde à areia, equivalente a 75% das amostras analisadas, com predomínio da fração muito fina (40%);
- ✓ 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 caulinita e demais minerais não identificados ocorrendo em menor escala;
- ✓ Os valores de permeabilidade ou condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) dos solos, que constituem a zona não saturada das áreas avaliadas, foram identificados na ordem de 10<sup>-4</sup> cm/s ou 10<sup>-1</sup> m/dia, característicos de solos arenosos, conforme descrito por Fetter (1988) e corroborado pelas análises granulométricas e pelas difrações de raios X;
- ✓ Dentre as cinco áreas avaliadas no município de São Miguel do Tapuio, as áreas 1 e 2 atenderam integralmente a 13 dos 17 critérios avaliados pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), tendo cumprido parcialmente aos demais critérios. A Área 4, por sua vez, atendeu a 14 critérios integralmente;
- ✓ Dessa forma, recomenda-se que o aterro sanitário municipal de São Miguel do Tapuio seja instalado na Área 4, considerando-se a proximidade com o centro coletor de lixo e a facilidade de acesso, além de ter atendido à maioria dos critérios estabelecidos pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997);
- ✓ Não é recomendada a constituição de consórcio intermunicipal para instalação de aterro sanitário que atenda ao município de São Miguel do Tapuio, pois o mesmo possui fronteira mais próxima com as sedes dos municípios de Castelo do Piauí (36,5 km distante) e Assunção do Piauí (54 km distante), Logo, a distância entre as sedes municipais inviabiliza economicamente a celebração de um aterro consorciado;
- ✓ Devido às dimensões e tamanho da população do município de São Miguel do Tapuio, 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 São Miguel do Tapuio utilize o sistema de valas ou trincheiras para a disposição final dos resíduos, cujas dimensões e volume já foram apontados. As bases das trincheiras deverão ser impermeabilizadas com mantas constituídas por polietileno de alta densidade (PEAD), considerando a condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) dos solos constituintes da zona não saturada;
- ✓ Em etapa anterior à elaboração do projeto executivo do aterro, 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;
- ✓ O projeto executivo do aterro deve realizar um estudo de direção dos ventos, a fim de evitar que qualquer tipo de poeira ou poluição do ar atinja estradas, vilas ou localidades próximas ao empreendimento.

## REFERÊNCIAS

---

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Geologia de Engenharia e Ambiental**. São Paulo: ABGE, 2018. v. 3.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- DIAS, J. A. **Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos** (Uma Introdução à Oceanografia Geológica). Faro: Universidade do Algarve, 2004.
- ESTADOS E CIDADES. Informações da População, Educação, Religião e Outros. **São Miguel do Tapuio / PI**. Disponível em: <https://www.estadosecidades.com.br/pi/sao-miguel-do-tapuio-pi.html>. Acesso em: 5 ago. 2022.
- FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 2nd ed. New York: Macmillan, 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. 107f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **São Miguel do Tapuio**: Panorama. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/sao-miguel-do-tapuio/panorama>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 4. ed. - São Paulo: CEMPRE, 2018. 316 p. 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: 10 ago. 2022.
- KREBS, A. S. J.; ADAMY, A.; REIS, M. R. **Alternativas locais para a disposição de resíduos sólidos urbanos na área de Porto Velho**. Porto Velho: CPRM, 1999. 56 p. 6 mapas anexo. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14616>. Acesso em 10 jul. 2022.
- 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**: seleção e caracterização de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários. Brasília: CPRM, 2022. v. 6. Publicação em revisão. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23007>. 17 jul. 2022.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MMA, 2020. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2004. 193 p. Disponível em: [https://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/manual\\_girs.pdf](https://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/manual_girs.pdf). Acesso em: 21 jun. 2022.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and glass terms for clastic sediments. **The Journal of Geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922. DOI: <https://doi.org/10.1086/622910>.

## APÊNDICE 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 à disposição final de resíduos sólidos domiciliares deve atender, no mínimo, aos critérios técnicos impostos pela norma NBR 13.896 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 13.896/1997 da ABNT para seleção de área para implantação de aterro sanitário.

