



**SELEÇÃO ADEQUADA DE ÁREA PARA A
INSTALAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DO
CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA GESTÃO
INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS – CONCISSS**

**Homero Reis de Melo Junior
Raimundo Almir Costa da Conceição
Lenilson José Souza de Queiroz**

**Fevereiro
2020**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Júnior

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Secretário

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL- CPRM

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia E Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretor de Hidrogeologia E Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Fernando Pereira de Carvalho

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELÉM

Superintendente

Jânio Souza Nascimento

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Homero Reis de Melo Junior

Execução Técnica

Homero Reis de Melo Junior

Raimundo Almir Costa da Conceição

Lenilson José Souza de Queiroz

Avelino Alves de Moraes

Maria Rosalva Campos Coelho

Thiago Marinho

Sistema de Informação Geográfica e Leiaute do Mapa

Raimundo Almir Costa da Conceição

Responsabilidade Técnica

Homero Reis de Melo Junior

SUMÁRIO

Introdução.....	pág. 01
Objetivos.....	pág. 03
Metodologia.....	pág. 03
Seleção da área para implantação do aterro.....	pág. 03
Seleção preliminar das áreas disponíveis.....	pág. 05
Critérios de seleção.....	pág. 05
Critérios técnicos.....	pág. 05
Condutividade hidráulica da zona não saturada.....	pág. 09
Análise granulométrica dos sedimentos	pág. 12
Difratometria de raios - x	pág. 12
Critérios econômico-financeiros.....	pág. 13
Seleção da melhor área	pág. 15
Análise da área selecionada frente aos critérios utilizados	pág.15
Centro produtor de lixo	pág. 17
Trabalhos desenvolvidos	pág. 18
Determinação da área do aterro sanitário	pág. 18
Avaliação individual das áreas pré-selecionadas	pág. 23
Análise comparativa das áreas	pág. 44
Conclusões e recomendações	pág. 50
Referência Bibliográfica	pág. 53

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização do Consórcio Intermunicipal para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – CONCISSS, na região nordeste do estado do Pará.....	Pág. 3
Figura 2: Produto final obtido após utilização de SIG para identificação dos parâmetros em atendimento à Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) e pré-seleção de sete áreas para posterior avaliação <i>in situ</i>	Pág. 9
Figura 3: Esquema conceitual do ensaio de infiltração tipo <i>open end hole</i> (Modificado de ANA, 2018).....	Pág. 11
Figura 4: Intervalos de classificação granulométrica dos sedimentos de acordo com a NBR 6.502 (ABNT, 1995)	Pág. 12
Figura 5: Localização em detalhe das áreas 1, 2, 6 e 7 nas proximidades da zona urbana de Castanhal.....	Pág. 23
Figura 6: Localização em detalhe das áreas 3, 4 e 5 nas proximidades da zona urbana de Castanhal.....	Pág. 24
Foto 1: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 9, Área 1.....	Pág. 25
Foto 2: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 10, Área 1.....	Pág. 25
Figura 7: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 1.....	Pág. 26
Figura 8: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 1, com predominância de quartzo.....	Pág. 26
Foto 3: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 1, Área 2.....	Pág. 28
Foto 4: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 2, Área 2.....	Pág. 28
Figura 9: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 2.....	Pág. 29
Figura 10: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 2, com predominância de quartzo.....	Pág. 29
Figura 11: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos	

sedimentos coletados na área 3.....	Pág. 31
Figura 11: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 3.....	Pág. 31
Foto 5: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 16, Área 4.....	Pág. 33
Foto 6: Furos de trado revestidos com tubos de pvc para realizar teste de infiltração no ponto 18, Área 4.....	Pág. 33
Figura 13: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 4.....	Pág. 34
Figura 14: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 4, havendo predominância de quartzo.....	Pág. 34
Foto 7: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 19, Área 5.....	Pág. 35
Foto 8: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 21, Área 5.....	Pág. 35
Figura 15: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 5.....	Pág. 37
Figura 16: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 5, havendo predominância de quartzo com traços de caulinita, anatásio e ilita.....	Pág. 37
Foto 9: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 13, Área 6.....	Pág. 39
Foto 10: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 14, Área 6.....	Pág. 39
Figura 17: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 6.....	Pág. 40
Figura 18: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 6, havendo predominância de quartzo com menores teores de hematita e caulinita, além de traços de anatásio.....	Pág. 40
Figura 19: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 7.....	Pág. 43
Figura 20: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 7, havendo predominância de quartzo com traços de caulinita e	

anatásio..... Pág. 43

Figura 21: Valores da condutividade hidráulica vertical (k_v) em cm/seg identificados
áreas avaliadas em Castanhal..... Pág. 48

Introdução

A preocupação com a geração de resíduos vem sendo discutida há algumas décadas tanto em âmbito nacional como internacionalmente, devido, principalmente, 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 dos três níveis de governo, da sociedade civil e da iniciativa privada (MMA, 2020).

Como um retrato desse universo de ação, há de se considerar que mais de 70% dos municípios brasileiros possuem menos de 20 mil habitantes, e que a concentração urbana da população no país ultrapassa a casa dos 80%. Isso reforça as preocupações com os problemas ambientais urbanos e, entre estes, o gerenciamento dos resíduos sólidos, cuja atribuição pertence à esfera da administração pública local (MONTEIRO *et al.* 2004).

A aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, após vinte e um 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 Política Nacional de Resíduos Sólidos qualificou e deu novos rumos à discussão sobre o tema (MMA, 2020).

As instituições responsáveis pelos resíduos sólidos municipais e perigosos, no âmbito nacional, estadual e municipal, são determinadas através dos seguintes artigos da Constituição Federal:

- Incisos VI e IX do art. 23, que estabelecem ser competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas, bem como promover programas de construção de moradias e a melhoria do saneamento básico;

- Os incisos I e V do art. 30, os quais estabelecem como atribuição municipal legislar sobre assuntos de interesse local, especialmente quanto à organização dos seus serviços públicos, como é o caso da limpeza urbana.

Tradicionalmente, o que ocorre no Brasil é 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.

No que se refere à competência para o licenciamento de atividades poluidoras e ao controle ambiental, o art. 30, I, já mencionado, estabelece a principal competência legislativa municipal qual seja: legislar sobre assuntos de interesse local, e dá, assim, o caminho para dirimir aparentes conflitos entre a legislação municipal, a federal e a estadual.

O Município tem competência para estabelecer o uso do solo em seu território. Assim, é ele quem emite as licenças para qualquer construção e o alvará de localização para o funcionamento de qualquer atividade, que são indispensáveis para a localização, construção, instalação, ampliação e operação de qualquer empreendimento em seu território. Portanto, o Município pode perfeitamente estabelecer parâmetros ambientais para a concessão ou não destas licenças e alvarás. A lei federal que criou o licenciamento ambiental, 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.*, 2004).

Desta forma, visando atender à legislação vigente e atenuar o impacto da produção de resíduos sólidos domiciliares sobre os recursos naturais, apresentamos ao Consórcio Intermunicipal para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – CONCISSS, registrado sob o CNPJ Nº 35.413.198/0001-1 sendo integrado pelos municípios de Castanhal, Inhangapi, Santa Isabel do Pará, Santa Maria do Pará e São Francisco do Pará (Figura 1), relatório técnico, referente à seleção da área para implantação do aterro sanitário consorciado, no município de Castanhal – PA.

Objetivos

O principal objetivo desse estudo realizado no município de Castanhal, foi a seleção apropriada de área para implantação do aterro sanitário consorciado de acordo com a Norma NBR 13.896/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as legislações Federal e Estadual, vigentes.

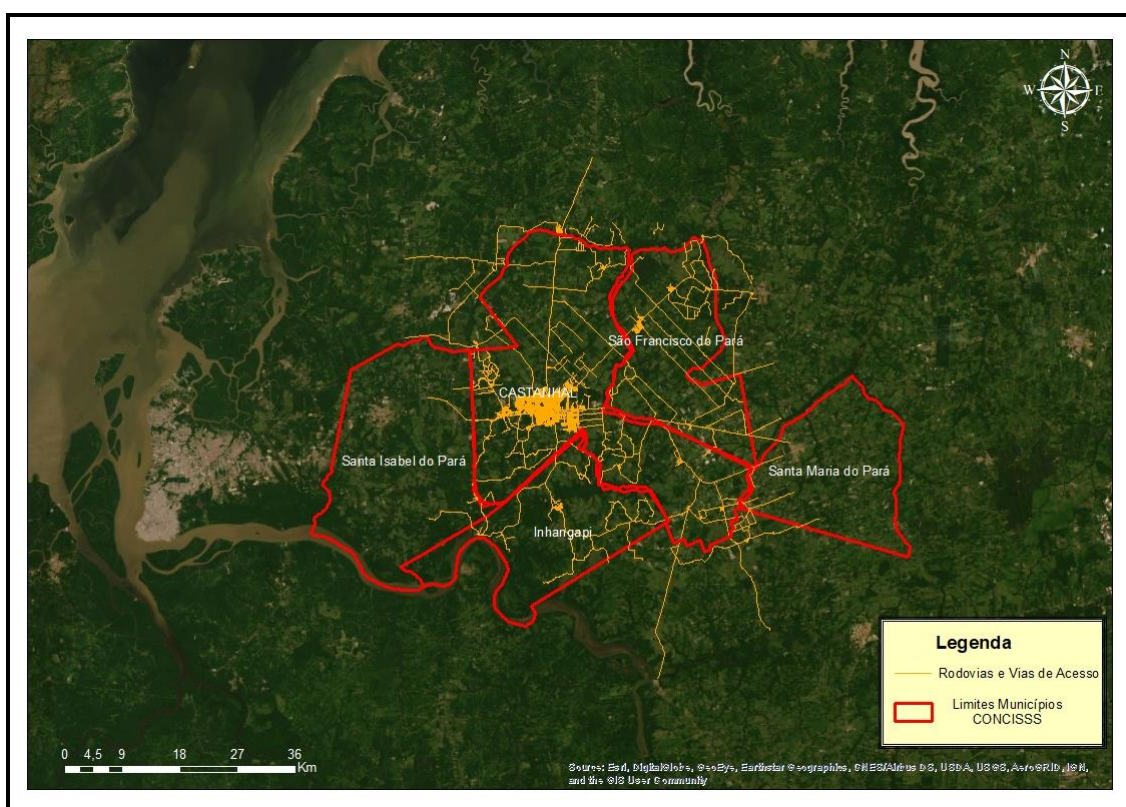


Figura 1: Mapa de localização do Consórcio Intermunicipal para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – CONCISSS, na região nordeste do estado do Pará.

Metodologia

Seleção da área para implantação do aterro

A metodologia adotada para a seleção da área com maior viabilidade para a implantação do aterro sanitário consorciado foi a estabelecida pela

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da Norma NBR 13.896/1997, a qual estabelece critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais. Por isso, os critérios para se implantar adequadamente um aterro sanitário são muito severos, havendo a necessidade de se estabelecer uma cuidadosa priorização dos mesmos.

A estratégia a ser adotada para a seleção da área do novo aterro consiste nos seguintes passos:

- 1) Seleção preliminar das áreas disponíveis no município;
- 2) Estabelecimento do conjunto de critérios de seleção;
- 3) Definição de prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos;
- 4) Análise crítica de cada uma das áreas levantadas frente aos critérios estabelecidos e priorizados, selecionando-se aquela que atenda à maior parte das restrições de seus atributos naturais.

Com a adoção dessa estratégia, minimiza-se a quantidade de medidas corretivas a serem implantadas para adequar a área às exigências da legislação ambiental vigente, reduzindo-se ao máximo os gastos com o investimento inicial.

Estratégia:

- Seleção preliminar das áreas disponíveis
- Critérios de seleção:
 - ✓ Critérios técnicos
 - ✓ Critérios econômico-financeiros
 - ✓ Critérios político-sociais
- Priorização dos critérios de seleção
- Seleção da melhor área
 - ✓ Análise da área selecionada frente aos critérios utilizados
 - ✓ Ponderação do atendimento aos critérios
 - ✓ Escolha da melhor área

Seleção Preliminar das Áreas Disponíveis

A seleção preliminar das áreas disponíveis no Município deve ser feita da seguinte forma:

- Estimativa preliminar da área total do aterro;
- Delimitação dos perímetros das regiões rurais e industriais e das unidades de conservação existentes no Município;
- Levantamento das áreas disponíveis, dentro dos perímetros delimitados anteriormente, com dimensões compatíveis com a estimativa realizada, com prioridade para as áreas que já pertençam ao Município;
- Levantamento dos proprietários das áreas levantadas;
- Levantamento da documentação das áreas levantadas, com exclusão daquelas que se encontrem com documentação irregular.

Critérios de Seleção

Os critérios utilizados foram divididos em três grandes grupos: técnicos, econômico-financeiros e político-sociais.

Critérios 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 relativos às normas da ABNT, assim como os aspectos técnicos da legislação atualmente em vigor, estão considerados nos critérios listados na Tabela 1.

Tabela 1: Critérios técnicos estabelecidos pela Norma NBR 13.896/1997 da ABNT para seleção de área para implantação de aterro sanitário (modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004).

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Uso do solo	As áreas têm que se localizar numa região 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 mil metros 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"> • Para aterros com impermeabilização inferior através de manta plástica sintética, a distância do lençol freático à manta não poderá ser inferior a 1,5 metros. • Para aterros com impermeabilização inferior através de camada de argila, a distância do lençol freático à camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros e a camada impermeabilizante deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-6} cm/s.
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.

Para auxiliar na seleção preliminar de áreas preexistentes, foi produzido um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando o *software Arc Map 10.6*, aplicando *buffers* com intervalos variáveis aos parâmetros da Norma NBR 13.896/1997.

Especificamente foram utilizadas as variáveis, critérios de seleção e fonte de dados apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Base de dados utilizada na metodologia para aplicação da Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997).

PARÂMETROS AVALIADOS	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO	FONTES DE DADOS
TOPOGRAFIA	Áreas com declividade inferior a 5°	MDE TOPODATA (30 m de resolução espacial)
RECURSOS HÍDRICOS	Distância mínima de 200 m	<i>Open Street Map</i> e fotointerpretação de imagens disponíveis na plataforma <i>Google Earth</i>
ESTRADAS	Distância máxima de 1000 m	IBGE, <i>Open Street Map</i> e fotointerpretação de imagens disponíveis na plataforma <i>Google Earth</i>
RODOVIAS	Distâncias mínima de 1000 m	IBGE, <i>Open Street Map</i> e fotointerpretação de imagens disponíveis na plataforma <i>Google Earth</i>
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS URBANOS	Distância mínima de 500 m e máxima de 20.000 m da área urbana de Castanhal	Fotointerpretação de imagens disponíveis na plataforma <i>Google Earth</i>

Em seguida, os dados foram sobrepostos, analisados e processados. Inicialmente, foram selecionadas as áreas com declividades inferiores a 5°, o

que corresponde a aproximadamente 90% da área de estudo. Foram excluídas também áreas com distâncias menores que 200 m em relação à drenagens e nascentes, assim como, aquelas áreas com distâncias maiores que 1000 m em relação à estradas e menores que 1000 m em relação à rodovias. As áreas decorrentes do processo foram recortadas por um *buffer* com distancias entre 500 m e 20.000 m da área urbana de castanhal. O produto resultante foi avaliado e dentro do mesmo foram identificadas sete possíveis áreas para a implantação do aterro sanitário (Figura 2).

