

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARIANA CAMPOS BARBOSA

**UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO *GUELPH* NO ANTIGO DEPÓSITO DE
RESÍDUOS DE ROLÂNDIA-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

**LONDRINA
2014**

MARIANA CAMPOS BARBOSA

**UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO *GUELPH* NO ANTIGO DEPÓSITO DE
RESÍDUOS DE ROLÂNDIA-PR**

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

**LONDRINA
2014**

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão, em primeiro lugar, a Deus, pelo dom da vida, por guiar e iluminar meus caminhos, por ser minha fortaleza nos momentos difíceis. A Ele, toda honra e toda glória.

Agradeço, especialmente, aos meus pais, por não medirem esforços e por tantas renúncias para proporcionar sempre o melhor para nossa família. Vocês são exemplo de caráter que levarei para a vida toda. Obrigada por todo o suporte, apoio e carinho.

Às minhas irmãs Leticia Barbosa Colla da Silva pela amizade e companheirismo de sempre e Fernanda Campos Barbosa por ser a minha primeira professora na infância e pelos conselhos acadêmicos e profissionais.

Ao orientador Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos pelo carinho, dedicação e paciência durante a execução do estudo e elaboração do relatório. O seu amor pela profissão reflete em todos os seus trabalhos e inspira seus alunos.

Aos amigos da faculdade, que através da amizade fizeram os dias difíceis e estressantes de provas e entrega de trabalhos valerem a pena. Tenho certeza que vou sentir falta da nossa rotina e levarei na memória cada momento da nossa vida acadêmica.

Meus agradecimentos a todos que contribuíram direta e indiretamente, para que eu realizasse mais esta etapa.

“E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.”

I Coríntios 13. 2

RESUMO

BARBOSA, Mariana Campos. **Utilização do permeâmetro *Guelph* no antigo depósito de resíduos de Rolândia-PR**. 2014. 63 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

No Brasil, o descarte de resíduos sólidos originados devido à produção exacerbada de bens e produtos durante décadas tornou-se uma problemática somada à falta de tratamento dos resíduos sólidos e às formas inadequadas de disposição final, como *vazadouros ou lixões a céu aberto*. A degradação da fração orgânica e inorgânica dos resíduos sólidos urbanos associados às águas pluviais resulta em situações de contaminação pela infiltração de lixiviados, que podem carrear também metais pesados pelos horizontes do solo até as águas subterrâneas, sendo um indicativo de alerta para o alto risco de contaminação no meio ambiente e para a saúde da população. O encerramento de aterros e depósitos de resíduos deve ser realizado com a introdução e compactação do solo de modo que a camada de cobertura não permita a condução hidráulica e minimize a poluição e a degradação ambiental. Dessa forma o estudo das propriedades geotécnicas é fundamental para avaliar áreas impactadas e evitar inúmeros problemas ambientais devido à condução de lixiviados. A área de pesquisa é o antigo depósito de resíduos de Rolândia-PR, localizado na porção norte do município. A deposição dos resíduos sólidos urbanos ocorreu até o ano de 2002 quando foi decretado o encerramento das atividades no local. A área foi dividida em três partes distintas: jusante, talude, e a camada de cobertura final do depósito de resíduos. Algumas propriedades do solo foram então determinadas, dentre elas o coeficiente de permeabilidade (K) ou condutividade hidráulica, que é a taxa de infiltração de um fluido em um meio poroso. Na zona não-saturada, por meio dos ensaios de infiltração, utilizando o permeâmetro *Guelph*, obteve-se baixa permeabilidade dos solos, com variações entre 10^{-5} cm/s e 10^{-4} cm/s. Dessa forma, o lixiviado pode atingir o solo e se espalhar através das linhas de fluxo subterrâneo.

Palavras-chave: poluição ambiental, condutividade hidráulica, permeâmetro *Guelph*.

ABSTRACT

BARBOSA, Mariana Campos. **Utilisation of *Guelph* permeameter at the former waste disposal site in Rolândia-PR**. 2014. 63 f. Conclusion of course work (Environmental Engineering undergraduate program) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

In Brazil, the discard of solid waste generated due to the exacerbated production of goods and products over decades became a problematic question added to the lack of treatment for solid waste and to the inadequate ways of final disposal, such as *open-air dumps*. The degradation of organic and inorganic fraction of urban solid waste associated with stormwater results in contamination occurrences for the infiltration of leachate, which can also carry heavy metals through soil horizons until groundwater, being a warning indicative of the high contamination risk to the environment and to the population health. The closure of landfills and waste disposal site must be realised with the introduction and compaction of the soil so that the cover layer does not allow hydraulic conductance and minimises pollution and environmental degradation. Thereby, studying the geotechnical properties is essential for assessing impacted areas and for avoiding numerous environmental problems due to leachates conductance. The research area is the former waste disposal waste in Rolândia-PR located in the Northern portion of the city. The deposition of urban solid waste occurred up to the year 2002 when it was decreed the closure of the activities at the site. The area was divided in three distinct parts: downstream, slope, and the cover layer of the waste disposal site. Some soil properties were then determined, such as the coefficient of permeability (K) or hydraulic conductivity, which is the infiltration rate of a fluid in a porous media. At the non-saturated zone, by means of the infiltration tests utilising a *Guelph* permeameter, low soils permeability was obtained, varying from 10^{-5} cm/s to 10^{-4} cm/s. Thereby, the leachate can reach the soil and spread through the groundwater flow lines.