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	<b>Uso do solo</b>	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	<b>Proximidade a cursos d'água relevantes</b>	As áreas não podem situar-se 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	<b>Proximidade a núcleos residenciais urbanos</b>	As áreas não devem situar-se a menos de 1.000 m de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
4	<b>Proximidade a aeroportos</b>	As áreas não podem situar-se próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
5	<b>Distância do lençol freático</b>	As distâncias mínimas recomendadas pelas normas federais e estaduais são as seguintes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para aterros com impermeabilização inferior através 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 através de camada de argila, a distância do lençol freático até a camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros, que deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que <math>10^{-6}</math> cm/s.</li> </ul>
6	<b>Vida útil mínima</b>	É desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham, no mínimo, cinco anos de vida útil.
7	<b>Permeabilidade do solo natural</b>	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	<b>Extensão da bacia de drenagem</b>	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	<b>Facilidade de acesso a veículos pesados</b>	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	<b>Disponibilidade de material de cobertura</b>	Preferencialmente, o terreno deve possuir ou situar-se próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente proteção do lixo a baixo custo.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

## 1.2 Econômico-financeiros

A Tabela A.2 apresenta os critérios econômico-financeiros apresentados pela Norma NBR 13.896 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.

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	<b>Distância ao centro geométrico de coleta</b>	É desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte do lixo.
2	<b>Custo de aquisição do terreno</b>	Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que os situados em áreas industriais.
3	<b>Custo de investimento em construção e infraestrutura</b>	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	<b>Custos com a manutenção do sistema de drenagem</b>	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.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

## 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 13.896/1997 da ABNT para seleção de área para implantação de aterro sanitário.

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	<b>Distância de núcleos urbanos de baixa renda</b>	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 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	<b>Acesso à área através de vias com baixa densidade de ocupação</b>	O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde transitam, sendo desejável que o acesso à área do aterro passe por locais de baixa densidade demográfica.
3	<b>Inexistência de problemas com a comunidade local</b>	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 a indisposição com o poder público irá gerar reações negativas à instalação do aterro.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

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

O local selecionado para implantar um aterro sanitário deve ser aquele que atenda ao maior número de critérios estabelecidos pela Norma NBR 13.896 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 um 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 através da implantação de soluções da engenharia, a fim de que o mesmo 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.

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.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

## 2.2 Ponderação do Atendimento aos Critérios

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

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

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

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

## 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.

## APÊNDICE B

---

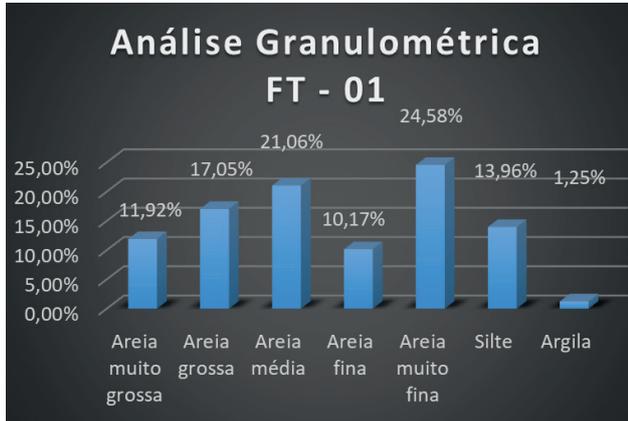
### RESULTADOS LABORATORIAIS

## 1. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

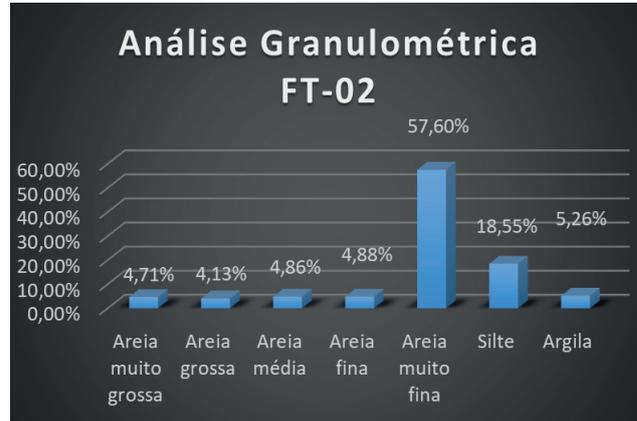
A seguir, são apresentados os resultados das análises granulométricas dos solos coletados nos furos de trados realizados para sondagem do material (Quadro B.1).