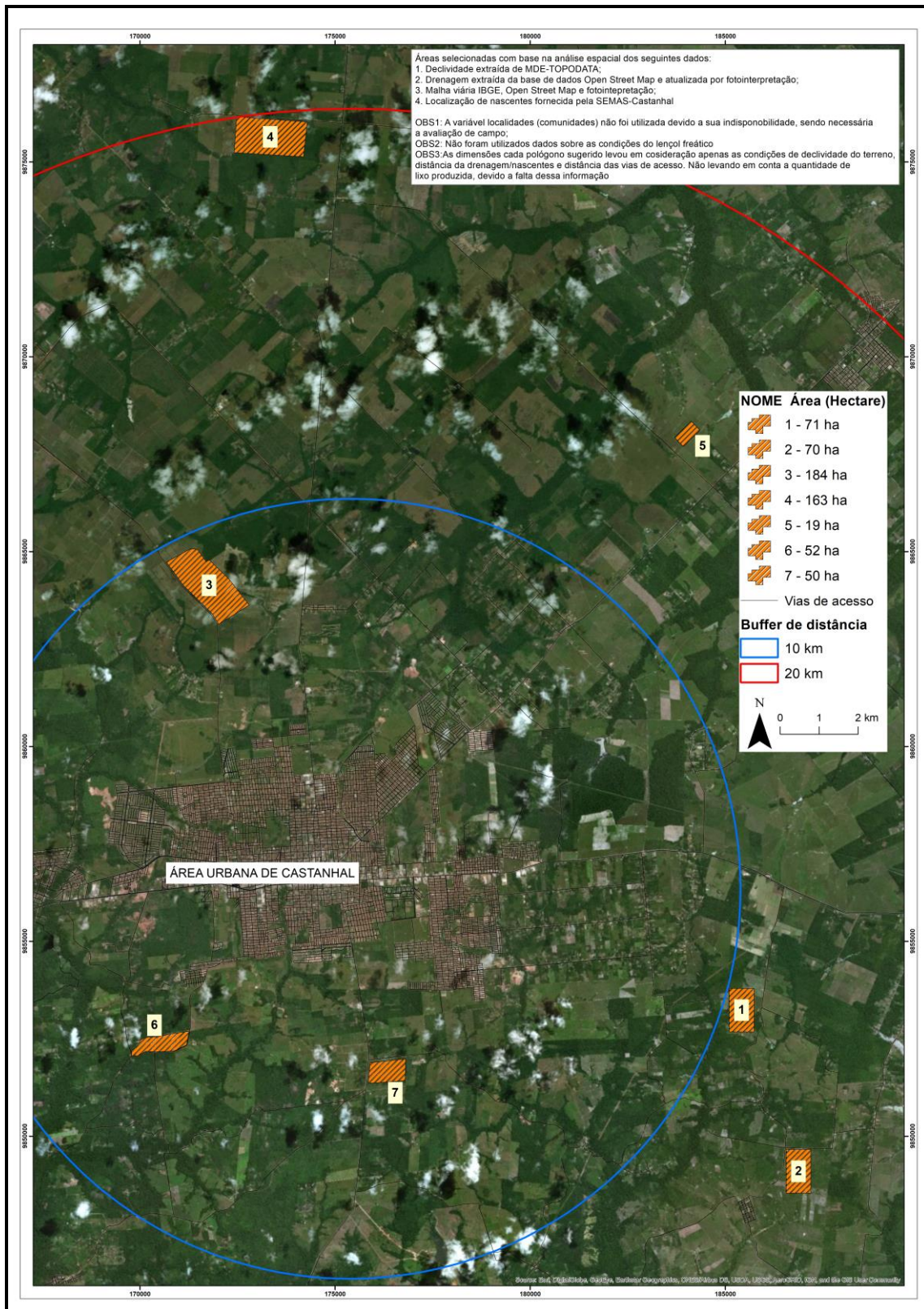


Figura 2: Produto final obtido após utilização de SIG para identificação dos parâmetros em atendimento à Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) e pré-seleção de sete áreas para posterior avaliação *in situ*.

Condutividade hidráulica da zona não saturada

Para determinar a condutividade hidráulica vertical *in situ* dos solos na região estudada, que corresponde ao item 7 da tabela 1, optou-se por utilizar o método *open end hole* ou “ensaio de ponta aberta”. Este método foi selecionado em função das condições dos solos locais, facilidade e rapidez na execução dos ensaios, repetitividade e baixo custo operacional, além de propiciar resultados confiáveis para subsidiar os estudos realizados.

Além disso, de acordo com a literatura especializada (FIORI, 2010) os testes foram executados em três profundidades distintas para cada ponto selecionado para melhor amostragem das condições locais. Assim, observa-se a possibilidade de avaliação da consistência dos resultados que, mesmo obtidos em profundidades diferentes, devem fornecer valores semelhantes. Caso contrário, deve ser feita uma análise minuciosa das amostras de solo, em campo, a fim de se verificar se os intervalos ensaiados apresentam características distintas entre si.

O método *open end hole* consiste num ensaio de infiltração realizado em furo de sondagem revestido lateralmente e aberto somente no fundo, de modo a permitir a percolação de água no sentido vertical. Para tanto, os furos de sondagem foram feitos com trado manual com broca de 4 polegadas de diâmetro (0,05 m) e revestidos com tubo de PVC, do topo até a sua base, para evitar a fuga lateral da água (figura 3). O material retirado das sondagens foi armazenado para realização de análises granulométricas no LAMIN Belém e de difratometria de raios - x no LAMIN do Escritório do Rio de Janeiro (ERJ).

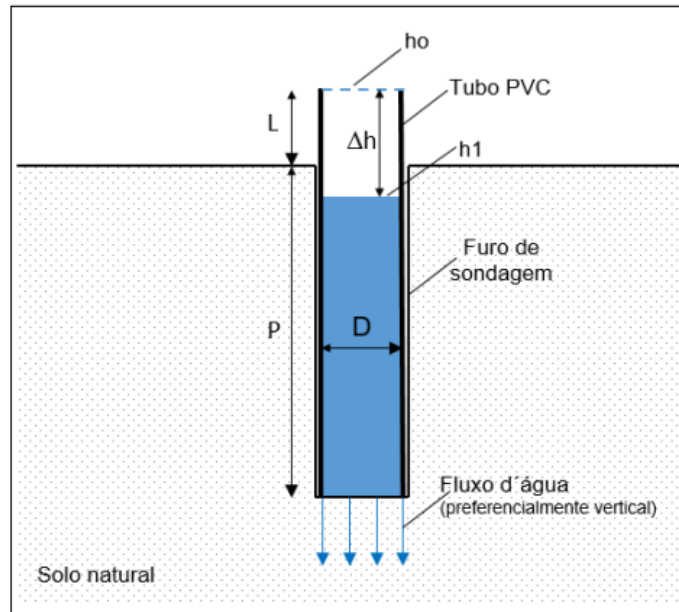


Figura 3: Esquema conceitual do ensaio de infiltração tipo *open end hole* (Modificado de ANA, 2018).

As profundidades de investigação definidas pelo método são 0,5 m, 1,0 m e 1,50 m. Todavia, como procedimento inicial para a determinação com exatidão das profundidades de ensaio, e faz necessário, primeiramente, determinar a entrada d'água de cada um dos pontos, através da execução de sondagens, as quais definiram também quais as condições do substrato para a realização dos ensaios.

Uma vez executadas as sondagens e instalados os canos que impermeabilizem as suas paredes laterais, os furos devem ser enchidos com água até a saturação do solo e conseqüente manutenção de um fluxo uniforme. Nessa condição, toma-se a medida de rebaixamento do nível d'água até sua estabilização, e o tempo decorrido da infiltração. Os dados obtidos foram então inseridos na fórmula para cálculo da condutividade hidráulica vertical (K_v).

$$K_v = 2,303 \times (R/4\Delta t) \times \text{Log } h_0/h_1 \text{ (Equação 1)}$$

Onde: R = raio do tubo; h_0 = coluna d'água inicial; h_1 = coluna d'água final (estabilização do rebaixamento); Δt = tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h_1 .

Para fins interpretativos, a tabela 3 apresenta os valores de condutividade hidráulica apresentados por Fetter (1988) para diversos materiais geológicos.

Tabela 3: Valores de condutividade hidráulica (K) em cm/s para alguns materiais geológicos (Fetter 1988).

MATERIAL	K (cm/s)
Cascalho bem selecionado	1 a 10^{-2}
Areia bem selecionada	10^{-1} a 10^{-3}
Silte arenoso, areia fina	10^{-3} a 10^{-5}
Silte, areia siltica, argila arenosa	10^{-4} a 10^{-6}

Análise Granulométrica de Sedimentos

A análise granulométrica dos sedimentos coletados nos pontos investigados foi realizada por peneiramento, seguindo a Norma NBR 7181/2016 da ABNT; enquanto que, os intervalos de granulometria utilizados para classificar os sedimentos, seguiram a metodologia estabelecida pela Norma NBR 6.502/1995 da ABNT. A figura 4 ilustra estes intervalos granulométricos em milímetros e a classificação de cada tipo de sedimento.

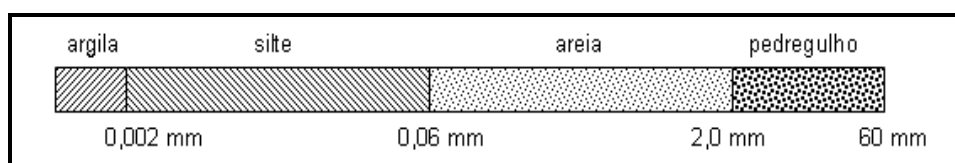


Figura 4: Intervalos de classificação granulométrica dos sedimentos de acordo com a NBR 6.502 (ABNT, 1995).

Difratometria de Raios – X

A classificação dos minerais constituintes da zona vadosa nas sete áreas investigadas foi obtida por intermédio de Difratômetro de raios-x no Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN do Escritório do Rio de Janeiro

(ERJ) do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 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'Celerator.

A aquisição de dados foi feita com utilizando o software *X'Pert Data Collector*, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o software *X'Pert HighScore* versão 3.0d, também da PANalytical. A identificação dos minerais é feita através da comparação do difratograma obtido com padrões (fichas) do banco de dados do ICDD-PDF (*International Center dor Diffraction Data – Powder Diffraction File*). As fichas são específicas para cada mineral (por ex., quartzo, 46-1045), podendo haver diferentes fichas para o mesmo mineral, principalmente, quando há variações na composição química, soluções-sólidas, etc.

Crítérios Econômico-Financeiros

A avaliação dos critérios econômico financeiros estabelecidos pela Norma NBR 13.896 da ABNT (1997) foi realizada através da análise do SIG gerado no *software Arc Map* 10.6, em especial o item 1. Os demais itens foram analisados *in situ* com a equipe da Secretaria de Meio Ambiente de Castanhal.

A tabela 4 apresenta os critérios econômico-financeiros apresentados pela norma utilizada para a seleção das áreas para implantação de aterros sanitários no Brasil.

Tabela 4: Critérios econômico-financeiros estabelecidos pela Norma NBR 13.896 da (ABNT, 1997) para seleção de área para implantação de aterro sanitário (modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004).

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Distância ao centro geométrico de coleta	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	Custo de aquisição do terreno	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 o de terrenos 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 manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

Por último, a legislação vigente, estabelece os critérios político-sociais para a seleção das áreas de implantação de aterros sanitários, conforme, a tabela 5. Nesta, os itens 1 e 2 foram verificados por intermédio do SIG gerado, ao passo que o item 3 foi verificado nas atividades de campo.

Tabela 5: Critérios político-sociais estabelecidos pela Norma NBR 13.896/1997 da ABNT para seleção de área para implantação de aterro sanitário (modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004).

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 através de vias com baixa densidade de ocupação	O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde estes veículos 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.

Seleção da Melhor Área

Análise da Área Selecionada Frente aos Critérios Utilizados

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-se ênfase aos critérios de maior prioridade.

A seleção da melhor área para implantação do aterro sanitário 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 o critério como “totalmente atendido”, “atendido parcialmente através de obras” 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 moderna engenharia, de forma a que o critério seja atendido.

➤ **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 6.

Tabela 6: Hierarquização dos critérios de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários municipais, de acordo com a metodologia adotada (modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE
Atendimento ao SLP* 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

➤ **Ponderação do Atendimento aos Critérios**

Para que se possa efetuar a escolha da melhor área, é necessário que se fixem pesos, tanto para as prioridades, quanto para o atendimento aos critérios selecionados, como se mostra na Tabela 7.

Tabela 7: Pesos e prioridades dos critérios estabelecidos para seleção da área do aterro com seus respectivos percentuais de atendimento a norma (modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004).

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%

➤ **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.

Centro Produtor de Lixo

O centro produtor de lixo do CONCISSS compreende, principalmente, as zonas urbanas dos municípios que constituem o consórcio, uma vez que, esta região concentra cerca de 57% das populações municipais (IBGE, 2019). Entretanto, de acordo com a tabela 8, os municípios de Castanhal, Santa Isabel e Santa Maria do Pará possuem população predominantemente urbana, ao contrário dos municípios de Inhangapi e São Francisco do Pará, de acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2020). Entretanto, o número de habitantes dos municípios predominantemente urbanos é muito maior que dos municípios com população rural predominante. Desta forma, a relação entre a população urbana *versus* população rural nos municípios que constituem o CONCISSS é da ordem de 79% e 21%, respectivamente.

Tabela 8: Populações urbanas e rurais dos municípios que constituem o CONCISSS de acordo com o Censo 2010.

Município	População Urbana (%)*	População Rural (%) *	População Urbana (Habitantes) *	População Rural (Habitantes)*	Pop. Censo 2010 (Habitantes)
Castanhal	89%	11%	154103	19046	173149
Inhangapi	23%	77%	2309	7728	10037
Santa Isabel do Pará	76%	24%	45194	14272	59466
Santa Maria do Pará	59%	41%	13585	9441	23026
São Francisco do Pará	36%	64%	5422	9638	15060
Populações CONCISSS Médias/Absolutas	79%	21%	220612	60126	280738

*Censo 2010 (IBGE, 2020)

Desta forma, não é recomendável utilizar os centros produtores de lixo dos cinco municípios para determinar a distância do centro geométrico produtor de resíduos; logo, foi uma unanimidade entre os gestores do consórcio que, devido às dimensões territoriais e à população, o aterro deverá ser construído nas imediações do município de Castanhal.

Trabalhos Desenvolvidos

Para a seleção da área mais apropriada para instalação do aterro sanitário consorciado da área avaliada, foram selecionadas sete áreas, inseridas nas proximidades da zona urbana do município de Castanhal, por intermédio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), cuja localização das áreas se encontra no mapa da figura 2.

Determinação da Área do Aterro Sanitário

Para determinar a área do aterro sanitário consorciado, se faz necessário estimar o crescimento demográfico da população dos cinco municípios que integram o CONCISSS para o período de vida útil do aterro, assim como determinar sua produção de resíduos ao longo desses anos.

De acordo com os dados do Censo 2010 (IBGE, 2020) apresentados na tabela 9, a população estimada do CONCISSS para o ano de 2019 foi de 324.048 habitantes e, considerando-se os custos financeiros e de gestão envolvidos para os estudos de viabilidade de novas áreas, este trabalho projeta um aterro sanitário que possua vida útil de aproximadamente vinte anos. Assim sendo, ponderando-se que, nesse período o crescimento demográfico da população na região acompanhe a média verificada nos últimos 30 anos, que foi na ordem de 2%/ano; ao final de 2040, os municípios que integram o CONCISSS deverão possuir cerca de 492.276 habitantes, e, ao se considerar a população urbana média de 85% do total (tabela 9), nas sedes municipais deverão coabitar aproximadamente 430.000 pessoas (tabela 10). Inferindo-se a essa população, uma produção diária de 1,0 kg/hab/dia de lixo, ao final da vida útil do aterro deveremos ter uma produção diária aproximada de 298.781 kg/dia, atingindo uma produção total de 2.458 ton. de lixo armazenada no aterro, conforme ilustra a tabela 10.

Tabela 9: Populações dos municípios que constituem o CONCISSS e seu crescimento demográfico verificado entre os anos de 1991 a 2010 e estimados para os anos de 2019 e 2040 (IBGE, 2020).

Município	Pop. Censo 1991	Pop. Censo 2000	Crescim. Demog. (1991-2000)	Pop. Censo 2010	Crescim. Demog. (2000-2010)	Pop. Estim. 2019	Crescim. Demog. (2010-2019)	Crescim. Demog. Médio	Projeção Populacional para 2040
Castanhal	102071	134496	32%	173149	29%	200793	16%	25%	301190
Inhangapi	6668	7681	15%	10037	31%	11711	17%	21%	16630
Santa Isabel do Pará	33329	43227	30%	59466	38%	70801	19%	29%	111866
Santa Maria do Pará	17946	20850	16%	23026	10%	24861	8%	12%	30828
São Francisco do Pará	11619	14245	23%	15060	6%	15882	5%	11%	31764
CONCISSS	171633	220499	23%	280738	23%	324048	13%	20%	492276

Tabela 10: População estimada e produção de lixo prevista para os municípios que integram o CONCISSS para um período de 20 anos.