Keywords: environmental pollution, hydraulic conductivity, *Guelph* permeameter.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo. | 20 |
| Figura 2: Classificação Climática segundo Koppen com destaque para as regiões geográficas do estado do Paraná..... | 21 |
| Figura 3: Unidades Geológicas do estado do Paraná..... | 22 |
| Figura 4: Imagem de satélite mostrando o lixão de Rolândia dividido em três partes para execução do estudo: (1) se refere a jusante do lixão; (2) indica a área do talude; (3) a área do depósito de resíduos, cobertura de solo e vegetação..... | 26 |
| Figura 5: Triângulo de classificação textural..... | 28 |
| Figura 6: As fases do solo e o volume ocupado. | 29 |
| Figura 7: Mapa de Localização do Ensaio de Permeabilidade Hidráulica. | 34 |
| Figura 8: Materiais para a realização da sondagem: escova (1), trado de fundo chato (2) e trado de perfuração (3)..... | 35 |
| Figura 9: Ensaio de condutividade hidráulica utilizando o permeâmetro <i>Guelph</i> | 36 |
| Figura 10: Formação do bulbo de saturação d'água do permeâmetro <i>Guelph</i> | 36 |
| Figura 11: Esquema de funcionamento de um Permeâmetro <i>Guelph</i> | 37 |
| Figura 12: Operação do permeâmetro <i>Guelph</i> | 38 |
| Figura 13: Mapa de Localização do Lixão no Perímetro Urbano de Rolândia..... | 43 |
| Figura 14: Caracterização do Talude da Área de Estudo..... | 45 |
| Figura 15: Caracterização da Área de Cobertura..... | 46 |
| Figura 16: Fragmento de basalto intemperizado..... | 46 |
| Figura 17: Caracterização da Área à Jusante. | 47 |
| Figura 18: Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento..... | 48 |
| Figura 19: Curva de compactação do solo do depósito de resíduos de..... | 55 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1: Transporte e coleta dos resíduos sólidos urbanos e rurais das macrorregiões e do cenário nacional..... | 17 |
| Tabela 2: Classificação do solo de acordo com as normas da ABNT | 27 |
| Tabela 3: Classificação da condutividade hidráulica do solo. | 50 |
| Tabela 4: Granulometria das amostras da área do depósito de resíduos de Rolândia | 52 |
| Tabela 5: Resultados porosidade do solo da área de depósito de resíduos de Rolândia-PR | 53 |
| Tabela 6: Umidade ótima, densidade critica de compactação e Grau de compactação das amostras, obtida através da relação entre a densidade crítica e a densidade aparente..... | 54 |
| Tabela 7: Resultados das propriedades geotécnicas do solo e do ensaio do permeâmetro Guelph..... | 57 |
| Tabela 8: Velocidade de fluxo na área do depósito de resíduos..... | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 10 |
| 2. OBJETIVOS..... | 12 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 12 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 13 |
| 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS..... | 13 |
| 3.1.1 <i>Definição e Classificação</i> | 13 |
| 3.1.2 <i>Problemática dos Resíduos Sólidos</i> | 15 |
| 4. METODOLOGIA | 19 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 19 |
| 4.1.1 <i>Localização da Área</i> | 19 |
| 4.1.2 <i>Características Climáticas</i> | 20 |
| 4.1.3 <i>Aspectos Geológicos</i> | 21 |
| 4.1.4 <i>Aspectos Pedológicos e de Condutividade Hidráulica</i> | 23 |
| 4.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO SOLO | 25 |
| 4.2.1 <i>Análise Granulométrica</i> | 26 |
| 4.2.2 <i>Porosidade total do solo</i> | 28 |
| 4.2.3 <i>Densidade aparente</i> | 29 |
| 4.2.4 <i>Densidade de partículas</i> | 30 |
| 4.2.5 <i>Compactação do Solo</i> | 30 |
| 4.2.6 <i>Ensaio de Proctor</i> | 32 |
| 4.3 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE | 32 |
| 4.3.1 <i>Locação dos Locais de Ensaio</i> | 33 |
| 4.4 LEI DE DARCY | 40 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 42 |
| 5.1 HISTÓRICO DA ÁREA | 42 |
| 5.1.2 <i>Encerramento das Atividades</i> | 48 |
| 5.2 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE..... | 50 |
| 6. CONCLUSÃO | 59 |
| REFERÊNCIAS..... | 61 |

1. INTRODUÇÃO

O ambiente é composto pelos meios físico, biológico, socioeconômico e cultural, os quais se interagem de maneira dinâmica, ou seja, a alteração em um dos meios provoca a alteração nos demais.

Toda atividade humana, qualquer que seja, incide irremediavelmente no ecossistema, quer pelo lado da extração de recursos (caso em que a natureza funciona como fonte), quer pelo lançamento de dejetos sob a forma de matéria ou energia degradada (CAVALCANTI, 2003).

Em decorrência das necessidades humanas, do progresso econômico, do aumento do consumo, os recursos naturais vêm sofrendo modificações com maior intensidade nas últimas décadas, relacionadas, por vezes, com as alterações no meio físico, como: o surgimento de erosões, ocorrência de fluxos de massa, inundações, deposições de sedimentos ou partículas, entre outros fatores.

Essas alterações, na maioria das vezes, acarretam danos ambientais, e necessitam de estudos que visem sua recuperação ou mitigação ambiental. Assim, é necessário que haja estudos das principais características que compõem o meio ambiente, relacionados não apenas a recuperação de áreas degradadas, mas também da compreensão dos processos físicos e ambientais que estarão sobre influência das atividades humanas antes da sua degradação.

Outros impactos estão associados ao crescimento populacional desordenado nos grandes centros urbanos, que trás como consequências a ocupação irregular de áreas ambientalmente preservadas e o aumento dos padrões de consumo da população, interferindo diretamente na produção de resíduos sólidos urbanos e a problemática de sua destinação final.

Deste modo, é preciso que exista o manejo adequado da geração dos resíduos sólidos, os quais demandam grandes investimentos, planejamento estratégico e da conscientização educacional da sociedade.

Como salientado, o descarte de resíduos sólidos originados devido à produção exacerbada de décadas tornou-se uma problemática. No Brasil as formas de gerenciamento e disposição final dos resíduos sólidos de alguns municípios são precárias ou muitas vezes não atende toda população com ações socioeconômicas

estabelecidas no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA) como: o abastecimento de água, o esgotamento sanitário e a destinação de resíduos sólidos. De modo que a ausência de saneamento resulta em contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, que geram impactos negativos ao meio ambiente e à saúde da população.

As formas inadequadas de disposição final em lixões, também denominado como vazadouros a céu aberto, são encontradas na maioria dos municípios ao longo do território nacional. Estes resíduos alocados em local inapropriado e que não possuem serviço de coleta são locomovidos pela ação de intempéries, e depositam-se, muitas vezes, em locais de escoamento das águas da chuva, obstruindo redes de drenagem e, em casos de eventos extremos de pluviosidade, desencadeiam enchentes (JACOBI e BENSON, 2011).

Outro problema decorrente da falta de tratamento dos resíduos sólidos somado às formas inadequadas de disposição final, como lixões e aterros controlados, resulta em situações de contaminação dos solos e águas subterrâneas pela infiltração de lixiviados, que é a associação do chorume resultante da degradação da fração orgânica e inorgânica dos resíduos sólidos urbanos com as águas pluviais que permeiam a massa de resíduos. A presença de metais pesados em meio ao lixiviado é um indicativo de alerta para o alto risco de contaminação no meio ambiente e para a saúde da população.

Dessa forma, estudos que avaliem as propriedades geotécnicas em áreas impactadas são necessários, pois inúmeros problemas ambientais podem ser evitados se as características do comportamento físico da massa terrosa da zona não saturado são conhecidas.