**Quadro B.1:** Gráfico ilustrando o resultado da análise granulométrica realizada nos solos coletados nos furos de trado.

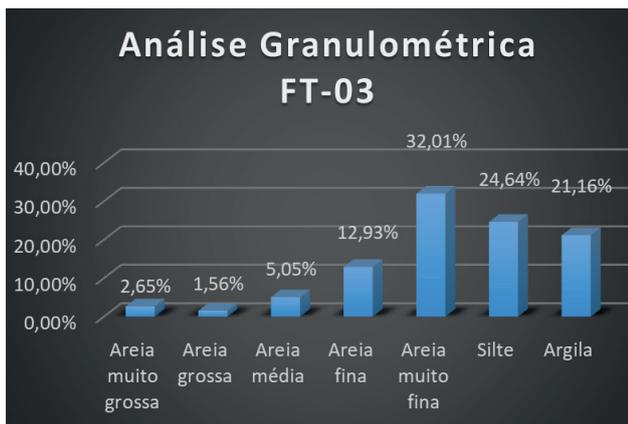
FT-01 - Área 1.



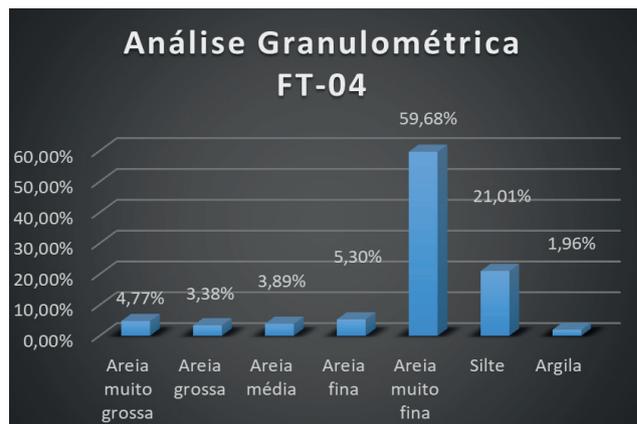
FT-02 - Área 2.



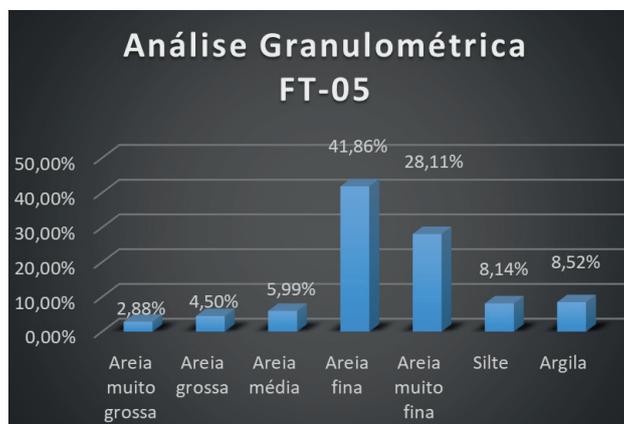
FT-03 - Área 3.



FT-04 - Área 4.



FT-05 - Área 5.