Ano	População Urbana Estimada	Produção per capita lixo/dia	Produção de lixo (kg/dia)	Produção de lixo (ton/dia)	Produção de lixo (kg/ano)	Produção de lixo (ton/ano)
2019	255594	0,8	204474,856	204,47	74633,32	74,63
2020	261987	0,8	209589,5115	209,59	76500,17	76,50
2021	263635	0,8	210907,6524	210,91	76981,29	76,98
2022	265319	0,8	212255,4844	212,26	77473,25	77,47
2023	282105	0,8	225683,7392	225,68	82374,56	82,37
2024	289182	0,8	231345,2411	231,35	84441,01	84,44
2025	296441	0,8	237152,6537	237,15	86560,72	86,56
2026	303887	0,8	243109,7914	243,11	88735,07	88,74
2027	311526	0,8	249220,5693	249,22	90965,51	90,97
2028	319361	0,8	255489,0055	255,49	93253,49	93,25
2029	327399	0,8	261919,2242	261,92	95600,52	95,60
2030	335644	1	335644,3228	335,64	122510,18	122,51
2031	344103	1	344102,5654	344,10	125597,44	125,60
2032	352779	1	352779,3319	352,78	128764,46	128,76
2033	361680	1	361680,3432	361,68	132013,33	132,01
2034	370811	1	370811,4715	370,81	135346,19	135,35
2035	380179	1	380178,7436	380,18	138765,24	138,77
2036	389788	1	389788,3455	389,79	142272,75	142,27
2037	399647	1	399646,6265	399,65	145871,02	145,87
2038	409760	1	409760,1036	409,76	149562,44	149,56
2039	420135	1	420135,4657	420,14	153349,44	153,35
2040	430780	1	430779,5785	430,78	157234,55	157,23
		Soma	6736454,63	6736,45	2458805,94	2458,81
		Mediana	298781,77	298,78	109055,35	109,06

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2018) a densidade de lixo depois de compactado e aterrado varia em torno de 0,75 ton/m³. Desta forma, o volume total de lixo aterrado em 20 anos no aterro do CONCISSS, deve ser da ordem de:

$$\text{Vol} = 2.458,81 \text{ ton} / 0,75 \text{ ton/m}^3 = 1.844,11 \text{ m}^3 \text{ (Equação 2)}$$

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 1:2 entre cobertura e resíduos. Assim, o volume acumulado do material de cobertura, ao final de 20 anos será de 922,05 m³. Logo, o volume total de material aterrado, para a vida útil de 20 anos deve atingir **2.766,17 m³**.

Atualmente, são utilizadas duas formas principais para desenvolver e gerenciar aterros sanitários, a primeira, e mais aplicada para grandes volumes de resíduos é constituída pelo 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 recomendada a instalação da manta sintética impermeabilizante em suas bases.

Considerando-se o primeiro caso, para determinar a área necessária para a construção do aterro consorciado em Castanhal, de acordo com Monteiro *et al.* (2004), em metros quadrados, basta se multiplicar a quantidade de lixo produzida e coletada diariamente, em toneladas, pelo fator 560 (este fator se baseia nos seguintes parâmetros, usualmente utilizados em projetos de aterros: vida útil = 20 anos; altura do aterro = 20 m; taludes de 1:3 e ocupação de 80% do terreno com a área operacional). Assim sendo, ponderando-se que, no período de 20 anos, a população urbana dos municípios que integram o CONCISSS atinja a marca de 430.780 habitantes, e que, cada morador produza uma quantidade de lixo, de acordo com a média nacional, de 1,0 kg/dia, conforme apresentado na tabela 9, as dimensões necessárias para a área do aterro seriam de 241.236,8 m² ou 24,12 hectares, conforme apresentado na equação 3.

Área do Aterro = Produção diária de lixo (kg/dia) x Fator de construção dos taludes (Equação 3)

$$\text{Área} = 430.780 \times 560 = 241.236.800 \text{ m}^2 = 24,12 \text{ hectares}$$

Caso o processo de disposição dos resíduos seja executado pelo método de trincheiras ou valas, os quais consistem na escavação de diversas valas e posterior preenchimento das mesmas com resíduos e material de cobertura até a superfície do terreno, a área necessária para a vida útil

proposta de 20 anos, dependerá essencialmente das dimensões das trincheiras, conforme apresentado na tabela 11.

Tabela 11: Relação profundidade das valas *versus* volume de resíduos produzidos para determinar a área do aterro com disposição em trincheiras.

Profundidade das valas (m)	Relação comprimento x largura (m ²)	Volume das valas (m ³)	Volume de resíduos gerados ao final da vida útil do aterro (kg)	Área necessária (m ²)	Área necessária (ha)
1	18	18	2.458.805,94	136600,33	13,66
2	18	36	2.458.805,94	68300,16	6,83
3	18	54	2.458.805,94	45533,44	4,55
4	18	72	2.458.805,94	34150,08	3,42

Além de se considerar, para determinação da área do aterro sanitário, a dimensão das valas, há que se acrescentar nesse cálculo, o espaço para as áreas de servidão, a exemplo do cinturão de vegetação, estradas internas, galpões, instalações de escritório e balança, dentre outros, que não receberão despejo de resíduos. Estima-se que as áreas de servidão ocupem cerca de 20% da área total do aterro sanitário. Assim, para o projeto de aterro do CONCISSS, considerando-se a profundidade média de 2,0 m para as trincheiras; para uma vida útil de 20 anos, o terreno deverá apresentar aproximadamente a seguinte área:

$$\text{Área} = 6,83 \text{ ha} \times 0,20 + 6,83 \text{ ha} = 8,20 \text{ ha (Equação 4)}$$

Para o volume de resíduos gerado ao longo da vida útil do aterro do CONCISSS, considerando-se fatores como gerenciamento do aterro, logística de transporte e implantação de coleta seletiva nos cinco municípios integrantes do consórcio e dimensões das áreas avaliadas, a construção de taludes de até 20 metros de altura com recobrimento por argila parece ser a forma mais viável de atender às necessidades do projeto.

Avaliação Individual das Áreas Pré-selecionadas

Atendendo à Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), as sete áreas pré-selecionadas ilustradas na figura 2 foram analisadas em relação aos critérios estabelecidos, com o objetivo de se identificar a mais apropriada para a implantação do aterro sanitário consorciado.

São apresentadas a seguir as características físicas das sete áreas analisadas a fim de integrar a matriz de avaliação para ponderação de todas e identificação das áreas mais indicadas para a instalação do aterro sanitário do CONCISSS. Os mapas com as figuras 5 e 6 apresentam em escala de maior detalhe a localização das sete áreas avaliadas.

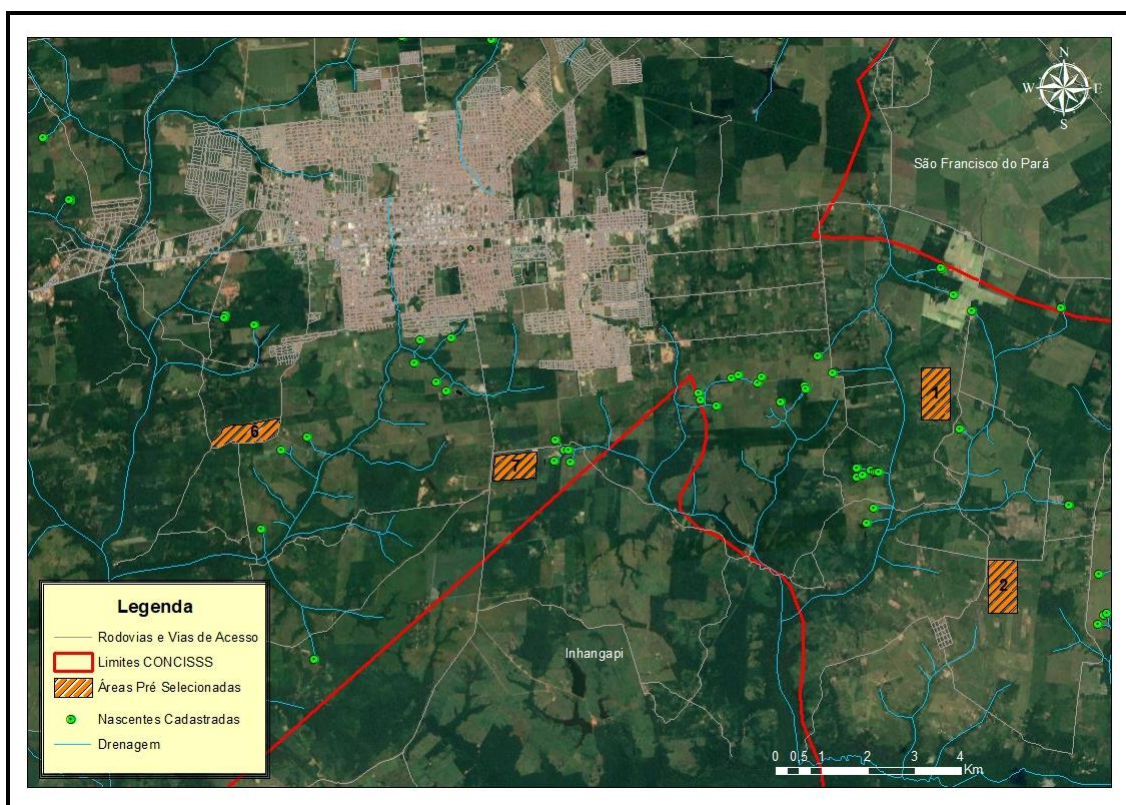


Figura 5: Localização em detalhe das áreas 1, 2, 6 e 7 nas proximidades da zona urbana de Castanhal.

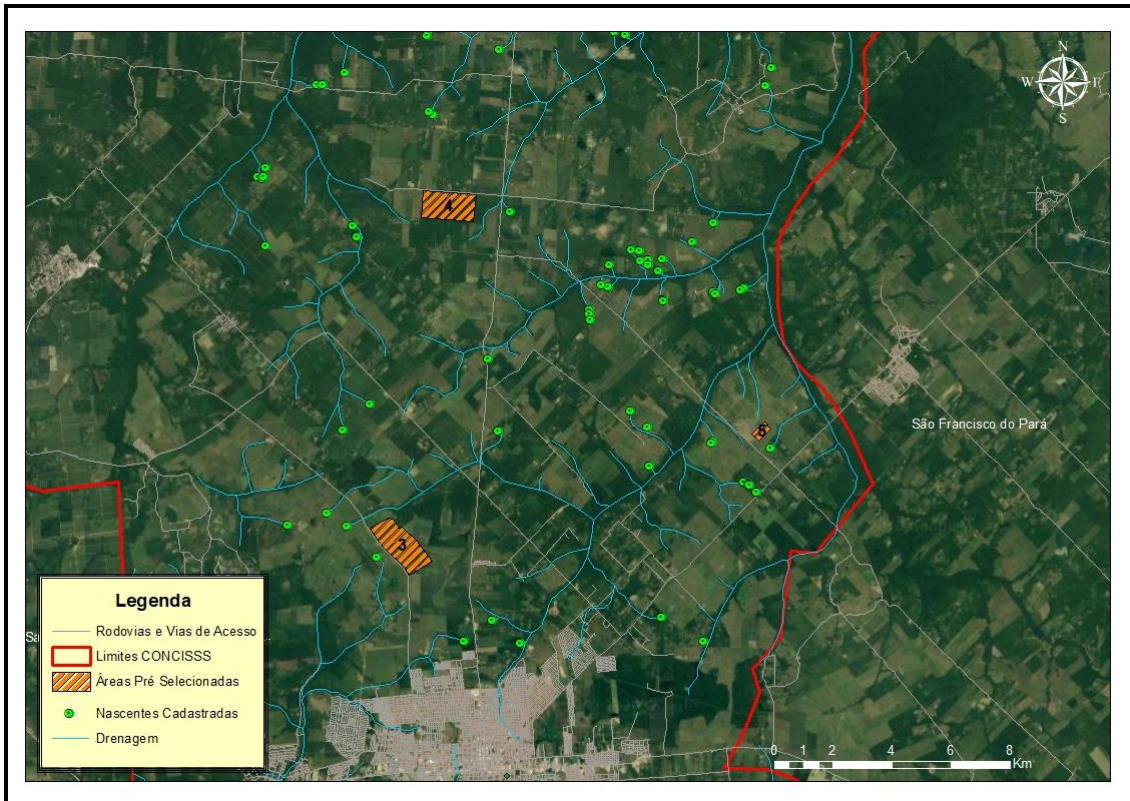


Figura 6: Localização em detalhe das áreas 3, 4 e 5 nas proximidades da zona urbana de Castanhal.

➤ Área 1

A área identificada como área 1, por intermédio do SIG produzido para o presente estudo, está localizada na região sudeste da zona urbana do município de Castanhal (figura 5) e abrange uma extensão de aproximadamente 71 hectares. Nessa foram realizados três furos de trado para a coleta de sedimentos da zona não saturada e determinação da condutividade hidráulica vertical da zona vadosa (pontos 9, 10 e 11), aplicando o método do *open end hole*. O método preconiza que em cada ponto são realizados três furos com trado mecânico, para medir a condutividade hidráulica vertical a 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m de profundidade, nestes diferentes horizontes de solo ou sedimentos inconsolidados. As fotos 1 e 2 ilustram a execução de alguns desses furos na área 1.



Foto 1: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 9, Área 1.



Foto 2: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 10, Área 1.

A tabela 12 ilustra os valores da condutividade hidráulica vertical média e mediana nos três pontos avaliados, abrangendo as profundidades entre 0,5 e 1,5 metros.

Tabela 12: Valores de K_v médios e medianos identificados nos três pontos avaliados na área 1.

	Ponto 9		Ponto 10		Ponto 11		Área 1	
	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00371	0,01012	0,00046	0,00048	0,02651	0,02651	0,0061833	0,0206167
K_v (m/dia)	5,34803	14,57351	0,65985	0,68580	0,00371	12,72526	0,65985	9,32819

Os valores de K_v medianos ($3,71 \times 10^{-3}$ cm/seg, $4,58 \times 10^{-4}$ cm/seg e $2,65 \times 10^{-2}$ cm/seg) identificados para os testes da Área 1 caracterizam, no geral para essa propriedade física dos sedimentos da zona vadosa valores médios de $2,06 \times 10^{-2}$ cm/seg se enquadram como areia bem selecionada a areia fina, de acordo com a classificação de Fetter (1988), sendo que, as análises granulométricas realizadas com as amostras de sedimentos coletadas identificaram sedimentos com granulometria correspondente a areia fina a muito fina, argilosa, conforme pode ser verificado no gráfico da figura 7.