Dentro das propriedades geotécnicas do solo está o coeficiente de permeabilidade (K) ou condutividade hidráulica, que é a taxa de infiltração de um fluido em um meio poroso. Assim, o presente estudo busca compreender o regime de fluxo vertical em meio não saturado no antigo lixão de Rolândia - PR através da utilização do permeâmetro Guelph, que possui como vantagens sua utilização *in situ*, o que lhe confere característica de ensaio representativo, praticidade e confiabilidade, pois se trata um dos métodos de cálculo permeabilidade mais usados atualmente e utiliza-se de carga constante para sua realização.

1.2 JUSTIFICATIVA

As formações geológicas e a composição granulométrica dos solos são alguns aspectos que podem fornecer informações relevantes sobre a condução hidráulica de meios porosos que, por sua vez, levam a compreensão da permeabilidade do solo, da sua porosidade, entre outros entendimentos que irão auxiliar na tomada de decisões sobre os fatores ambientais que regem o comportamento dos diferentes tipos de solos.

Segundo Beck et al., 2000, um conceito para solo pode ser compreendido como:

Um corpo natural da superfície terrestre, constituído de materiais minerais e orgânicos resultantes das interações dos fatores de formação (clima, organismos vivos, material de origem e relevo) através do tempo, contendo matéria viva e em parte modificado pela ação humana, capaz de sustentar plantas, de reter água, de armazenar e transformar resíduos e suportar edificações.

O arranjo espacial dos materiais do solo (ou estrutura do solo) influencia no direcionamento e no tempo de viagem dos fluxos de água. Manning (1997 apud MEAULO, 2002) aponta importantes considerações práticas para o entendimento das relações entre propriedades físicas dos materiais e as hidrogeológicas.

Os materiais granulares inconsolidados podem possuir os mesmos valores de porosidade, independente dos tamanhos dos grãos, já os solos de granulometria argilosa podem apresentar valores de porosidade próximos aos solos de granulometria tamanho cascalho, porém, o tamanho dos poros em ambos os materiais serão diferentes, assim como as propriedades hidrogeológicas.

Outro aspecto a ser considerado é a proporção de espaços preenchidos dos poros por água capilar, em solos argilosos essa proporção é maior do que em solos de granulometria grossa e o argiloso apresentará maior quantidade de água retida do que o solo de textura grossa. Em solos profundos e bem drenados, com textura grossa e grandes quantidades de matéria orgânica apresentarão alta capacidade de infiltração, já os solos rasos e mais argilosos mostrarão baixas taxas e volumes de infiltração.

Além dessas características fundamentais, existem ainda alguns fatores que interferem no volume e na velocidade de infiltração entre outros:

- Cobertura vegetal: quanto maior a densidade florestal maior é o volume de infiltração;
- Topografia: quanto menor à declividade do terreno, maior a infiltração;
- Precipitação: as chuvas mais intensas causam maiores impactos no solo exposto, e os picos de chuva de longa duração preenchem o potencial de estocagem e eventualmente conduzem os mesmos à saturação;
- Uso e ocupação do solo: a impermeabilização através do uso do solo no meio urbano impede a infiltração da água.

O presente trabalho parte da premissa que inúmeros problemas de geotecnia ambiental podem ser estudados se as características do fluxo da água no solo não saturado são conhecidas. Estes problemas vão desde a estabilidade de encostas até o projeto de coberturas de aterros sanitários.

No caso de aterros, o conhecimento da permeabilidade possibilita a verificação da passagem da água pluvial entre a massa de lixo e conseqüentemente a percolação do lixiviado atingindo o solo e as águas subterrâneas. A permeabilidade pode também auxiliar no desenvolvimento de projetos mais econômicos e adequados, bem como melhores soluções para a recuperação e remediação de aterros existentes, sendo extremamente importante aos projetos de tratamento de chorume, bem como sistemas de drenagem de líquidos e gases.

O encerramento de aterros sanitários deve ser acompanhado de procedimentos tecnológicos a fim de atingir os requisitos mínimos, a compactação do solo da base do aterro e da cobertura do solo inerte, em áreas de destinação final de resíduos sólidos, deve ser realizada a fim de minimizar o fluxo de água e resíduos no perfil do solo, e assim, evitar riscos de contaminação no solo e na água.

Cabe ao Engenheiro Ambiental planejar, de acordo com as características ambientais locais, fazer o correto uso do solo para atender as atividades de disposição final dos resíduos sólidos, prevendo o comportamento dos diferentes aspectos físicos do local. Diante desse contexto, a mecânica dos solos possibilita, a partir da aplicação de seus estudos, o conhecimento adequado para esse manejo, minimizando ao máximo os impactos ambientais em decorrências dessas atividades.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a permeabilidade hidráulica aplicada sobre o solo do antigo lixão no município de Rolândia-PR, confrontando os resultados com as propriedades geotécnicas, visando avaliar se a cobertura final do encerramento das atividades de disposição final de resíduos diante da vulnerabilidade do solo da região à condução de lixiviados decorrentes do processo de decomposição.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilização do permeâmetro *Guelph* para a determinação da condutividade hidráulica no solo em condição saturada.
- Relacionar a permeabilidade com as demais propriedades físicas/geotécnicas do solo.
- Calcular as velocidades de fluxo do solo.
- Potencializar os estudos referentes a essa temática, sua influência sobre os impactos ambientais e a conectividade hidráulica de meios porosos no uso e ocupação do solo para destino final de resíduos sólidos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1.1 Definição e Classificação

A Lei Federal 12.305 de Agosto de 2010 regulamenta a gestão dos resíduos sólidos no Brasil e estabelece quais os critérios necessários para classificação e posterior destino final dos resíduos.

O conceito de resíduos sólidos é, de acordo com a legislação, estabelecido pelo Art. 3º, Parágrafo 2º, Inciso 16, o qual apresenta a seguinte definição:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Lei Federal nº12305/2010).

A referida Lei 12.305/10 estabelece, ainda, a classificação dos resíduos sólidos quanto à origem e a periculosidade. A classificação dos resíduos quanto à origem é dada pelo Art. 13, conforme:

I - quanto à origem:

a) resíduos domiciliares: gerados em decorrência de atividades domésticas em residências urbanas;

b) resíduos de limpeza urbana: oriundos da varrição, limpeza de vias públicas e ademais serviços de limpeza urbana;

c) resíduos sólidos urbanos: são compostos pelos resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana;

d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: são aqueles derivados das atividades desenvolvidas dentro do próprio empreendimento;

e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: aqueles gerados em decorrência das atividades exercidas nestes ramos, exceto os resíduos sólidos urbanos;

f) resíduos industriais: derivados dos processos produtivos e instalações industriais;

g) resíduos de serviços de saúde: provenientes de atividades ligadas à saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária);

h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos aqueles resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) resíduos agrossilvopastoris: aqueles resultantes de atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Dentre as regulamentações existem também as normas referentes aos resíduos sólidos, determinadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que dispõe algumas maneiras para a classificação, para o tratamento de resíduos, armazenamento/transporte, entre outros de acordo com a periculosidade do resíduo. A NBR 10004:2004 é uma das normas técnicas que conceitua e classifica os resíduos sólidos para que o gerador faça o manejo ambientalmente adequado desses materiais.