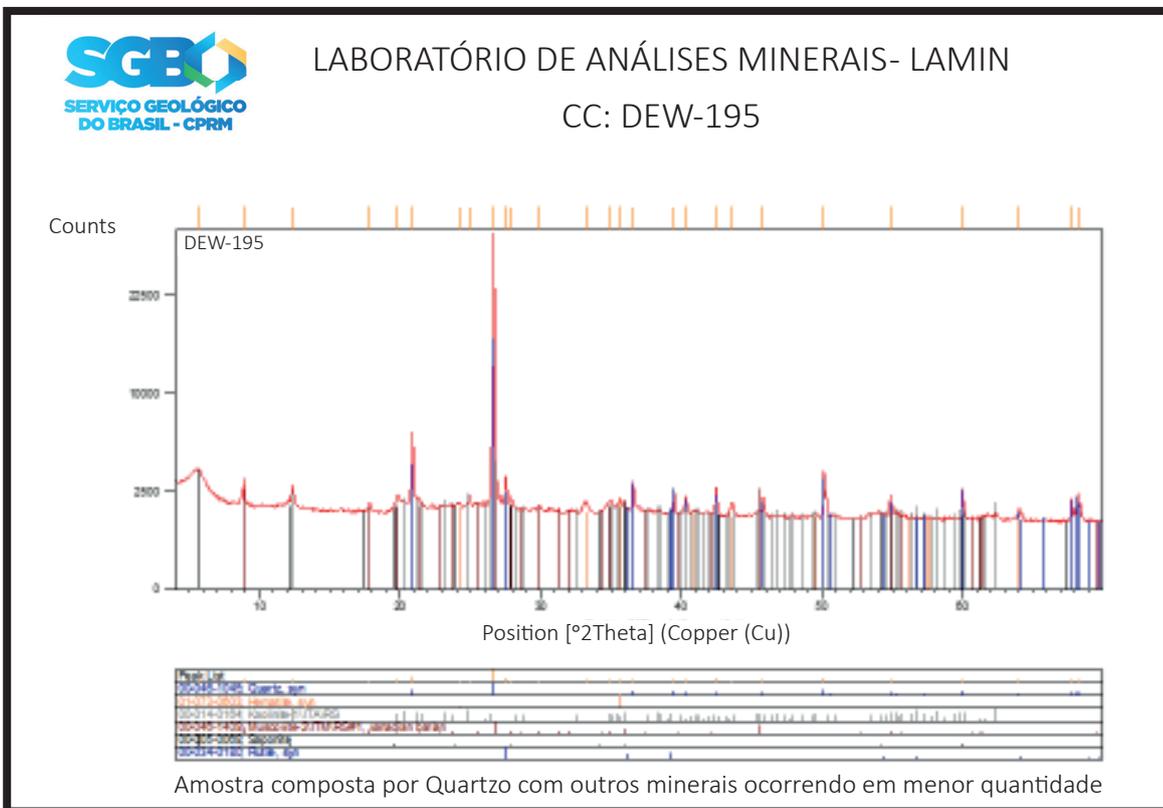
Fonte: elaborado pelos autores.

## 2. ANÁLISES MINERALÓGICAS

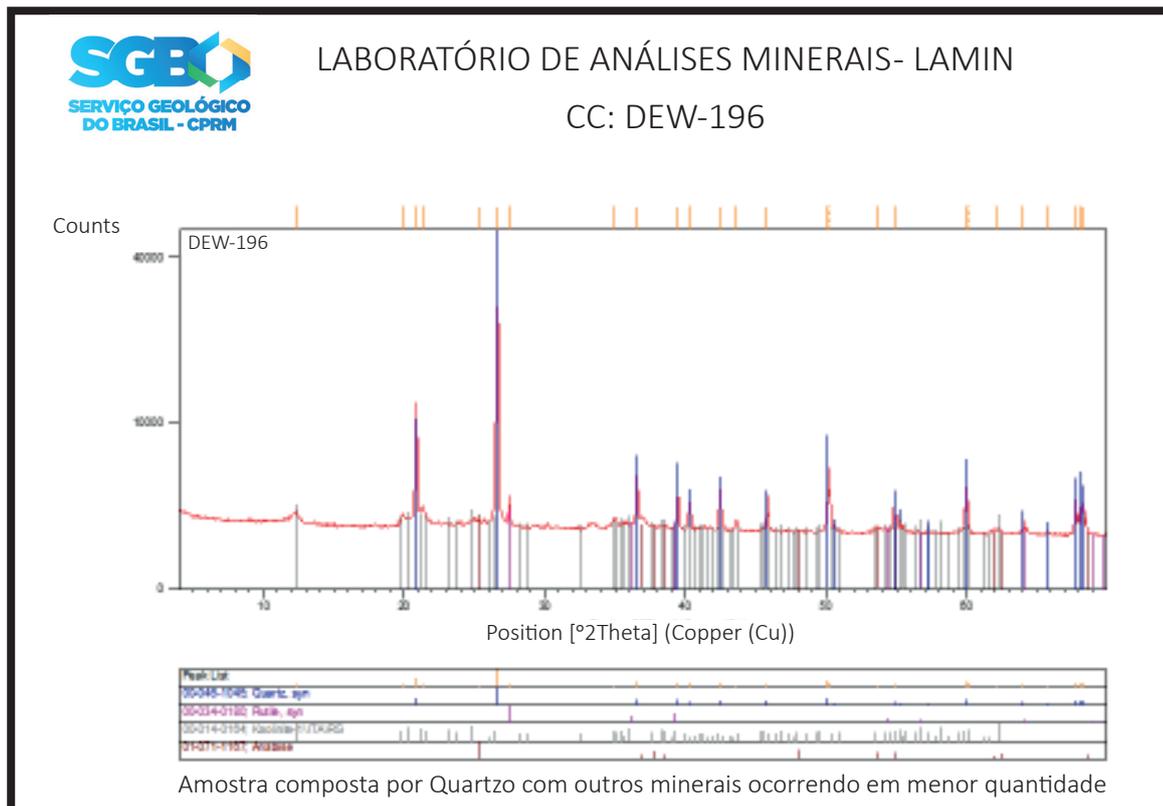
As análises mineralógicas do material coletado nos furos de sondagem são apresentadas no Quadro B.2.