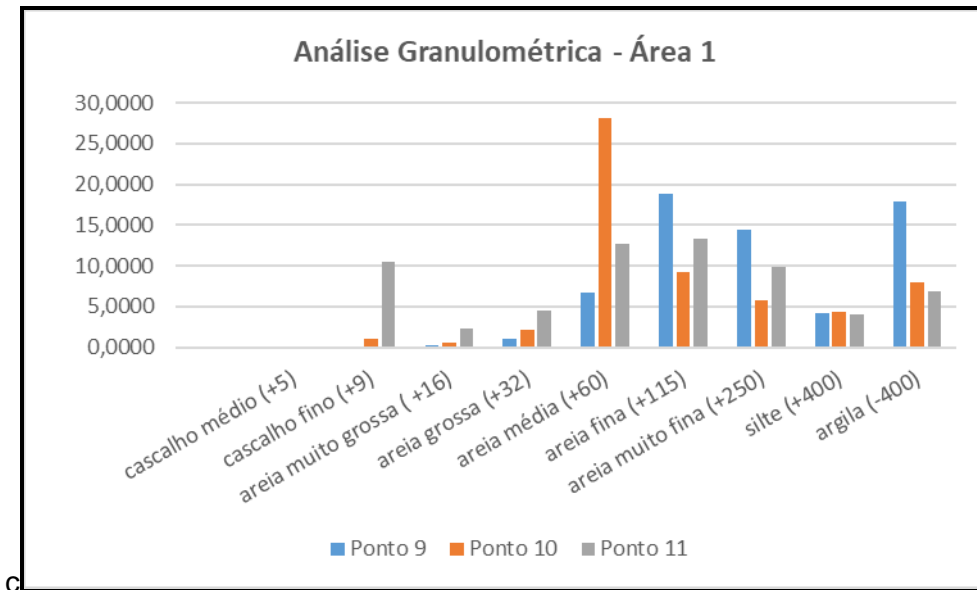
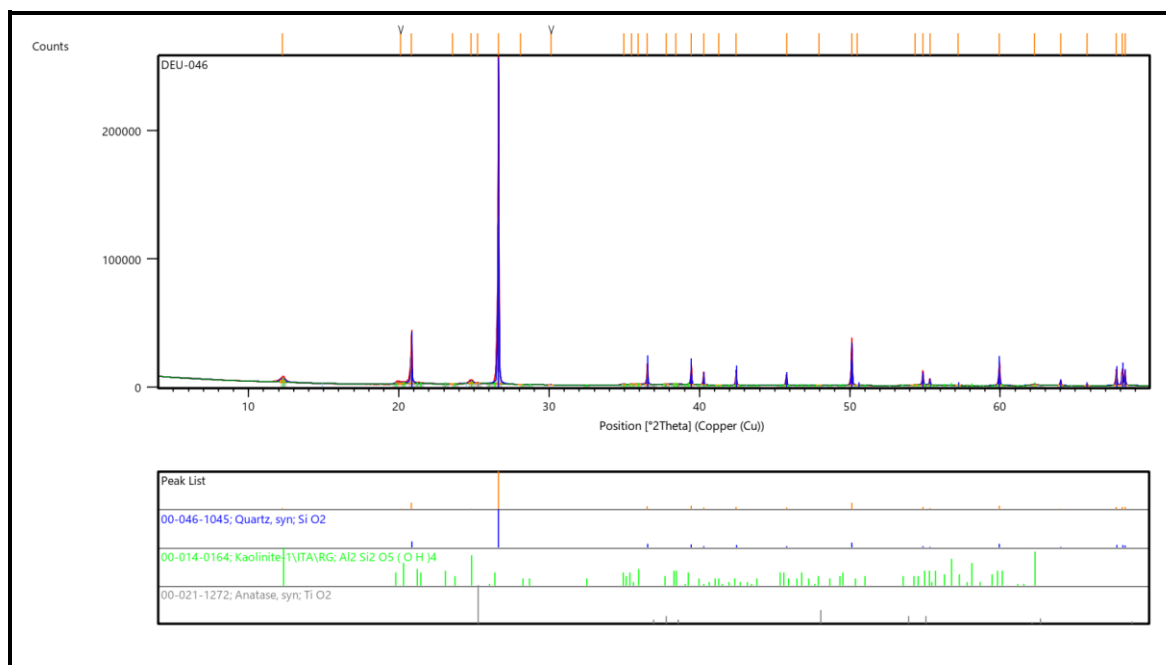


Figura 7: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 1.

As análises realizadas por difratometria de raios – x identificaram minerais predominantes de quartzo com traços de caulinita e anatásio nos pontos 9 e 10, com menores teores de hematita, goetita e caulinita no ponto 11.



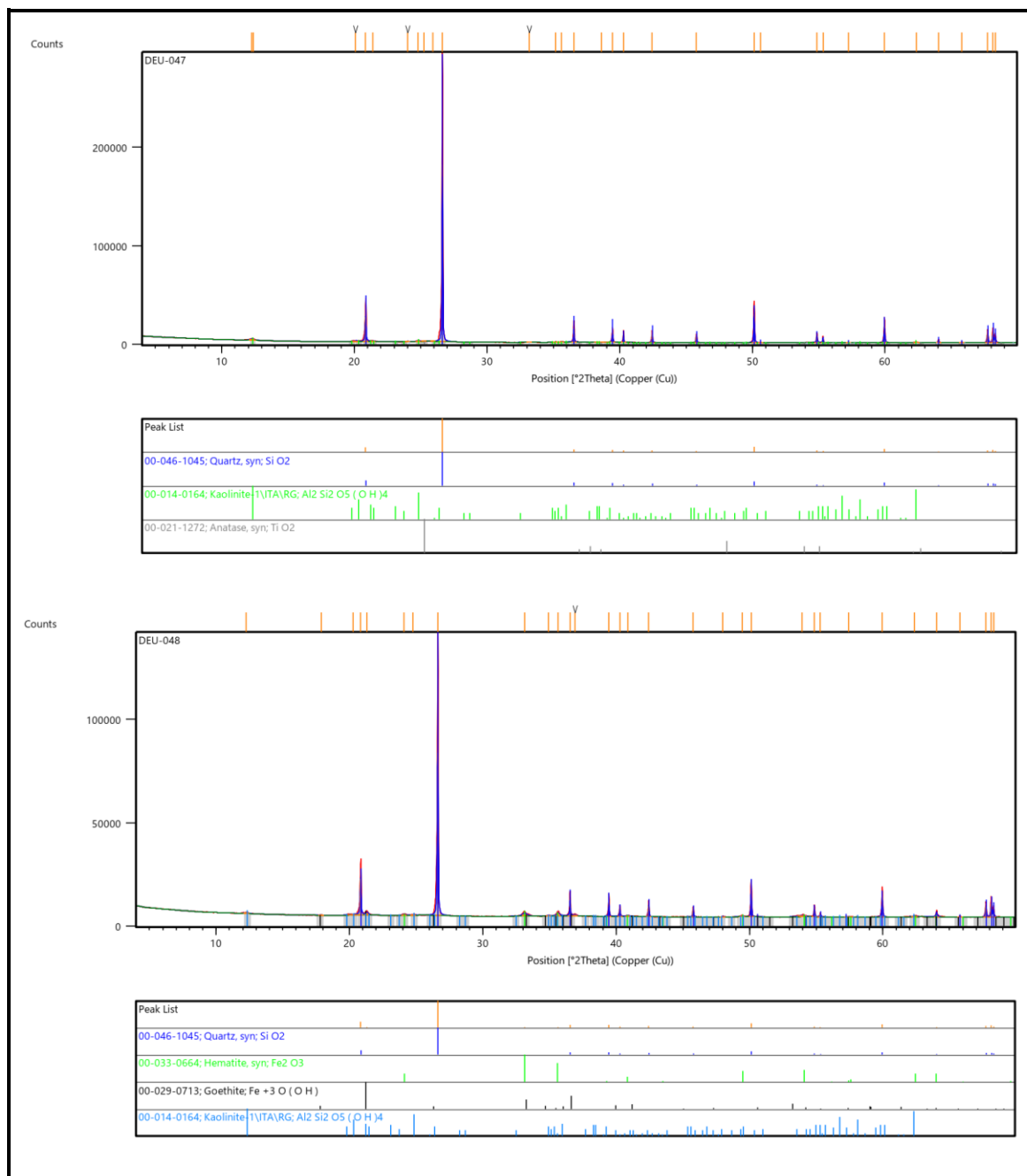


Figura 8: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 1, com predominância de quartzo.

➤ Área 2

A área 2 avaliada nesse estudo também se encontra à sudeste da zona urbana de Castanhal e aproximadamente a 3 km a sudeste da área 1 em linha reta, apresentando 70 hectares de dimensão (figura 5). Na área 2 foram

realizados dois furos de trado para a coleta de sedimentos da zona não saturada e determinação da condutividade hidráulica vertical da zona vadosa, correspondentes aos pontos 1 e 2. As fotos 3 e 4 ilustram a execução de alguns desses furos na área em questão.



Foto 3: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 1, Área 2.

Foto 4: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 2, Área 2.

A tabela 13 ilustra os valores da condutividade hidráulica vertical média e mediana nos três pontos avaliados, abrangendo as profundidades entre 0,5 e 1,5 metros.

Tabela 13: Valores de K_v médios e medianos identificados nos dois pontos avaliados na área 2.

	Ponto 1		Ponto 2		Área 2	
	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,000043908	0,000141004	0,000047609	0,000064626	0,000076265	0,000171358
K_v (m/dia)	0,063227700	0,203045440	0,068557576	0,093060808	0,065892638	0,148053124

Os valores de K_v medianos ($4,39 \times 10^{-5}$ e $4,76 \times 10^{-5}$) identificados nos testes de infiltração realizados na Área 2 inferem valores medianos e médios de $7,62 \times 10^{-5}$ cm/seg e $1,71 \times 10^{-4}$ cm/seg, respectivamente. De acordo com a classificação de Fetter (1988) estes valores se enquadram como areia fina siltosa. As análises granulométricas realizadas com as amostras de sedimentos coletadas identificaram granulometria correspondente a argila arenosa, conforme pode ser verificado no gráfico da figura 9.

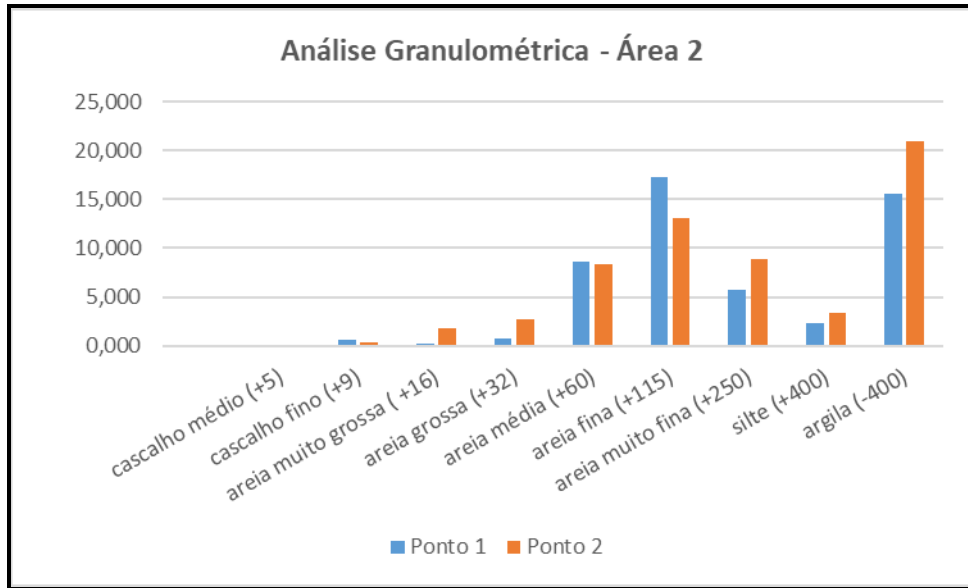
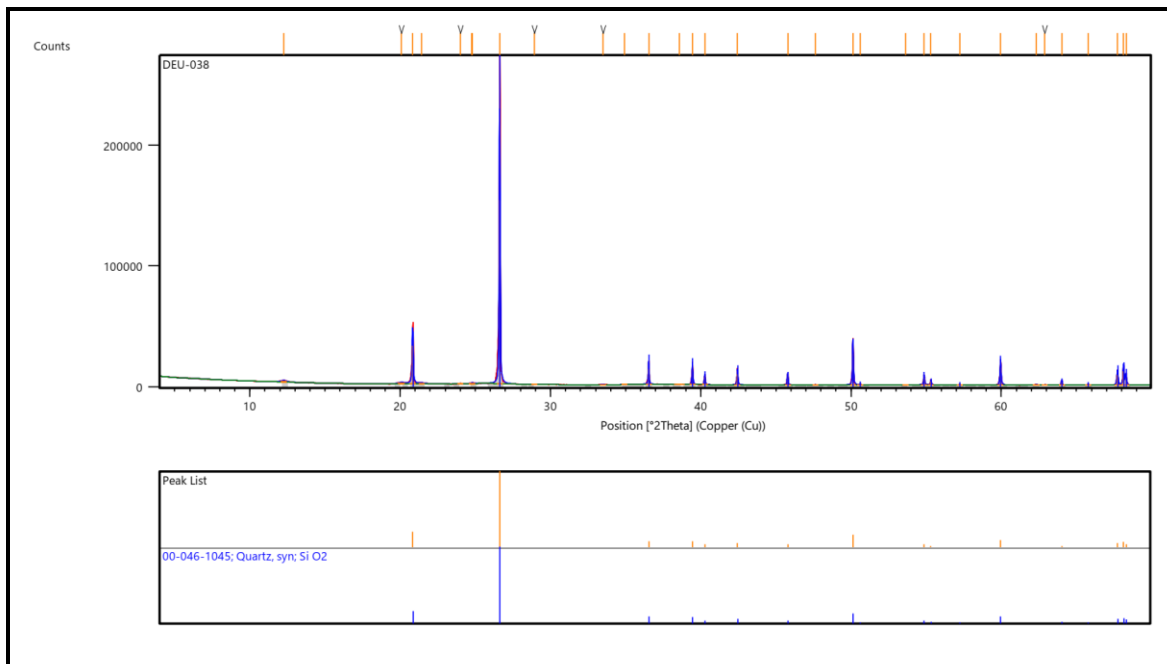


Figura 9: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 2.

A difratometria de raios – x realizada nas amostras de sedimentos dos pontos 1 e 2 identificou a presença predominante de quartzo no primeiro ponto, com traços de caulinita e anatásio no segundo ponto, como pode ser verificado nos gráficos da figura 10.



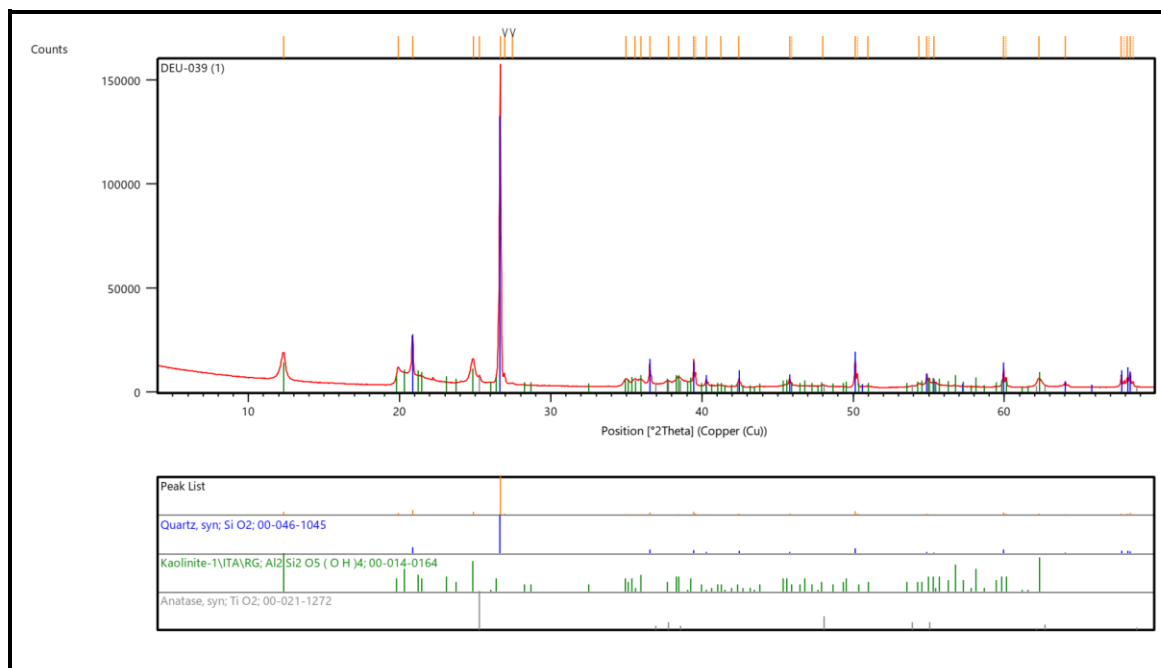


Figura 10: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 2, com predominância de quartzo.