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004, 2004).”

Esta norma técnica (ABNT, 2004) classifica os resíduos segundo três classes, são elas:

•**Resíduos Classe I (Perigosos):** por apresentarem características que colocam em risco o meio ambiente e a saúde pública, tais como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;

•**Resíduos Classe IIA (Não Perigosos e Não Inertes):** Resíduos que não são classificados como perigosos, mas possuem características como: solubilidade em água, biodegradabilidade e combustibilidade;

•**Resíduos Classe IIB (Não Perigosos e Inertes):** Resíduos que não são considerados perigosos e são considerados inertes no meio ambiente por ensaios específicos;

3.1.2 Problemática dos Resíduos Sólidos

A preocupação com o meio ambiente só se inicia quando a disposição de resíduos se torna um problema, tornando o próprio ambiente prejudicial à saúde e segurança do homem. Nota-se, a partir de então, que estudos cada vez mais sofisticados e elaboração de legislações mais rigorosas são desenvolvidos visando garantir o bom funcionamento das organizações sociais.

A gravidade da situação do manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é percebida quando são observados os indicadores apresentados no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2012 (ABELPRE, 2012). A pesquisa aponta o crescimento da geração dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e que cerca de 40% dos RSU foram destinados de forma inadequada nos anos de 2011 e 2012. Os RSU sofreram alterações qualitativas e quantitativas ao longo dos anos, no entanto, a gestão dos resíduos não segue a evolução das tecnologias de produção (DIAS, 2009).

A destinação incorreta dos resíduos acarreta danos que vão além de impactos no meio ambiente: aspectos econômicos, sociais e de saúde pública também devem ser considerados. Com isto, entende-se a importância do devido acondicionamento, recolhimento e destinação dos resíduos. Em estudo divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011) mostra que, apesar

da maioria dos municípios brasileiros dispõem de sistema de coleta de resíduos, aproximadamente 51%, destinam tais materiais em locais sem infraestrutura adequada, como por exemplo, em lixões, também denominados como vazadouros a céu aberto, e que se encontram dispostos ao longo do território nacional.

Segundo Braga et al. (2002) quando a disposição dos resíduos é feita em local sem planejamento ou cuidado com a saúde pública e o meio ambiente, considera-se como lixão. De modo que a ausência de critérios de engenharia tais como: captação de chorume e gases por meio de redes de drenagem, bem como o tratamento de chorume, impermeabilização do solo, compactação dos resíduos para otimização da área de disposição final, cobertura diária da massa de resíduos e monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

Os solos quando estão indevidamente impermeabilizados são passíveis de contaminação pela lixiviação do chorume. Tal processo é descrito como a passagem da água pluviométrica entre os resíduos sólidos em decomposição, infiltrando-se nos solos e carreando elevada carga de poluentes orgânicos e inorgânicos do chorume (LEITE et al., 2004).

Estudo realizado no antigo lixão de Rolândia (PR), por Santos et al. (2003), descreveu o comportamento das águas subterrâneas adjacentes ao local de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, e através de análises físico-químicas das amostras de água coletadas nos poços de monitoramento, identificou a contaminação de metais pesados nas águas subterrâneas. O apontamento de alguns metais pesados já era previsto devido às características do material aterrado, porém, a preocupação maior foi com a presença de chumbo (Pb), na qual a análise dos valores mostra claramente altas concentrações nos poços de monitoramento, excedendo os valores estabelecidos pelos parâmetros máximos do CONAMA 357/2005 para classificação dos corpos d'água, comprometendo a qualidade do aquífero freático local devido a ausência de impermeabilização das valas.

Outro fator muito comum em locais onde há destinação incorreta dos resíduos é a existência de subsídios para o trabalho autônomo em empregos informais. De acordo com Medeiros e Macedo (2006) os empregos informais como no caso de sucateiros que buscam em resíduos dispostos em vias públicas, recursos financeiros para sobreviver por meio da revenda dos resíduos sólidos recicláveis encontrados, intermediando o mercado que deveria naturalmente existir entre as cooperativas de coletores e usinas de reciclagem.

Diante do cenário nacional a Política Nacional de Resíduos Sólidos através da Lei Federal 12.305 de Agosto de 2010 que regulamenta a gestão dos resíduos sólidos estabeleceu a eliminação dos lixões e recuperação destas áreas de passivo ambiental até o ano de 2014.

Contudo, ainda em 2012, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) divulgou o “Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos”, que fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais possibilitando a formulação de políticas públicas e programas de desenvolvimento para a sociedade brasileira.

Em estudo realizado sobre a coleta e o transporte dos resíduos sólidos em áreas urbanas e rurais de 2001 até 2009 no Brasil (Tabela 1), mostra a taxa de cobertura vem crescendo continuamente, atingindo quase 90% em 2009 do total de domicílios, se aproximando da cobertura realizada nos domicílios urbanos. Apesar dos índices serem satisfatórios, o atendimento à população acontece de maneira desigual no território nacional, pois as diferenças são evidentes nas diversas regiões do país, sendo Norte e Nordeste aquelas com a menor taxa de cobertura.