**Quadro B.2:** Difratograma com os principais minerais identificados nos solos coletados nos furos de trado.

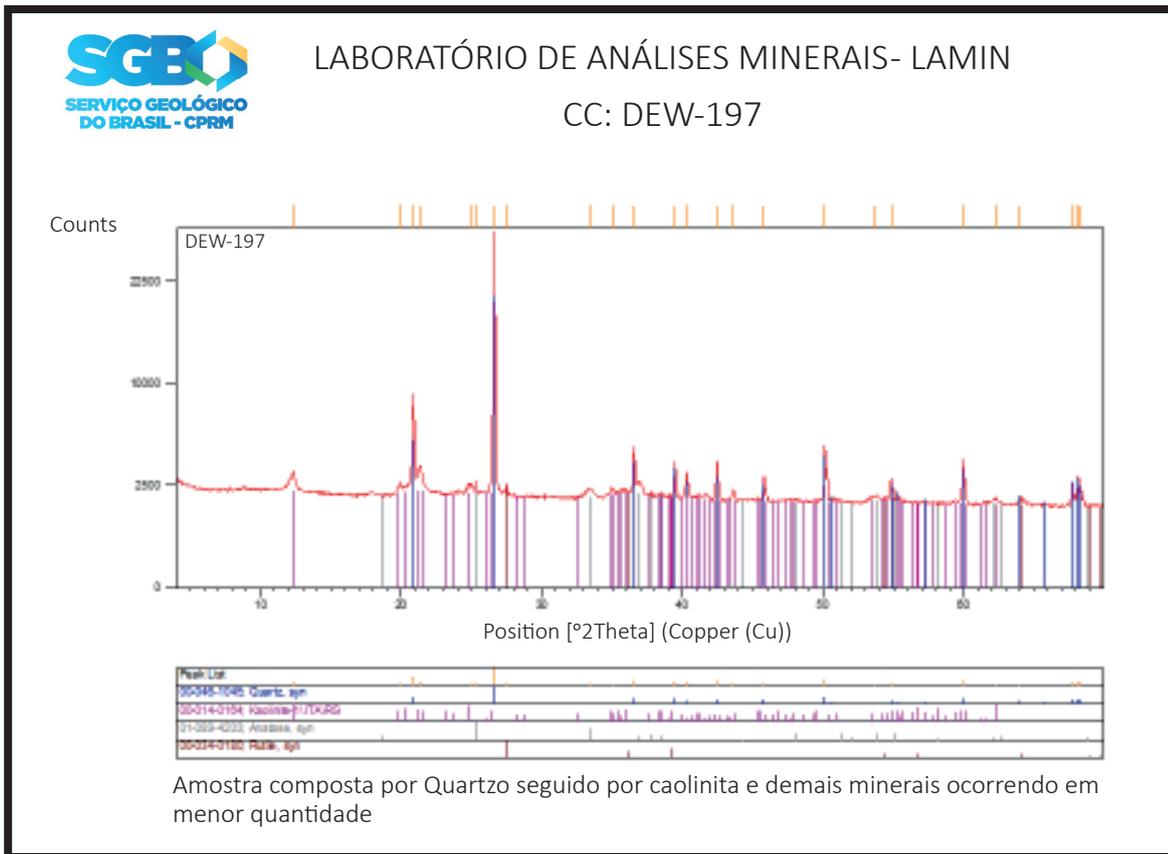
FT-01 - Área 1.