➤ Área 3

A região identificada por Área 3 possui aproximadamente 184 hectares de extensão e está localizada a cerca de 3 km ao norte da zona urbana de Castanhal (figura 6). Os três furos de trado realizados permitiram constatar que os valores medianos e médios dos sedimentos constituintes da zona vadosa são da ordem de $2,0 \times 10^{-3}$ cm/seg e $3,42 \times 10^{-2}$ cm/seg, respectivamente (tabela 14). Estes valores podem ser classificados de acordo com Fetter (1988) como areia bem selecionada siltosa; sendo que, as análises granulométricas realizadas identificaram sedimentos constituídos por areia média a fina argilo siltosa, conforme pode ser verificado no gráfico da figura 11.

Tabela 14: Valores de K_v médios e medianos identificados nos três pontos avaliados na área 3.

	Ponto 6		Ponto 7		Ponto 8		Área 3	
	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00330	0,00354	0,00120	0,00457	0,00120	0,05352	0,002	0,03425
K_v (m/dia)	4,74777	5,10255	1,72794	6,58610	1,72794	77,07423	1,72794	29,58763

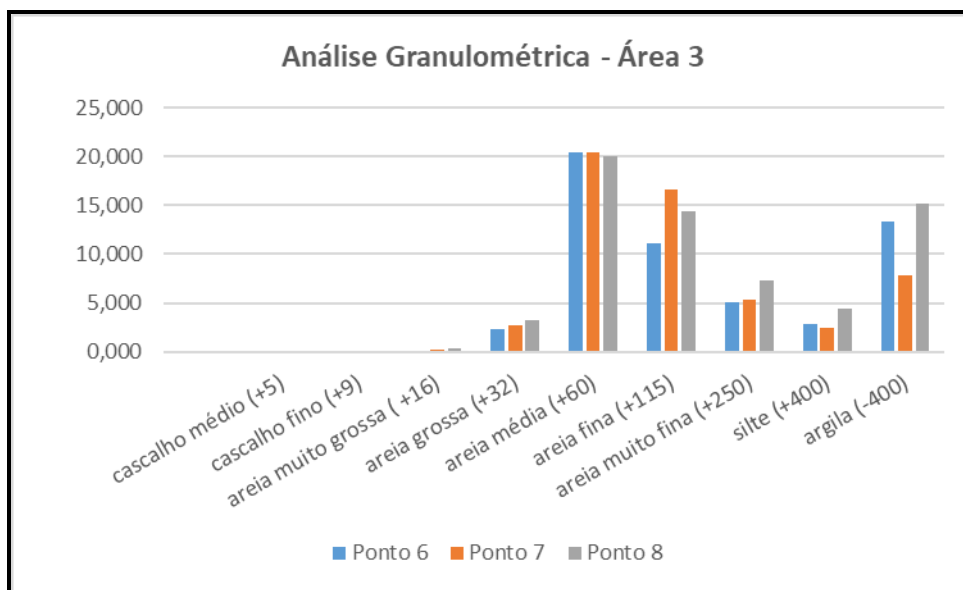
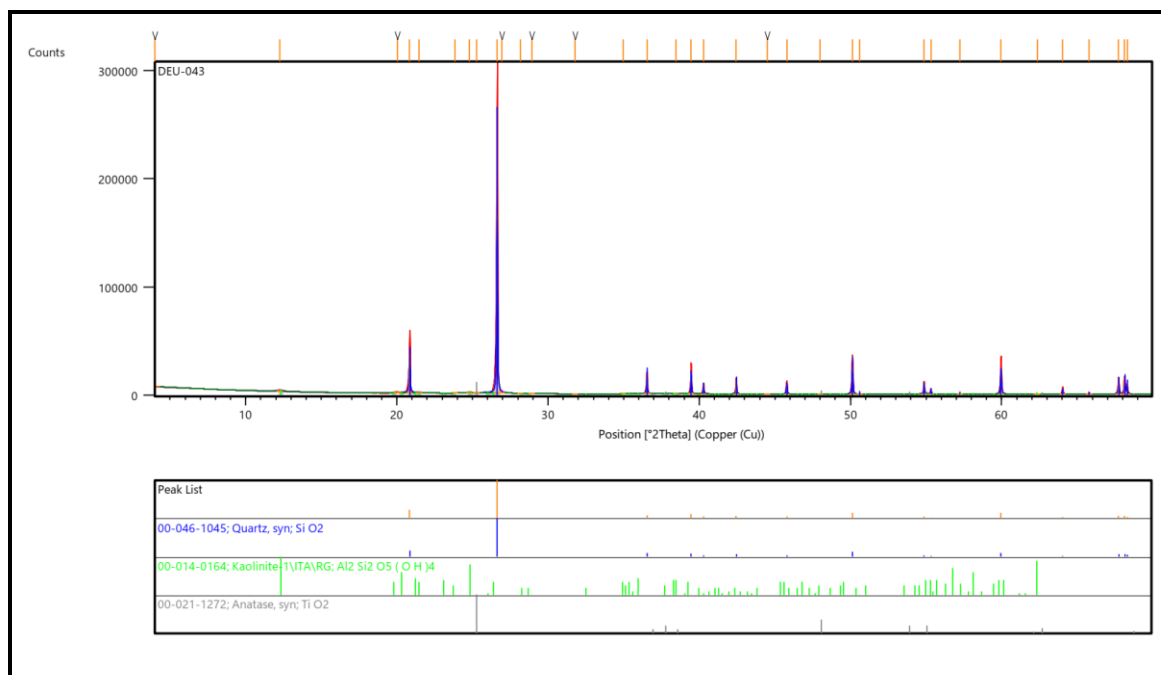


Figura 11: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 3.

A análise por difratometria de raios – x identificou predominantemente sedimentos de quartzo nos pontos 7 e 8 com pequenos traços de caulinita e anatásio no ponto 6, conforme pode ser verificado na figura 12.



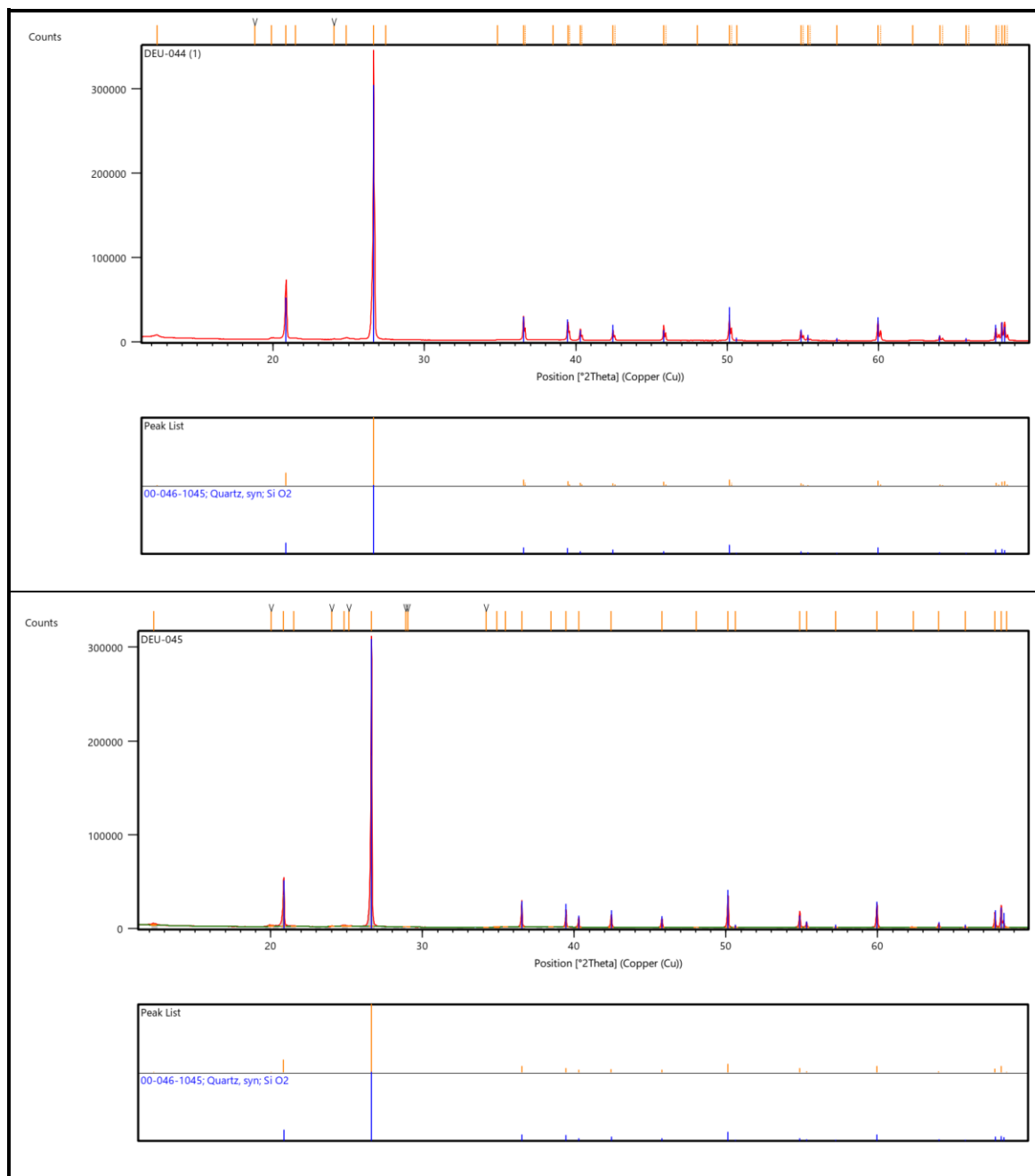


Figura 12: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 3, sendo identificada a predominância de quartzo.

➤ Área 4

A área 4, dentre todas as áreas avaliadas é a que se encontra mais distante da zona urbana de Castanhal, a aproximadamente 18 km ao norte, de acordo com a figura 6. Os testes de infiltração realizados (fotos 5 e 6) pelo método *open end hole* apresentaram valores para a condutividade hidráulica

vertical medianos de $1,05 \times 10^{-3}$ cm/seg e médios na casa de $1,83 \times 10^{-3}$ cm/seg, conforme apresenta a tabela 15, sendo classificadas de acordo com Fetter (1988) como areia bem selecionada e silte arenoso.

Tabela 15: Valores de K_v médios e medianos identificados nos três pontos avaliados na área 4.

	Ponto 16		Ponto 17		Ponto 18		Área 4	
	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,000251	0,0010816	0,00063	0,00054	0,00101	0,00166	0,00105	0,001833
K_v (m/dia)	0,361558	1,5574397	0,91039	0,77840	1,45432	2,39691	0,91039	1,57758



Foto 5: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 16, Área 4.



Foto 6: Furos de trado revestidos com tubos de pvc para realizar teste de infiltração no ponto 18, Área 4.

A análise granulométrica realizada nos sedimentos coletados em horizontes que variam entre 0,5 m e 1,5 m de profundidade apresentou valores correspondentes a areia média a fina, argilo siltosa, conforme denotado no gráfico da figura 13.

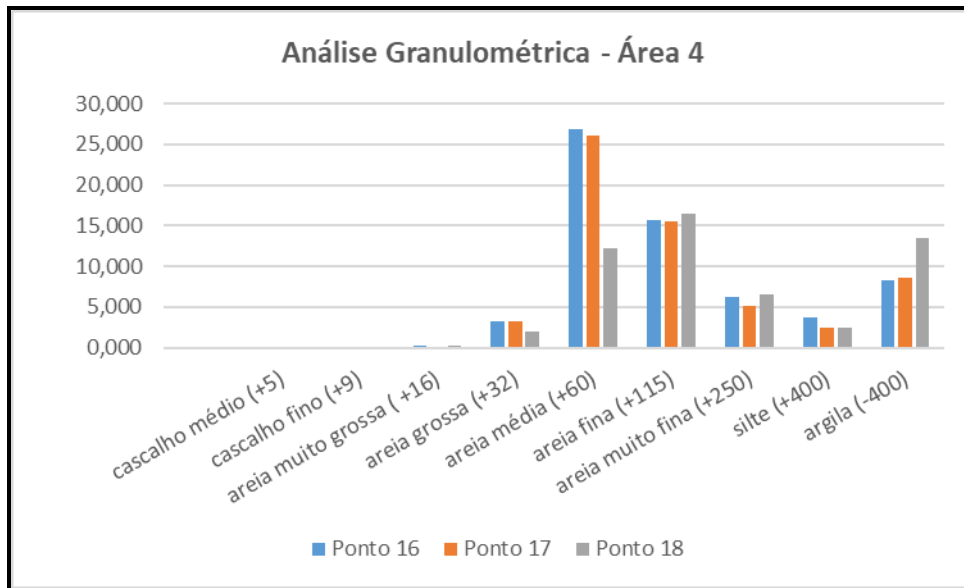
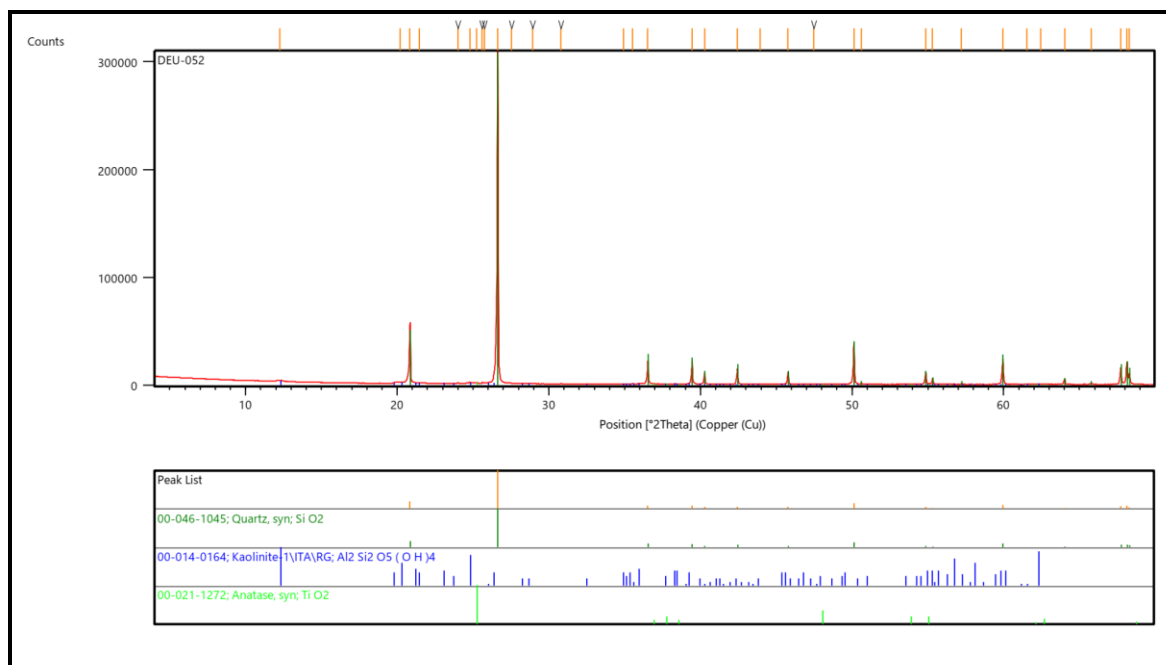


Figura 13: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 4.

As análises de difratometria de raios – x identificaram sedimentos compostos predominantemente por quartzo com traços de caulinita e anatásio nos três pontos investigados, conforme verificado nos gráficos da figura 14.