Tabela 1: Transporte e coleta dos resíduos sólidos urbanos e rurais das macrorregiões e do cenário nacional.

| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Brasil | 83,2 | 84,8 | 85,6 | 84,7 | 85,7 | 86,5 | 87,3 | 87,9 | 88,6 |
| Urbano | 94,9 | 95,9 | 96,5 | 96,3 | 97,0 | 97,4 | 97,9 | 98,1 | 98,5 |
| Rural | 15,7 | 18,6 | 20,5 | 21,6 | 23,9 | 26,0 | 28,4 | 30,2 | 32,7 |
| Norte | 82,2 | 85,1 | 85,7 | 71,3 | 74,1 | 76,6 | 79,0 | 80,1 | 82,2 |
| Urbano | 85,3 | 88,1 | 88,6 | 88,9 | 91,6 | 93,5 | 95,2 | 95,7 | 97,1 |
| Rural | ... | ... | ... | 17,0 | 19,2 | 20,6 | 23,3 | 24,9 | 29,4 |
| Nordeste | 66,3 | 68,5 | 70,1 | 69,8 | 71,9 | 72,8 | 73,9 | 75,4 | 76,2 |
| Urbano | 88,4 | 90,3 | 91,8 | 90,8 | 92,8 | 93,3 | 94,3 | 95,3 | 95,8 |
| Rural | 8,7 | 10,2 | 11,6 | 11,4 | 15,0 | 15,4 | 16,9 | 18,4 | 19,8 |
| Sudeste | 92,3 | 93,6 | 93,9 | 94,2 | 94,4 | 94,8 | 95,3 | 95,3 | 95,9 |
| Urbano | 97,8 | 98,5 | 98,6 | 98,7 | 98,9 | 99,1 | 99,3 | 99,2 | 99,5 |
| Rural | 27,9 | 34,1 | 35,0 | 38,0 | 39,0 | 42,1 | 44,7 | 47,0 | 50,5 |
| Sul | 84,4 | 85,4 | 86,7 | 87,3 | 87,9 | 89,3 | 90,5 | 90,7 | 91,5 |
| Urbano | 98,1 | 98,4 | 98,7 | 98,8 | 98,8 | 99,2 | 99,4 | 99,4 | 99,6 |
| Rural | 20,6 | 23,6 | 28,2 | 30,7 | 32,5 | 38,8 | 44,2 | 46,2 | 49,0 |
| Centro-Oeste | 84,4 | 85,8 | 86,1 | 86,7 | 87,1 | 87,8 | 88,2 | 89,2 | 89,9 |
| Urbano | 95,7 | 96,7 | 97,5 | 97,4 | 98,1 | 98,7 | 98,6 | 98,9 | 98,8 |
| Rural | 11,4 | 13,5 | 15,4 | 20,4 | 19,6 | 19,5 | 21,7 | 21,8 | 26,4 |

Fonte: IPEA (2012).

Quando comparados os domicílios urbanos com os rurais as discrepâncias são mais alarmantes, uma vez que a coleta realizada em domicílios rurais alcança apenas metade da taxa de cobertura das áreas urbanas nas regiões Sudeste e Sul, nas demais regiões a situação é ainda pior. De modo que se a população não recebe os serviços de coleta dos RSU em sua totalidade o atendimento à legislação PNRS 12305/2010 fica impraticável. Sendo assim, não é possível controlar a geração e o destino final dos resíduos gerados pela população à margem dos serviços que acabam recorrendo ao descarte em locais inapropriados, como os lixões.

Diante de tantas dificuldades, a proposta para resolução desta problemática é considerar a geração dos resíduos como etapa do ciclo produtivo, garantindo a sustentabilidade da cadeia econômica. A adoção da estratégia “do berço ao túmulo”, que “estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição (ISO 14040:2001)”, proporciona a diminuição da deposição exacerbada de resíduos reutilizáveis e recicláveis em aterros ao se ter o túmulo como um novo berço, por meio da aplicação dos processos de reciclagem ou reuso desses resíduos.

Para se obter êxito nas ações praticadas é imprescindível incentivar uma gestão integrada de resíduos sólidos através de ações públicas que viabilizem a destinação final correta por meio de incentivos às cooperativas de reciclagem e atendimento às legislações ambientais vigentes. A valoração do meio ambiente tornou-se um aspecto relevante para manutenção do equilíbrio de sobrevivência das comunidades atuais, sob o enfoque do desenvolvimento sustentável que engloba as dimensões econômica, social e ambiental. Problemas ambientais intensificados por ações antrópicas, e que geram consequências para o próprio agente poluidor, foram uma das principais causas para mudança da consciência ambiental existente.

4. METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo as etapas do trabalho foram definidas em: pesquisa descritiva bibliográfica e pesquisa de campo. Na pesquisa bibliográfica foram levantados dados para caracterização do local de estudo e quais as interferências dessas características nos diferentes tipos de solo predominantes na área do lixão desativado do município de Rolândia - PR. Na pesquisa de campo, foram executados ensaios de permeabilidade *in situ*, com o uso do permeâmetro *Guelph*, e os pontos de execução dos ensaios foram obtidos por meio de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) através da utilização de GPS (Global Position System). Por fim, os ensaios realizados foram relacionados com as variáveis do solo que interferem na permeabilidade, que foram encontrados na literatura de acordo com a região de estudo.

A metodologia de trabalho foi desenvolvida baseado no estudo das características físicas e mecânicas do solo realizados no Laboratório de Física do Solo do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR em Londrina, Estado do Paraná, apresentados no trabalho de monografia de George Yada Junior, de modo a haver o confronto entre os resultados de permeabilidade hidráulica e das análises de parâmetros físicos do solo. O IAPAR é um órgão de pesquisa vinculado à Secretaria da Agricultura e do Abastecimento – SEAB, que fornece embasamento tecnológico as políticas públicas de desenvolvimento rural do Estado do Paraná.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização da Área

O local de estudo compreende o município de Rolândia, localizado na Macrorregião Geográfica de Londrina, no estado do Paraná (Figura 1). Rolândia tem coordenadas geográficas: Latitude 23° 19' 00 "S e Longitude 51° 22' 00" W e limita-

se ao norte com Jaguapitã e Cambé, ao oeste com Pitangueiras e Sabáudia, ao sul com Arapongas e a leste com Cambé, totalizando uma área total de 467,31 km².