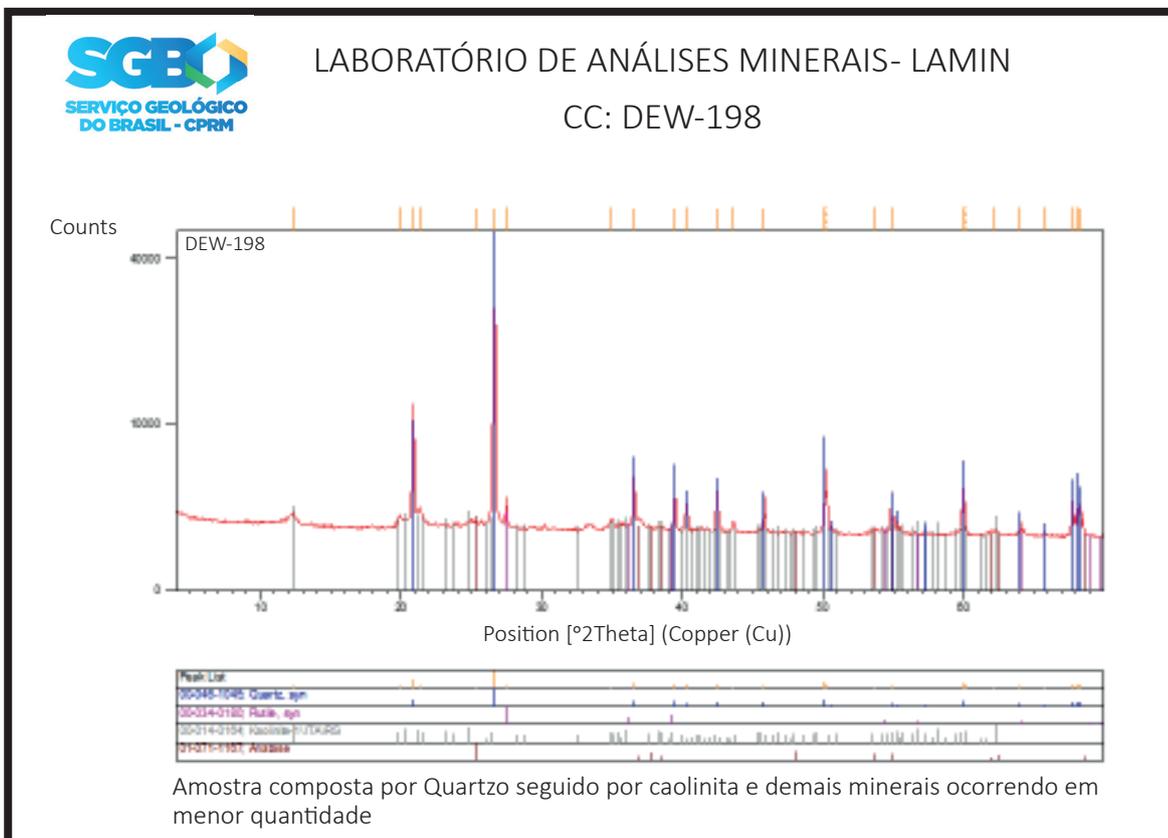
FT-02 - Área 2.