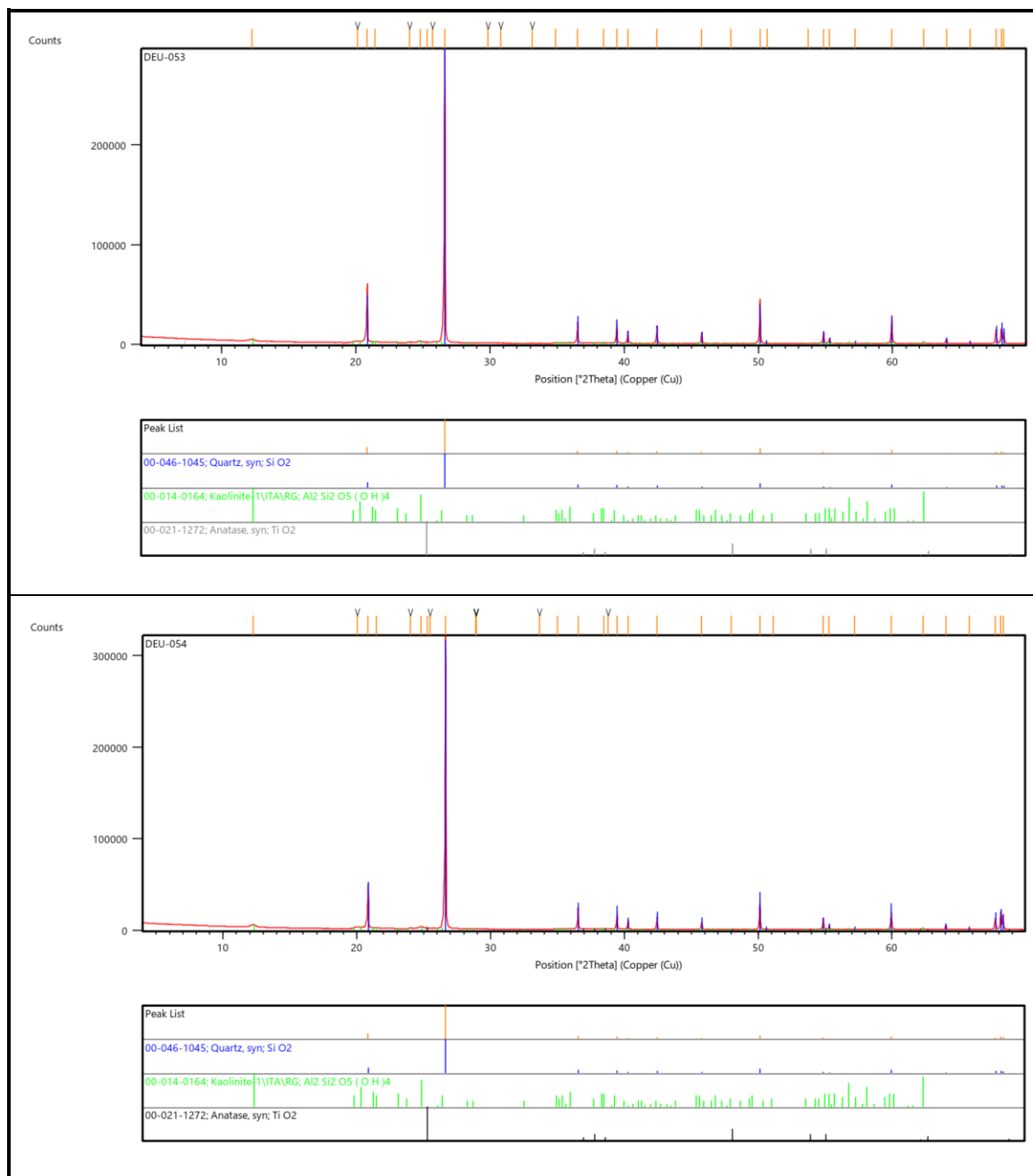


Figura 14: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 4, havendo predominância de quartzo.

➤ Área 5

A área 5, dentre todas as avaliadas é a que possui menores dimensões, na ordem de 19 hectares e está localizada a cerca de 15 km a nordeste da zona urbana de Castanhal, conforme apresenta a figura 6. Os testes de infiltração executados (fotos 7 e 8) obtiveram valores da condutividade

hidráulica da zona não saturada medianos de $5,4 \times 10^{-3}$ cm/seg e médios de $4,96 \times 10^{-3}$ cm/seg, de acordo com a tabela 16.



Foto 7: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 19, Área 5.

Foto 8: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 21, Área 5.

Os valores médios e medianos identificados para K_v na área 5 podem ser classificados de acordo com Fetter (1988) como areia fina, bem selecionada ou silte arenoso. A análise granulométrica realizada corrobora a essa classificação, pois foram identificados sedimentos constituídos por areia fina a muito fina argilo siltosa (figura 15).

Tabela 16: Valores de K_v médios e medianos identificados nos três pontos avaliados na área 5.

	Ponto 19		Ponto 20		Ponto 21		Área 5	
	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	8,174E-05	0,00013063	0,00324	0,00269	0,00728	0,00611	0,0054	0,004966
K_v (m/dia)	0,1177097	0,18810816	4,66358	3,87408	10,48904	8,79181	4,66358	4,28467

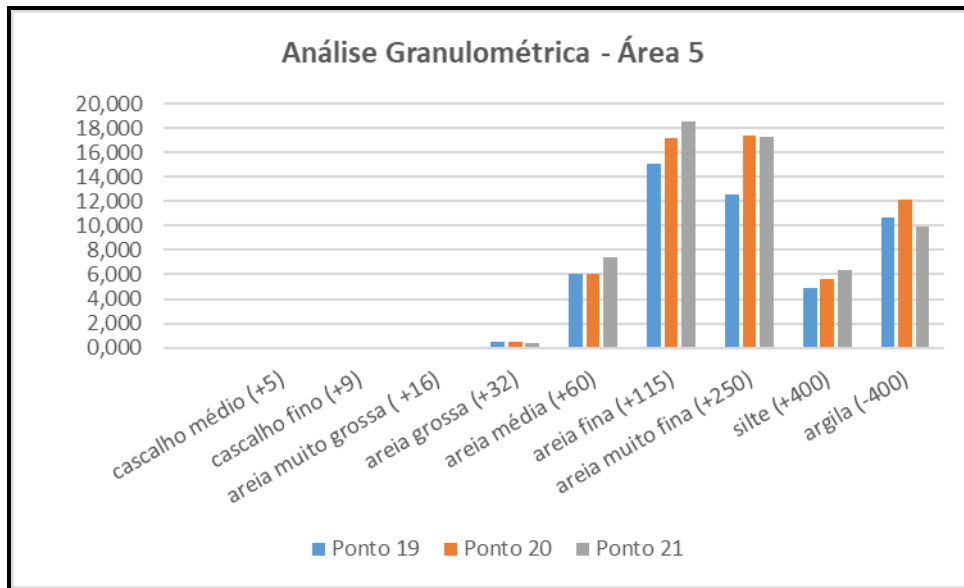
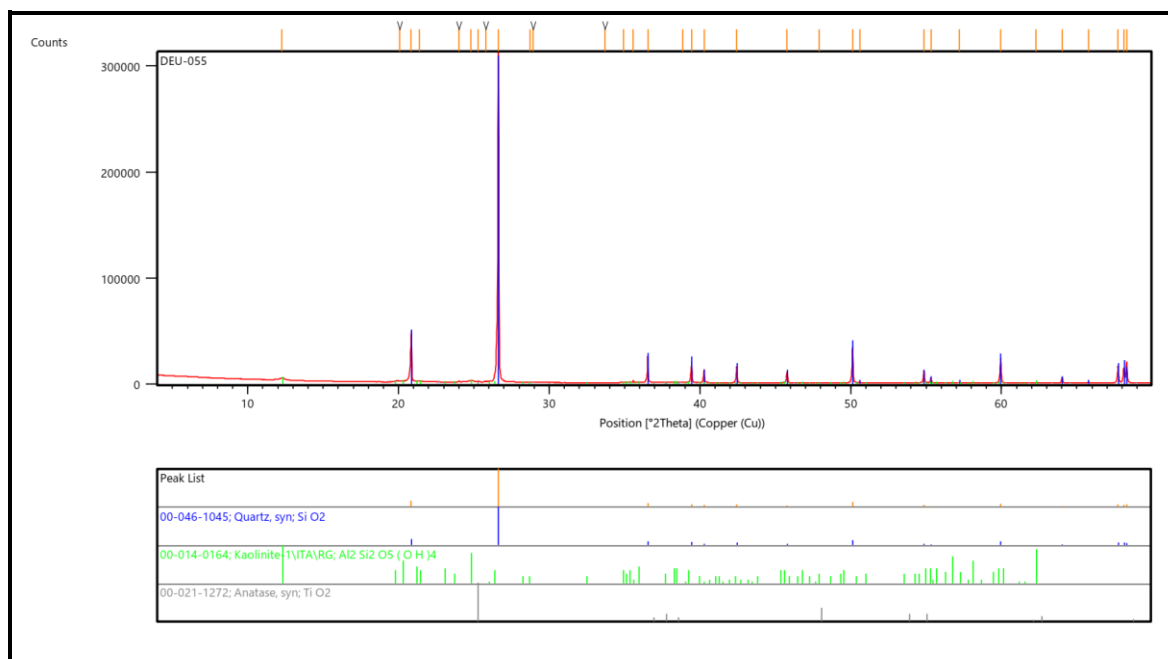


Figura 15: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 5.

As análises realizadas para identificação mineral, aplicando o método da difratometria de raios – x identificaram sedimentos predominantemente quartzosos com traços de caulinita e anatásio em todos os pontos investigados, além de traços de illita no ponto 20. O gráfico da figura 16 apresenta os resultados da difração por raios – x.



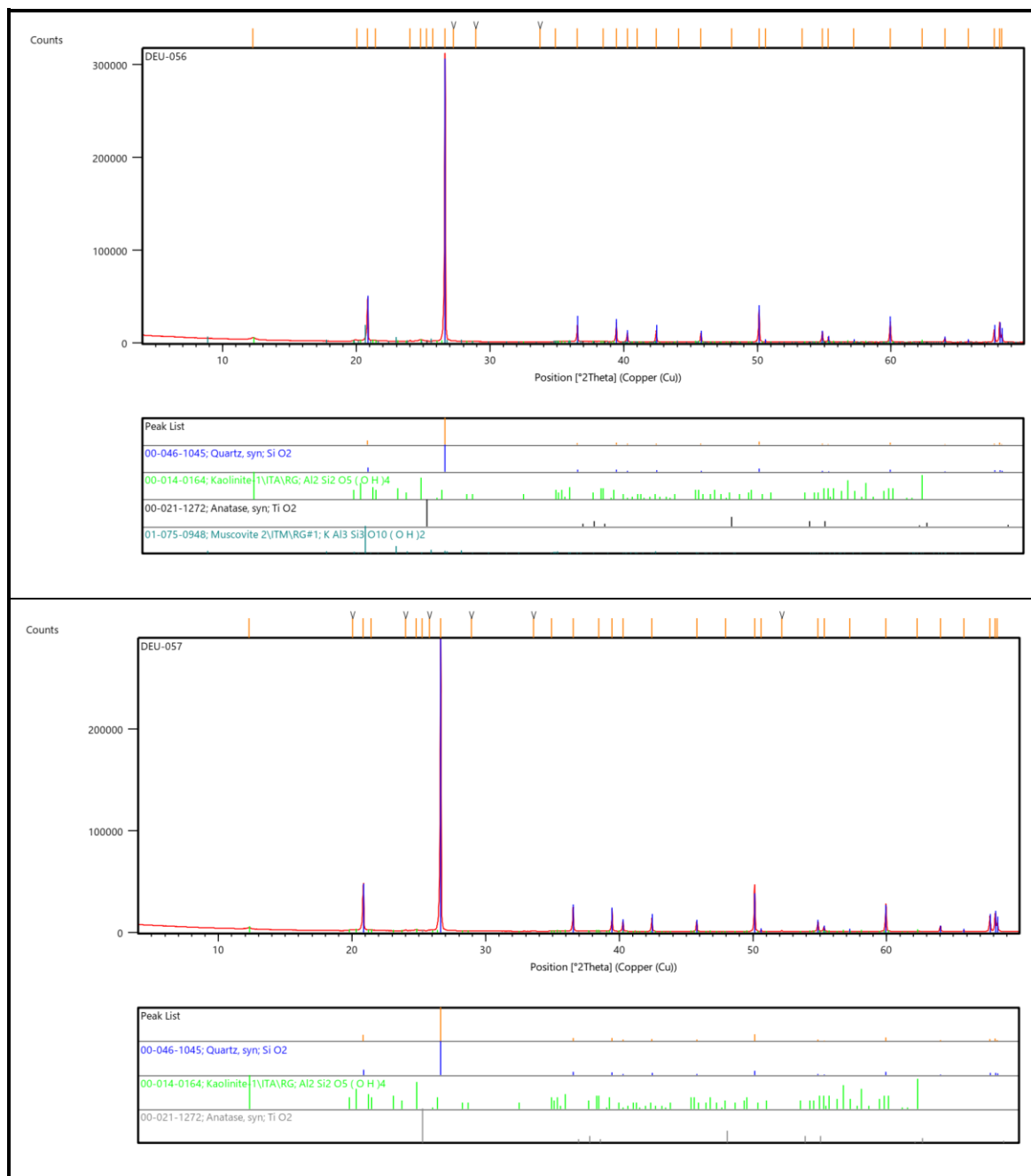


Figura 16: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 5, havendo predominância de quartzo com traços de caulinita, anatásio e illita.

➤ Área 6

A área 6, corresponde à região de Castanhal onde hoje está instalado o atual lixão municipal e possui 52 hectares de extensão, localizado a sudoeste de sua zona urbana (figura 6).

Foram realizados testes de infiltração em três pontos da área (fotos 9 e 10) cujos valores médios e medianos da condutividade hidráulica vertical correspondem a $5,55 \times 10^{-5}$ cm/seg e $3,33 \times 10^{-4}$ cm/seg (tabela 17) o que infere à composição predominante de areia fina a silte, de acordo com Fetter (1988).



Foto 9: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 13, Área 6.

Foto 10: Execução do furo de trado para realizar teste de infiltração no ponto 14, Área 6.

As análises granulométricas realizadas no Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN da CPRM caracterizam os sedimentos como areia fina a muito fina argilo siltosa, conforme pode ser verificado na figura 17.

Tabela 17: Valores de K_v médios e medianos identificados nos três pontos avaliados na área 6.

	Ponto 13		Ponto 14		Ponto 15		Área 6	
	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	1,589E-05	2,036E-05	0,00001	0,00003	0,00022	0,00024	0,0000333	0,0000555
K_v (m/dia)	0,0228877	0,0293221	0,01701	0,04325	0,31833	0,34093	0,02289	0,13784

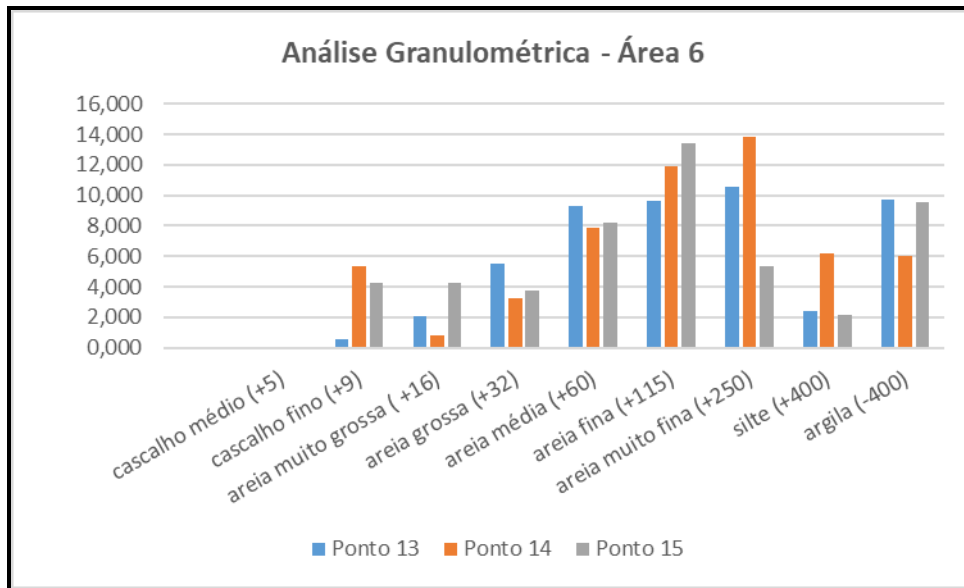
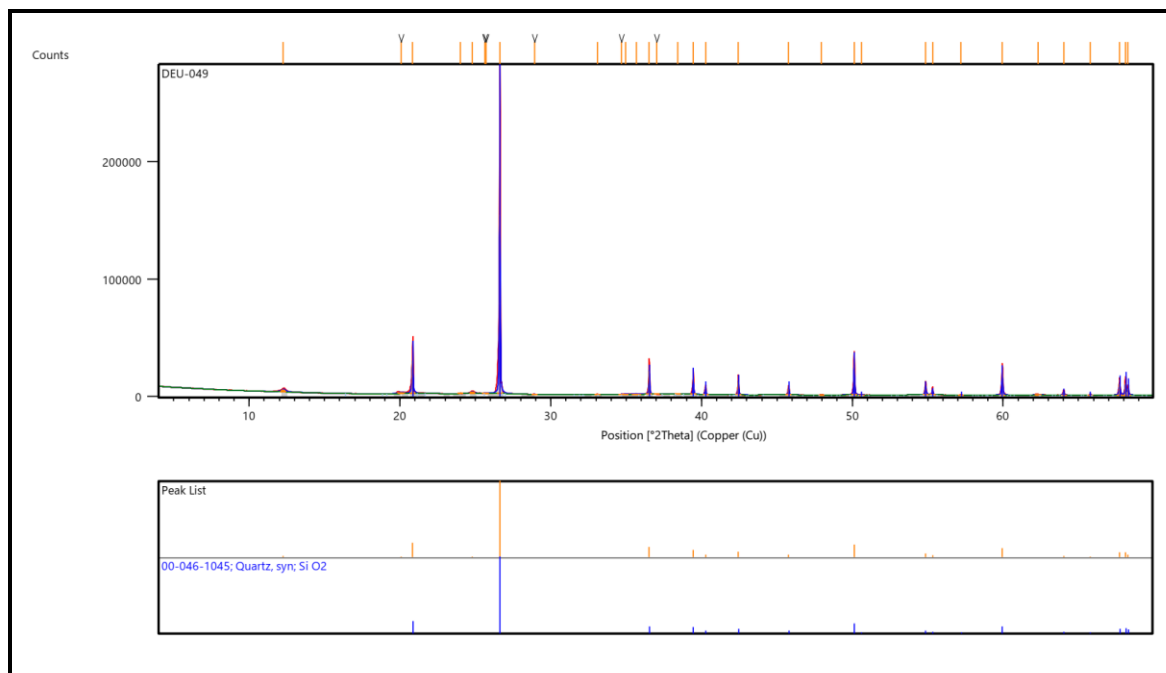


Figura 17: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 6.