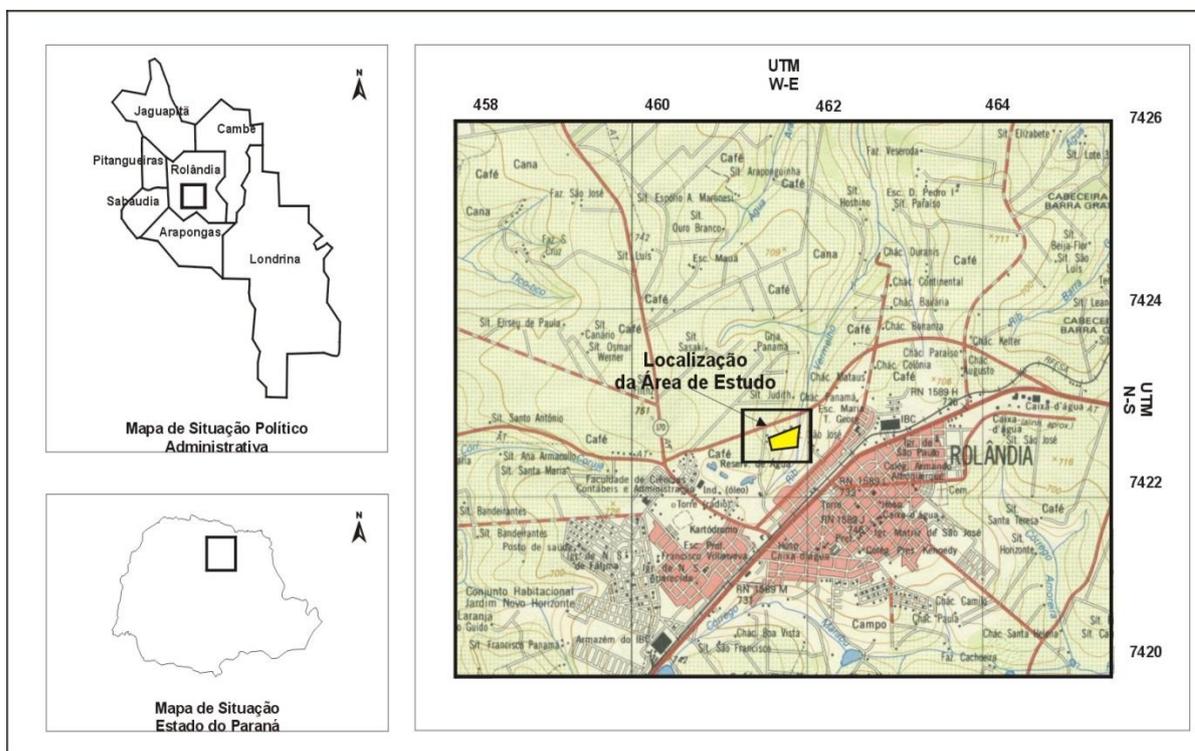


Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo.
Fonte: IBGE (1997).

4.1.2 Características Climáticas

De acordo com a classificação de Köppen (MAACK, 2002), a região em estudo localiza-se na Zona Tropical do Paraná, com a classificação climática Cfa (h), e periodicamente Cwa-clima subtropical úmido, com verão quente e temperaturas do mês mais frio variando entre 18°C e - 3°C, e do mês mais quente superior que 22°C, sendo úmido com chuvas distribuídas em todos os meses (Figura 2). O tipo Cfa caracteriza as regiões de matas tropicais e subtropicais como quente-subtropicais, sempre úmidas. O símbolo (h) acrescido no Cfa vem caracterizar as regiões das matas pluviais do Norte do estado do Paraná, com sua variação de altitude.

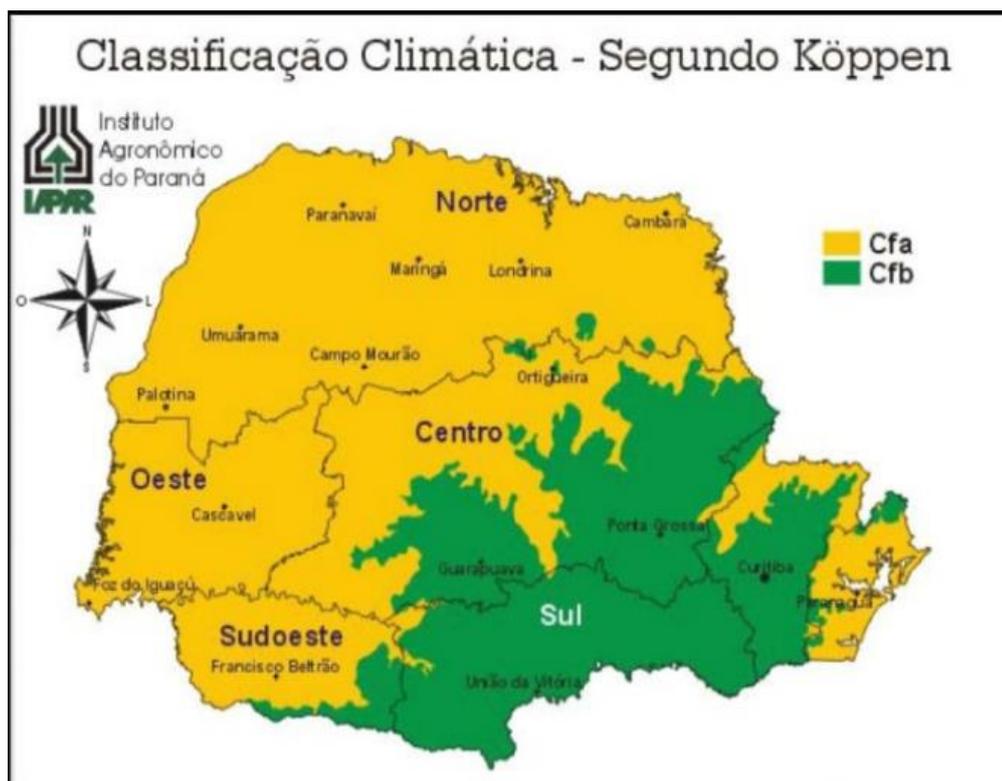


Figura 2: Classificação Climática segundo Köppen com destaque para as regiões geográficas do estado do Paraná.
Fonte: IAPAR, 2013.

4.1.3 Aspectos Geológicos

O estado do Paraná foi classificado de acordo com as principais unidades geológicas que o compõem, como mostra a Figura 3. Segundo Maak (1981) o relevo paranaense pode ser agrupado em cinco regiões orográficas distintas: Litoral, Serra do Mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro Planalto.

A região está inserida, portanto, no Planalto de Apucarana que, por sua vez, faz parte do Terceiro Planalto Paranaense, na área de derrames do “trapp”, processo de cobertura dos arenitos do Grupo Rio do Rasto e do Botucatu da Era Mesozóica, por camadas de rocha efusivas básicas (basalto), que terminou no início do período Cretáceo Inferior (MAACK, 2002).