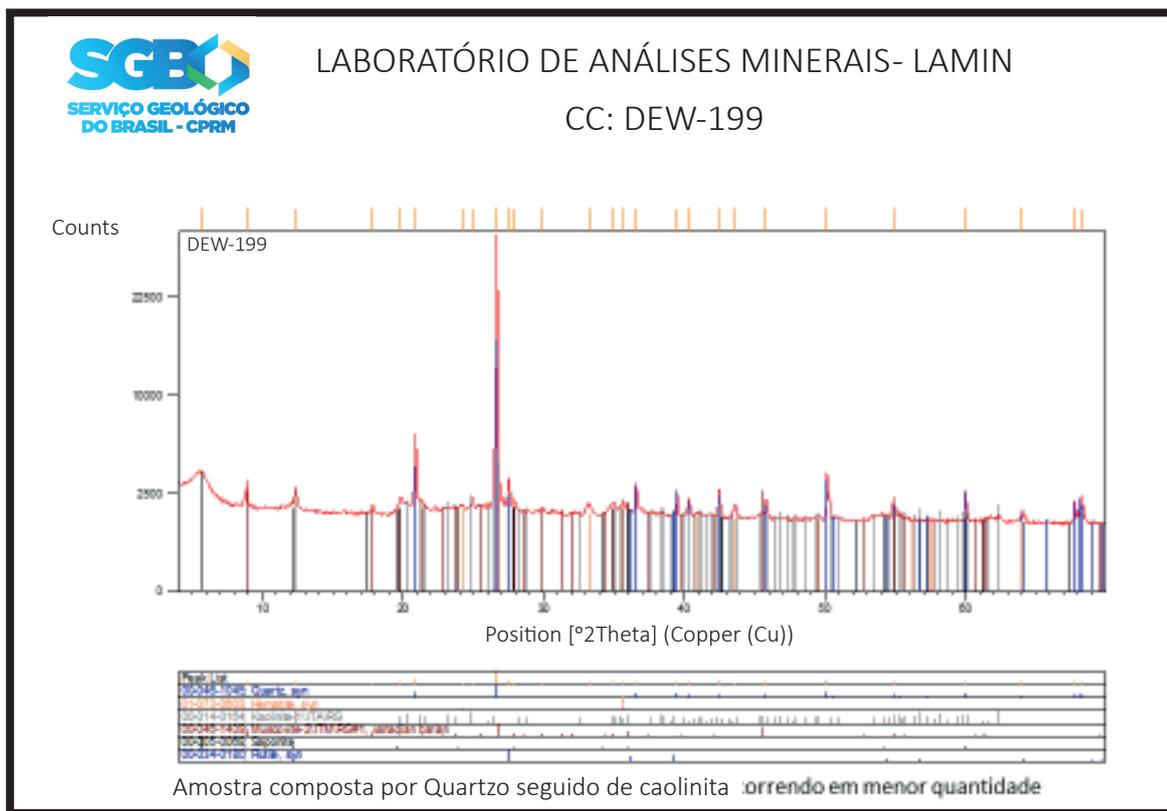
FT-03 - Área 3.



FT-04 - Área 4.



FT-05 - Área 5.



Fonte: LAMIN - ERJ.

# 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 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



## ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

### 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



### **Sede Brasília**

Setor Bancário Norte - SBN  
Quadra 02, Asa Norte  
Bloco H - Edifício Central Brasília  
Brasília - DF  
CEP 70040-904  
Tel.: (61) 2108-8400

### **Escritório Rio de Janeiro - ERJ**

Av. Pasteur, 404 - Urca  
Rio de Janeiro - RJ  
CEP 22290-255  
Tel.: (21) 2295-0032

### **Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial**

Tel.: (31) 3878-0337

### **Departamento de Gestão Territorial**

Tel.: (51) 3406-7307

### **Divisão de Geologia Aplicada**

Tel.: (11) 3775-5152

### **Divisão de Gestão Territorial**

Tel.: (21) 2546-0419

### **Ouvidoria**

Tel.: (21) 2295-4697  
ouvidoria@cprm.gov.br

### **Serviço de Atendimento ao Usuário (SEUS)**

Tel.: (21) 2295-5997  
seus@cprm.gov.br

**[www.sgb.gov.br](http://www.sgb.gov.br)**