As análises por difratometria de raios – x realizadas no LAMIN do ERJ identificaram sedimentos predominantemente quartzosos com menores teores de hematita e caulinita e traços de anatásio nas amostras da área 6. O gráfico da figura 18 apresenta os resultados das análises realizadas.



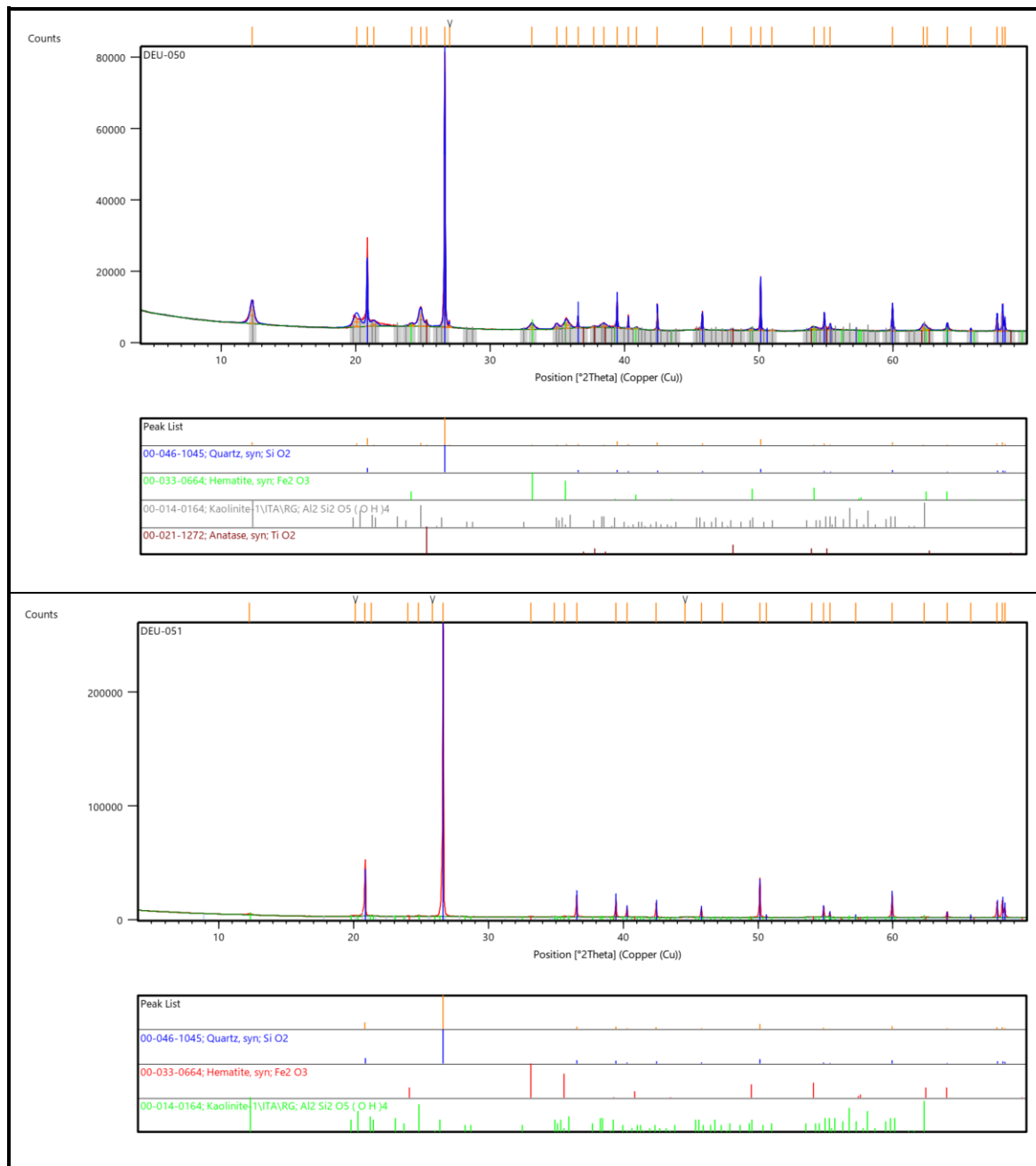


Figura 18: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 6, havendo predominância de quartzo com menores teores de hematita e caulinita, além de traços de anatásio.

➤ Área 7

A sétima área investigada possui dimensões aproximadas de 50 hectares e está localizada, de acordo com o mapa da figura 5, a cerca de 2 km sul da zona urbana de Castanhal. Na área 7 foram selecionados três pontos

para determinação da condutividade hidráulica vertical da zona vadosa e coleta de sedimentos para realizar caracterização granulométrica e caracterização química por difratometria de raios – x.

De acordo com a tabela 18, os valores médios e medianos para K_v identificados nos sedimentos que constituem a zona vadosa na Área 7, variam entre $6,0 \times 10^{-4}$ cm/seg e $3,6 \times 10^{-4}$ cm/seg, respectivamente.

Tabela 18: Valores de K_v médios e medianos identificados nos três pontos avaliados na área 7.

	Ponto 3		Ponto 4		Ponto 5		Área 7	
	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00019	0,00023	0,00064	0,00059	0,00022	0,00027	0,000367	0,0006
K_v (m/dia)	0,27014	0,32894	0,91965	0,85639	0,31978	0,38564	0,31978	0,52366

Quando analisados de acordo com a classificação de Fetter (1988) esses valores são característicos de sedimentos constituídos por areia fina, silte arenoso e argila arenosa.

As análises granulométricas realizadas no LAMIN da Superintendência Regional de Belém do Serviço Geológico do Brasil – CPRM identificaram sedimentos compostos por areia fina argilosa com areia muito fina, conforme pode ser identificado no gráfico da figura 19.

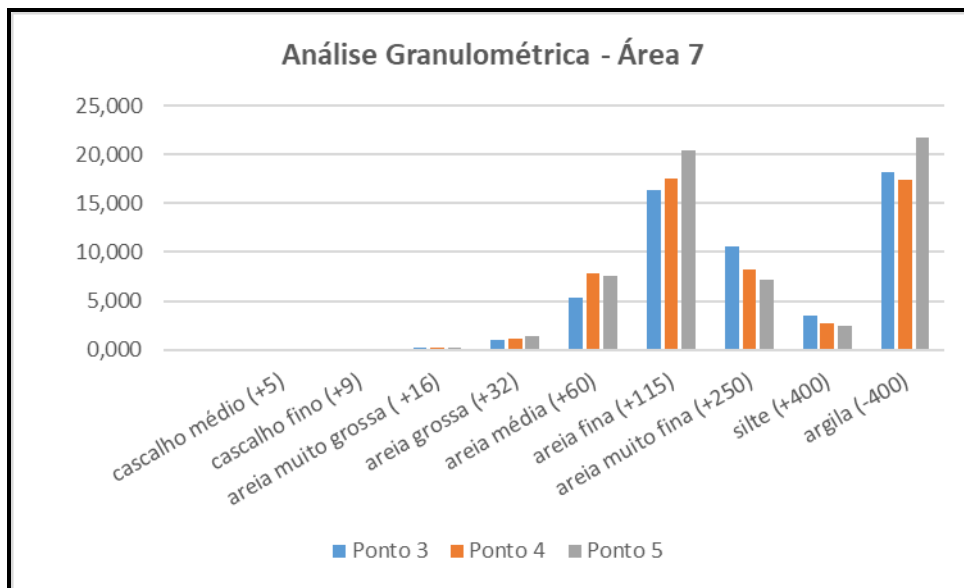
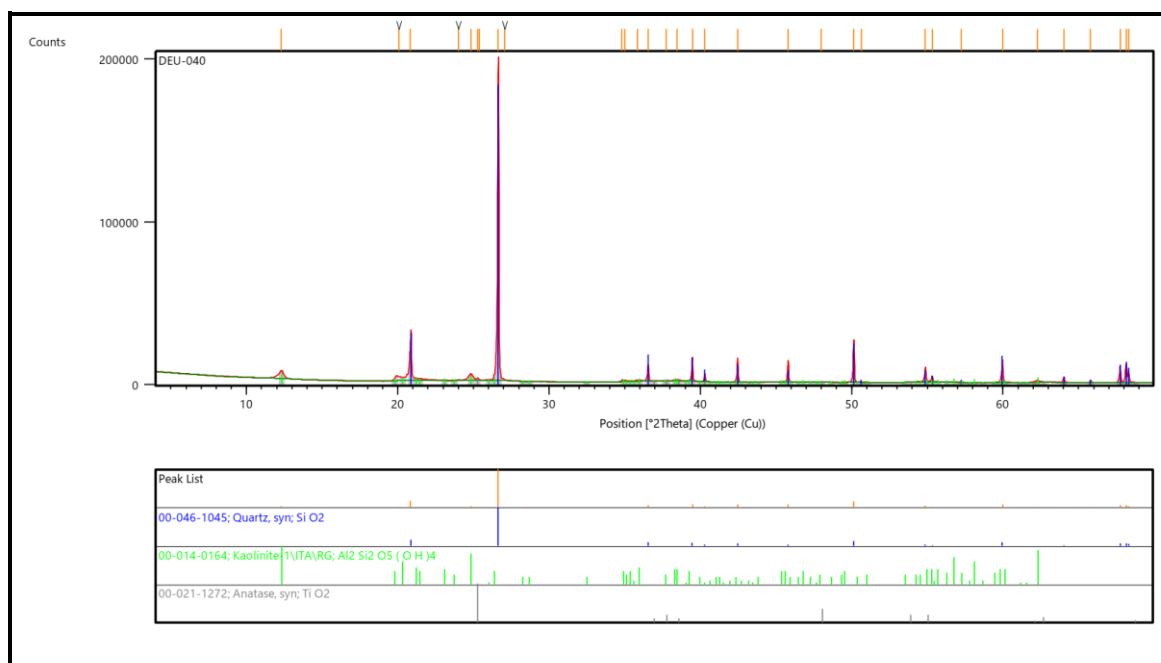


Figura 19: Gráfico ilustrando o resultado das análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados na área 7.



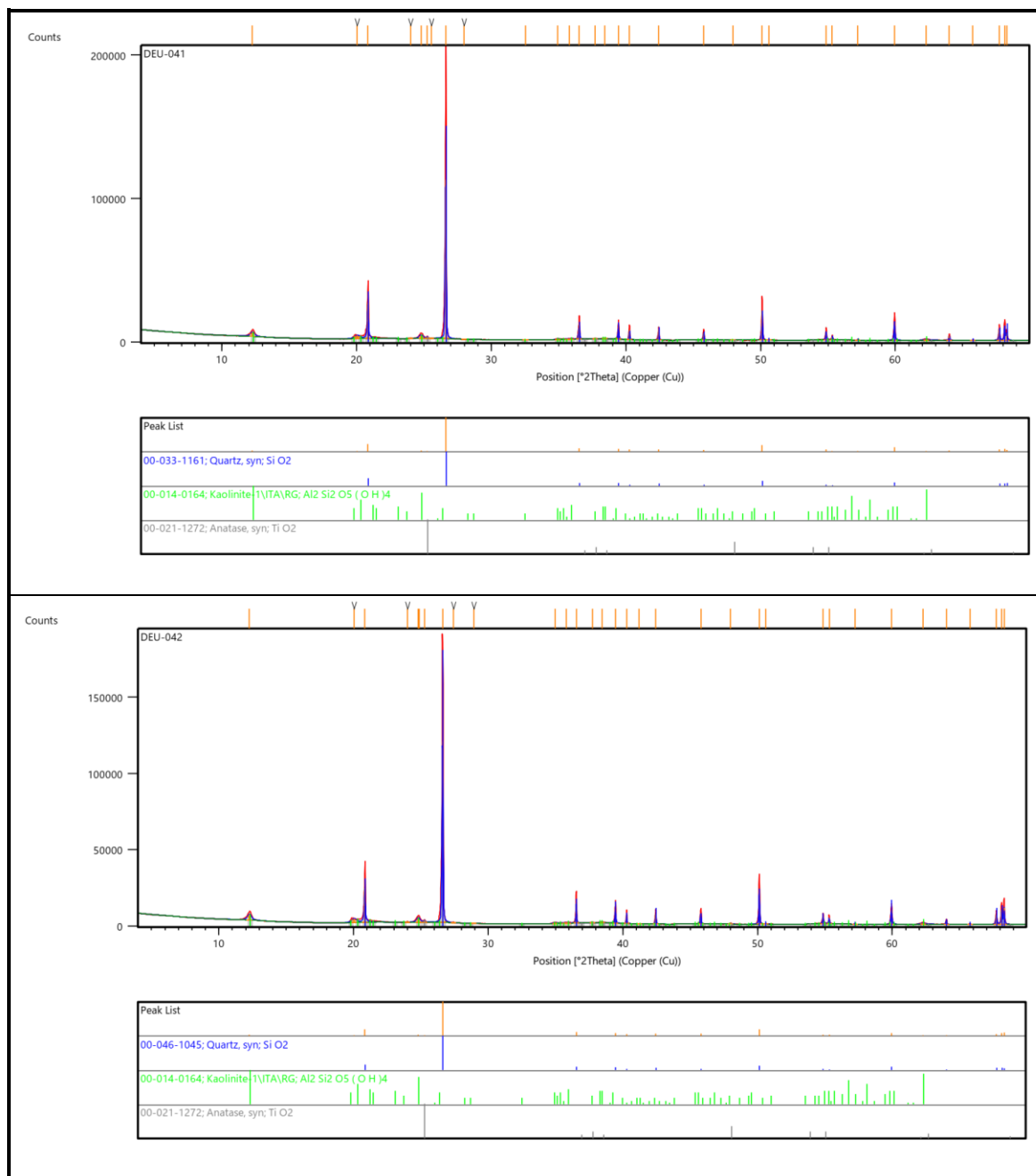


Figura 20: Análises da difratometria de raios – x para os sedimentos coletados na Área 7, havendo predominância de quartzo com traços de caulinita e anatásio.