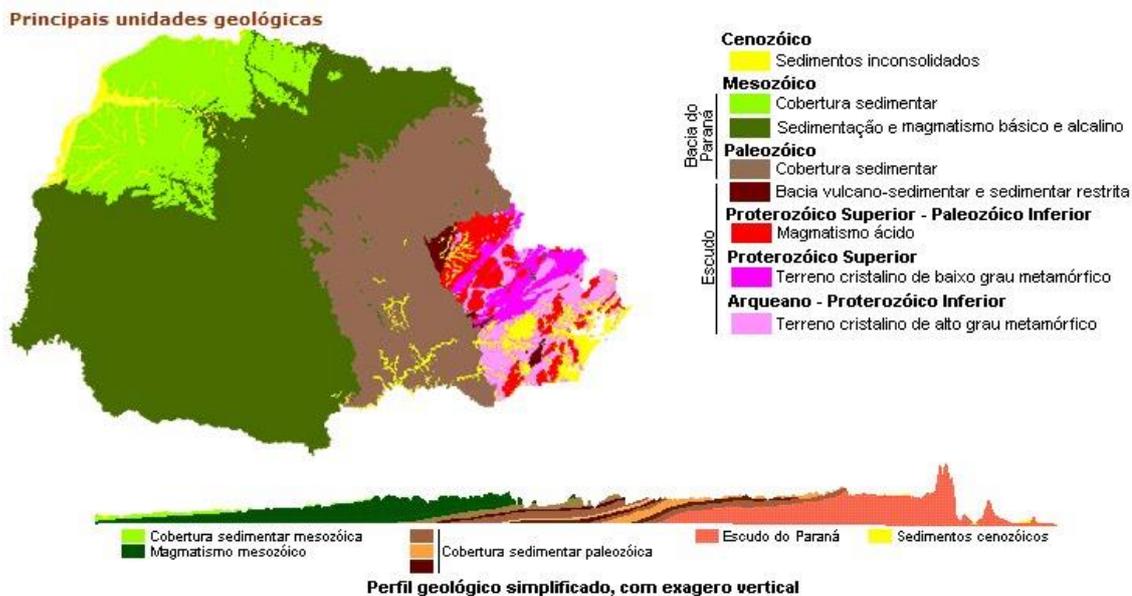


Figura 3: Unidades Geológicas do estado do Paraná.
Fonte: MINEROPAR (2001).

O Terceiro Planalto representa o plano de declive que forma a encosta da escarpa da Serra Geral do Paraná, pertencente ao Grupo São Bento e é denominada também de Escarpa Mesozóica. De acordo com a classificação de Maack (2002), o terceiro planalto representa a região dos grandes derrames de lavas, que conferem ao solo a coloração vermelho-escuro característica marcante dos solos do norte do estado do Paraná.

Segundo Truffi e Clemente (2002) os derrames vulcânicos, na sua maior parte, são constituídos por rochas basálticas podendo ocorrer tanto nos oceanos, principalmente ao longo de cadeias meso-oceânicas, como sobre os continentes, na forma de derrames de platô, como os platô do Deccan (Índia), Karroo (África) e o da Bacia do Paraná (Brasil).

Do ponto de vista geológico, os derrames de lavas distribuídos em toda extensão da Bacia do Paraná, foram descritos como sendo basaltos de composição homogênea (Leinz, 1949; Almeida, 1981; Ruegg & Amaral, 1976). Portanto a Formação Serra Geral, é composta predominantemente por rochas ígneas magmáticas, como o basalto.

De acordo com Santos (2003), na região do antigo lixão de Rolândia o relevo é ondulado a suavemente ondulado, com vales pouco entalhados e vertentes longas e com baixa declividade. Com cotas topográficas variando entre 660 e 720 metros

acima do nível do mar, a conformação topográfica da área de estudo possui inclinação suave no sentido W-E, obedecendo à drenagem do Ribeirão Vermelho, cujo sentido SW-NE obedece por sua vez, a drenagem do rio Paranapanema, do qual é afluente direto, constituindo ambos parte da Bacia do Rio Paraná.

4.1.4 Aspectos Pedológicos e de Condutividade Hidráulica

A Formação Serra Geral deu origem aos solos encontrados no município de Rolândia, que podem ser classificados de maneira abrangente em Latossolo, Nitossolo e Neossolo. Segundo Santos (2003) a coloração típica vermelha escura na região deve-se ao fato do material ser de origem basáltica, com grande quantidade de ferro hidratado. Outro aspecto importante é que as características morfológicas deste tipo de solo apresentam poucas variações, dificultando a classificação dos horizontes através da diferença de coloração.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006) os solos descritos acima podem ser caracterizados como:

- Latossolo: são os solos que estão em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo. São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos. Solos típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, são originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos, sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos.

- Nitossolos: são os solos constituídos por material mineral, de textura argilosa ou muito argilosa com estrutura em blocos subangulares ou angulares, ou prismática, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados. Os perfis devem apresentar aspecto característico de fendilhamento, indicativo de alta expansão e contração pelo umedecimento e secagem do material de solo, pelos altos teores de argila. São profundos, bem drenados, de coloração variando de

vermelho a brunada, moderadamente ácidos a ácidos, com argila de atividade baixa ou com caráter alítico.

- Neossolo: compreende solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica, ou por influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.

Archela e Barros (2009) fazem uma abordagem mais detalhada sobre os tipos de solos da região por meio de sua diversidade de fertilidade, classificando os em Latossolo Vermelho Distroférico, Nitossolos Vermelho Eutroférico e o Neossolos Litólicos Eutróficos,

[...] o tradicional adjetivo roxo desapareceu da denominação oficial, a nova classificação revela a presença marcante do ferro que, em nossa região, é o grande responsável pela coloração avermelhada. Valoriza também a diversidade e fertilidade com os termos Eutroféricos (Rico), Distroférico (Pobre) e Aluminoférico (Rico em alumínio), assim como aspecto lustroso, ceroso ou com brilho graxo da antiga Terra Roxa Estruturada, como no nome Nitossolo (camada horizonte Nítico: reluzente).

Segundo Celligoi et al., (2001) pode-se considerar que através dos processos de intemperismo do basalto, rochas formadoras de toda a estrutura da Formação Serra Geral, que possuem uma estrutura vesicular propícia para a medição da condutividade hidráulica do solo.

“O solo pode ser entendido como um corpo natural da superfície terrestre, constituído de materiais minerais e orgânicos, que são resultantes das interações dos fatores de formação. São cinco os principais fatores de formação: clima, organismos, material de origem, relevo e tempo. As classes de solos desenvolvidas na paisagem refletem ainda a ação de 4 processos combinados, adições, translocações, transformações e perdas” (VIEIRA, 1995).

A Formação Serra Geral é composta principalmente por rochas vulcânicas básicas, toleíticas, de textura afanítica, coloração cinza e negra, amigdaloidal nos topos dos derrames, grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais com intrusões alcalinas, pequenas lentes de arenito e com o manto de intemperismo muito pouco presente em algumas localidades (Schneider et al, 1974).

A infiltração e percolação das águas pluviais através de uma camada de solo ou rocha alterada poluída provocam a migração de uma série de compostos químicos orgânicos e inorgânicos através da zona não saturada, podendo alguns desses compostos atingirem a zona saturada e, portanto poluir ou contaminar o aquífero. Devido a isso, a avaliação da condutividade hidráulica e da velocidade linear nas áreas do antigo lixão de Rolândia se fez necessário. De modo que, a disposição inadequada de resíduos sólidos em lixões tende a ser fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas nas adjacências de sua localização.