Análise Comparativa das Áreas

Após a análise detalhada das sete áreas previamente definidas para implantação do aterro sanitário consorciado, foi possível preencher a tabela 19,

a fim de caracterizar os critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais definidos pela NBR 13.896 (ABNT, 1997) e, desta forma, ponderar a área mais favorável.

Para melhor visualizar a classificação das áreas avaliadas, estas foram divididas em três classes: **favoráveis, medianamente favoráveis e desfavoráveis** para a implantação de aterros sanitários; quando se utilizou o modelo apresentado por Krebs *et al.* (1999).

Foram consideradas por Krebs *et al.* (1999) **áreas favoráveis** aquelas que apresentam menores dificuldades para a construção do aterro, onde as características físicas do terreno necessitam de menos modificações, implementação tecnológica, controle ambiental e que não gerem conflitos com as comunidades vizinhas. Estes parâmetros são refletidos na tabela 19 quando mais de 80% dos índices avaliados, ou seja, 13 tópicos apresentam 100% de atendimento.

As **áreas medianamente favoráveis** correspondem aquelas que, segundo Krebs *et al.* (1999) necessitam de projetos especiais, geralmente de custos elevados, para sanar determinadas deficiências relacionadas a uma ou mais características físicas; assim como aquelas áreas que possam apresentar dificuldades de negociação com os proprietários ou gere conflitos abertos com a vizinhança. Na adaptação apresentada, estas áreas são refletidas na tabela 19 quando menos da metade dos parâmetros avaliados, ou seja, 7 tópicos, não sejam totalmente atendidos (índice de 100%), ou então, até dois parâmetros obtiverem 0% de atendimento. As **áreas inadequadas**, por sua vez, conforme Krebs *et al.* (1999) são aquelas que apresentam três ou mais critérios eliminatórios (0% de atendimento).

Tabela 19: 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 (modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO						
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5	ÁREA 6	ÁREA 7
		%	%	%	%	%	%	%
Proximidade a cursos d'água	10	T	T	T	T	T	T	T
Proximidade a núcleo residenciais	10	T	T	T	T	T	T	T
Proximidade a aeroportos	10	T	T	T	T	T	T	T
Distância do lençol freático	10	N	P	T	P	P	T	T
Distância de núcleos de baixa renda	6	T	T	T	T	T	T	T
Vias de acesso com baixa ocupação	6	T	T	T	T	T	T	T
Problemas com a comunidade local	6	T	T	T	T	T	T	T
Aquisição do terreno	4	P	P	P	P	P	T	P
Investimento em infraestrutura	4	P	P	P	P	P	P	P
Vida útil mínima	3	T	T	T	T	P	T	T
Uso do solo	3	T	T	T	T	T	T	T
Permeabilidade do solo natural	3	N	T	N	P	P	T	T
Extensão da bacia de drenagem	3	P	T	P	P	T	T	T
Acesso a veículos pesados	3	T	T	T	T	T	T	T
Material de cobertura	3	T	T	T	T	T	T	T
Manutenção do sistema de drenagem	2	P	P2	P	P	P	P	P
Distância ao centro de coleta	1	*	*	*	*	*	*	*

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

Desta forma, aplicando-se os pesos definidos na tabela 7 aos índices determinados para cada área na tabela 19, as áreas selecionadas chegaram à pontuação calculada na tabela 20 em valores percentuais, para em seguida, ser obtida a pontuação final da tabela 21 em valores absolutos. Vale destacar que, no presente estudo, não foi considerada a distância ao centro de coleta dos resíduos para a pontuação das áreas, considerando-se foi definido pelos

gestores do consórcio que a área do aterro deveria ser localizada no município de Castanhal.

Tabela 20: Porcentagem de atendimento das áreas pré-selecionadas para implantação do aterro sanitário consorciado de acordo com a norma NBR. 13.896 da ABNT (1997).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	PORCENTAGEM DO ATENDIMENTO						
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5	ÁREA 6	ÁREA 7
		%	%	%	%	%	%	%
Proximidade a cursos d'água	10	100	100	100	100	100	100	100
Proximidade a núcleo residenciais	10	100	100	100	100	100	100	100
Proximidade a aeroportos	10	100	100	100	100	100	100	100
Distância do lençol freático	10	0	50	100	50	50	100	100
Distância de núcleos de baixa renda	6	100	100	100	100	100	100	100
Vias de acesso com baixa ocupação	6	100	100	100	100	100	100	100
Problemas com a comunidade local	6	100	100	100	100	100	100	100
Aquisição do terreno	4	50	50	50	50	50	100	50
Investimento em infraestrutura	4	50	50	50	50	50	50	50
Vida útil mínima	3	100	100	100	100	50	100	100
Uso do solo	3	100	100	100	100	100	100	100
Permeabilidade do solo natural	3	0	100	0	50	50	100	100
Extensão da bacia de drenagem	3	50	100	50	50	100	100	100
Acesso a veículos pesados	3	100	100	100	100	100	100	100
Material de cobertura	3	100	100	100	100	100	100	100
Manutenção do sistema de drenagem	2	50	50	50	50	50	50	50
Distância ao centro de coleta	1	*	*	*	*	*	*	*

Conforme pode ser verificado na tabela 21, a pontuação das áreas variou entre 67,0 (Área 1) a 83,5 (Área 6), correspondendo à área menos indicada para instalação do aterro sanitário consorciado e a área mais indicada, respectivamente. Vale destacar que a Área 7 também obteve uma pontuação

superior a 80,0 pontos, sendo classificada como adequada para o propósito do estudo; entretanto, o fator preponderante para sua pontuação final ser inferior à Área 6 é o fato desta área ser de propriedade particular e ainda ter que ser negociada a aquisição com o proprietário, fato este que pode; inclusive, inviabilizar a instalação do aterro, em função do valor estabelecido ou pela própria indisponibilidade de negociação. Outro fator preponderante na classificação das áreas foi a condutividade hidráulica vertical (k_v) da zona não saturada, pois os sedimentos da região avaliada possuem teor de areia elevado, entretanto, foram verificados nas áreas 1 e 3 que esse parâmetro apresenta valores muito elevados, da ordem 10^{-2} cm/seg; enquanto que nas áreas 4 e 5 os índices desse parâmetro são da ordem de 10^{-3} cm/seg e nas áreas 2, 6 e 7 na casa de 10^{-4} cm/seg (figura 21). Evidentemente que essas últimas áreas apresentaram maior pontuação nesse item.

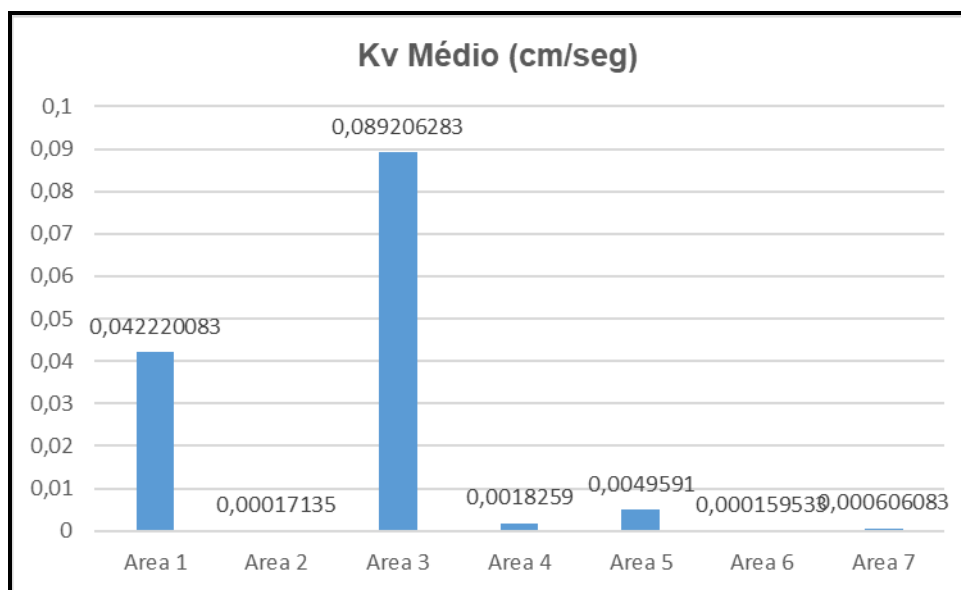


Figura 21: Valores da condutividade hidráulica vertical (k_v) em cm/seg identificados nas áreas avaliadas em Castanhal.

Tabela 21: Pontuação final das áreas pré-selecionadas para implantação do aterro sanitário do CONCISSS, de acordo com a norma NBR. 13.896 da ABNT (1997).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	PONTUAÇÃO DAS ÁREAS						
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5	ÁREA 6	ÁREA 7
Proximidade a cursos d'água	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Proximidade a núcleo residenciais	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Proximidade a aeroportos	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Distância do lençol freático	10	0,0	5,0	10,0	5,0	5,0	10,0	10,0
Distância de núcleos de baixa renda	6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Vias de acesso com baixa ocupação	6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Problemas com a comunidade local	6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Aquisição do terreno	4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	2,0
Investimento em infraestrutura	4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Vida útil mínima	3	3,0	3,0	3,0	3,0	1,5	3,0	3,0
Uso do solo	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Permeabilidade do solo natural	3	0,0	3,0	0,0	1,5	1,5	3,0	3,0
Extensão da bacia de drenagem	3	1,5	3,0	1,5	1,5	3,0	3,0	3,0
Acesso a veículos pesados	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Material de cobertura	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Manutenção do sistema de drenagem	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Distância ao centro de coleta	1	*	*	*	*	*	*	*
TOTAL		67,0	76,5	77,0	73,5	73,5	83,5	81,5

Conclusões e Recomendações

De acordo com os estudos realizados nas sete áreas previamente selecionadas para avaliação do meio físico, de acordo com a Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) foi possível se obter as seguintes conclusões, referentes à(s) área(s) mais indicada(s) para instalação do aterro sanitário consorciado pelos municípios de Castanhal, Inhangapi, Santa Isabel do Pará, Santa Maria do Pará e São Francisco do Pará.

- 1) A relação entre as populações urbanas e rurais nos municípios que constituem o CONCISSS é de 79% e 21%, respectivamente. Perfazendo um total de 234.048 habitantes projetados para o ano de 2019 (IBGE, 2020). Considerando o crescimento demográfico médio de 2,0% ao ano, atingido nos últimos 30 anos nesses municípios, a população urbana estimada para o final da vida útil do aterro consorciado é de aproximadamente 430.780 habitantes;
- 2) O volume de material aterrado ao longo da vida útil do aterro deve atingir 2.766,17 m³ de resíduos sólidos, associados ao material de cobertura na proporção 1:2 entre resíduos e cobertura. Para tanto, foi estimada uma área de aproximadamente 24 hectares de extensão para que o aterro possua vida útil de 20 anos;
- 3) Dentre as duas formas de dispor os resíduos consideradas neste estudo, a mais indicada para o volume produzido pelos municípios integrantes do CONCISSS ao longo da vida útil do aterro é a de empilhamento dos resíduos com projeção de taludes com altura máxima de 20 metros e relação 1:3 entre altura e comprimento;
- 4) As análises granulométricas realizadas nos sedimentos coletados nos furos de trado para executar os testes de infiltração identificaram diâmetros de grãos que variam de areia muito fina a média, argilo siltosa; cujos valores da condutividade hidráulica vertical (k_v) obtidos variam da ordem de 10^{-2} cm/seg nas áreas 1 e 3, 10^{-3} cm/seg nas áreas 4 e 5 e 10^{-4} cm/seg nas áreas 2, 6 e 7. De acordo com o item 7 da tabela

- 1, as áreas 1 e 3 não atendem a esse parâmetro, enquanto que atende parcialmente nas áreas 4 e 5 e atende nas áreas 2, 6 e 7;
- 5) As análises por difratometria de raios - x identificaram minerais predominantemente de quartzo, com traços de caulinita e anatásio, menores teores de hematita e goethita, com pequenas variações em todas as amostras analisadas. O quartzo é o segundo mineral mais abundante da Terra sendo o principal constituinte das areias. A caulinita é um argilomineral de alumínio hidratado, 1:1 formado pelo intemperismo gerado pela hidrólise parcial, em condições de drenagem menos eficientes. O anatásio corresponde a um dióxido de titânio (TiO_2), a hematita (Fe_2O_3) e a goethita (FeO), por sua vez, são óxidos de ferro bi e monovalente. A presença desses minerais indica que os sedimentos constituintes da zona vadosa, na área investigada, são o produto da alteração supergênica das rochas preexistentes;
- 6) Na análise comparativa das áreas, de acordo com a classificação de Krebs *et al.* (1999) as áreas 1, 3, 4 e 5 atendem parcialmente à Norma NBR 13896 (ABNT, 1997) enquanto as áreas 2, 6 e 7, por sua vez, atendem totalmente ao método;
- 7) Aplicando pesos e prioridades aos critérios de seleção, foi possível obter a pontuação final para as sete áreas avaliadas, conforme a tabela 21. Nesta, as áreas 6 e 7 apresentaram pontuações superiores a 81 pontos, sendo que a área 6 foi melhor classificada que a área 7 por ser uma área pública, logo, de fácil regularização para instalar o aterro sanitário. As áreas 1, 3, 4 e 5, por serem parcialmente favoráveis para a instalação do empreendimento pretendido, apresentaram pontuações de 67,0/ 77,0/73,5 e 73,5, respectivamente;
- 8) Desta forma, a área indicada para a instalação do aterro sanitário consorciado em Castanhal, corresponde à Área 6.

Como a Área 6 foi classificada como a mais indicada para instalação do aterro sanitário do CONCISSS, diante dos critérios estabelecidos pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) é possível ponderar algumas recomendações acerca da mesma para a implantação do empreendimento previsto:

- 1) A Área 6 possui em suas imediações o atual “lixão” de Castanhal, que vem sendo explorado há diversos anos para essa atividade predatória ao meio ambiente e à saúde da população de seu entorno. Dessa forma, para se conhecer o estado real das condições ambientais da área, se recomenda a instalação de piezômetros em seus limites a fim de coletar amostras de sedimentos, durante a sua construção, e de amostras de água subterrânea periodicamente, a fim de verificar a presença de elementos nocivos, como metais pesados; além de classificar a hidroquímica local. Este *background* anômalo local servirá de base para o processo de remediação da área e monitoramento ambiental durante a vida útil do aterro sanitário consorciado;
- 2) Estudos geofísicos e geotécnicos para identificar a espessura de camadas argilosas que podem ser utilizadas como material de cobertura disponível, além da profundidade do lençol freático nas áreas das células de disposição, após a definição do projeto executivo do aterro sanitário devem ser executados, pois representam metodologias céleres e pouco onerosas para identificar tais características do meio físico local;
- 3) A instalação prévia de poços de monitoramento (piezômetros) a fim de verificar o sentido do fluxo das águas subterrâneas é imprescindível para elaborar o projeto executivo do aterro. Uma vez que se deve evitar instalar as células de disposição a montante do fluxo, a fim de evitar possíveis contaminações desse recurso natural.

Referência Bibliográfica

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. 2018. Estudos hidrogeológicos para a gestão das águas subterrâneas da região de Belém: Relatório técnico temático sobre os ensaios de infiltração na região de Belém / Agência Nacional de Águas; Elaboração e execução: Profill Engenharia e Ambiente S.A. – Brasília: ANA, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.1995. NBR 6502. Rochas e solos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.1997. NBR 13896. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2016. NBR 7181. Solo: Análise granulométrica.

FETTER, C. W. 1988. *Applied Hydrogeology*. 2. ed. *Macmillam Publishing Company*. New York. 592p.

FIORI, J. P. O. Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. 107 p. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2020. <https://cidades.ibge.gov.br/> consultado em 16 de janeiro de 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. 2018. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 4ª ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 316 págs. il. 2018.

KREBS, A. S. J.; ADAMY, A. REIS, M. R. 1999. Alternativas locacionais para a disposição de resíduos sólidos urbanos na área de Porto Velho. CPRM/Residência de Porto Velho.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2019. <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos> consultado em 20 de novembro de 2019.

MONTEIRO, J. H. P *et al.* 2004. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. IBAM. 193p.