O fluxo das águas subterrâneas, uma vez existente uma fonte de contaminação liberando os seus produtos, os transporta através de correntes advectivas ao longo de seu deslocamento, gerando-se assim uma "pluma" poluente.

Dependendo das condições de formação das camadas, estas podem ter maior ou menor permeabilidade ou porosidade, afetando assim a forma e velocidade e, por conseguinte, distância de deslocamento de uma nuvem poluente.

4.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO SOLO

A composição mineralógica, o tamanho e a distribuição das partículas do solo, os vazios do solo e as características dos fluidos percolantes são fatores que influenciam a condutividade hidráulica do solo. Dessa forma, os resultados do estudo das propriedades que interferem na permeabilidade do solo realizados no Laboratório de Física do Solo do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR em Londrina, Estado do Paraná, que executa ensaios relacionados com as propriedades físicas do solo no lixão desativado do município de Rolândia, Estado do Paraná.

As análises foram feitas em três amostras, que foram coletadas em cada uma das áreas estudadas, totalizando 9 amostras, correspondendo a área de cobertura, talude e jusante, assim como evidencia a Figura 4.

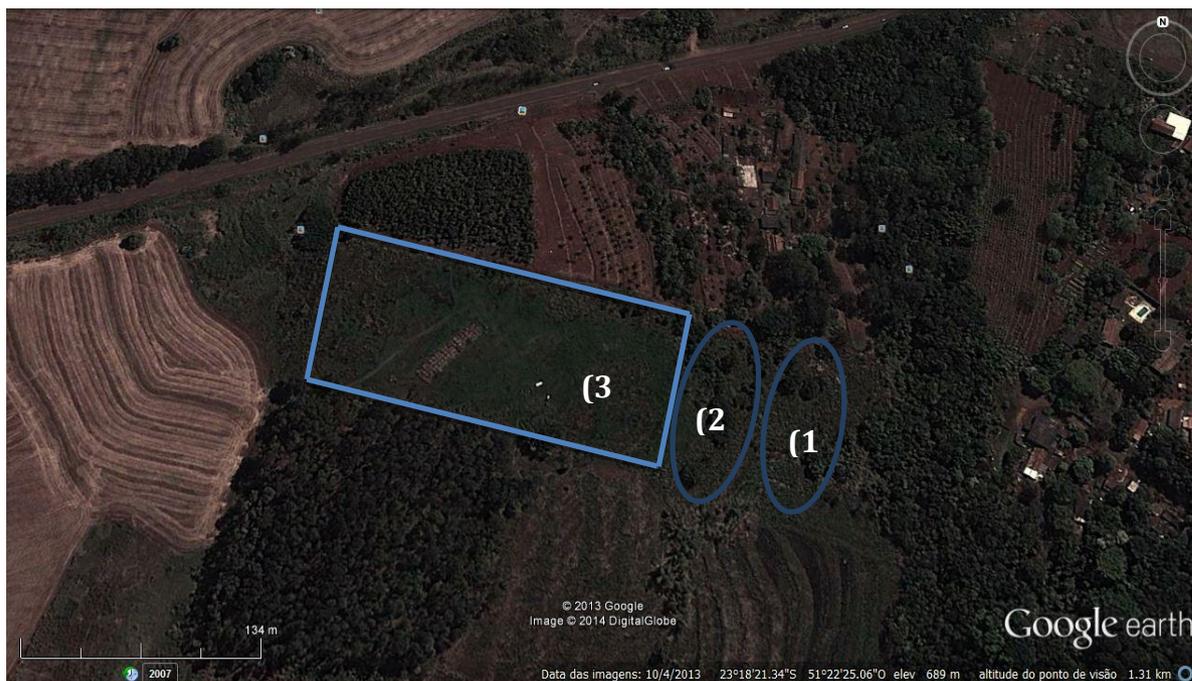


Figura 4: Imagem de satélite mostrando o lixão de Rolândia dividido em três partes para execução do estudo: (1) se refere a jusante do lixão; (2) indica a área do talude; (3) a área do depósito de resíduos, cobertura de solo e vegetação.

Fonte: Google Earth.

4.2.1 Análise Granulométrica

Os ensaios de permeabilidade e análise granulométrica permitem o conhecimento das propriedades geotécnicas dos solos, e dessa forma é possível controlar o fluxo contínuo hidráulico, a compactação e a deterioração do solo pela erosão (MIGUEL E PINESE, 2004).

De acordo com Fernandes (2006) o coeficiente de permeabilidade dos solos é um dos parâmetros físicos e mecânicos associados às obras de Engenharia Civil que exhibe uma gama mais alta de valores: oito a nove de grandeza, para os solos correntes. Deste modo, a granulometria é o fator mais relevante para a permeabilidade, e depende de outros aspectos referentes ao solo, como o índice de vazios, a estrutura e a composição mineralógica (em particular para os solos mais finos).

A textura do solo permite classificar os componentes sólidos em classes de acordo com a porcentagem dos materiais constituintes do solo. Desse modo é possível identificar se o solo é composto por areia, silte e argila dentro de

determinadas amplitudes de variação e englobando material com diferentes composições e características.

Outra característica que diferencia a permeabilidade dos solos é o tamanho das partículas que os compõem. É possível identificar que alguns solos possuem grãos perceptíveis a olho nu, como os grãos de pedregulhos ou a areia do mar, e que outros que têm grãos tão finos que, quando molhados, se transformam em uma pasta (barro), não podendo se visualizar as partículas individualmente (PINTO, 2006).

De acordo com os valores adotados pela ABNT (1984) – Associação Brasileira de Normas Técnicas (Tabela 2), as denominações para cada tipo de solo estão em função das faixas de tamanho dos grãos estabelecidos, conforme os sistemas de classificação.

Tabela 2: Classificação do solo de acordo com as normas da ABNT

| Fração | Limites definidos pela Norma da ABNT |
|--------------|--------------------------------------|
| Matacão | de 25 cm a 1 m |
| Pedra | de 7,6 cm a 25 cm |
| Pedregulho | de 4,8 mm a 7,6 cm |
| Areia grossa | de 2,0 mm a 4,8 mm |
| Areia média | de 0,42 mm a 2,0 mm |
| Areia fina | de 0,05 mm a 0,42 mm |
| Silte | de 0,005 mm a 0,05 mm |
| Argila | inferior a 0,005 mm |

Fonte: PINTO, 2006.

Dessa forma as porções de solo foram classificadas de acordo com as classes texturais descritas por Lemos e Santos (1984) (Figura 5).

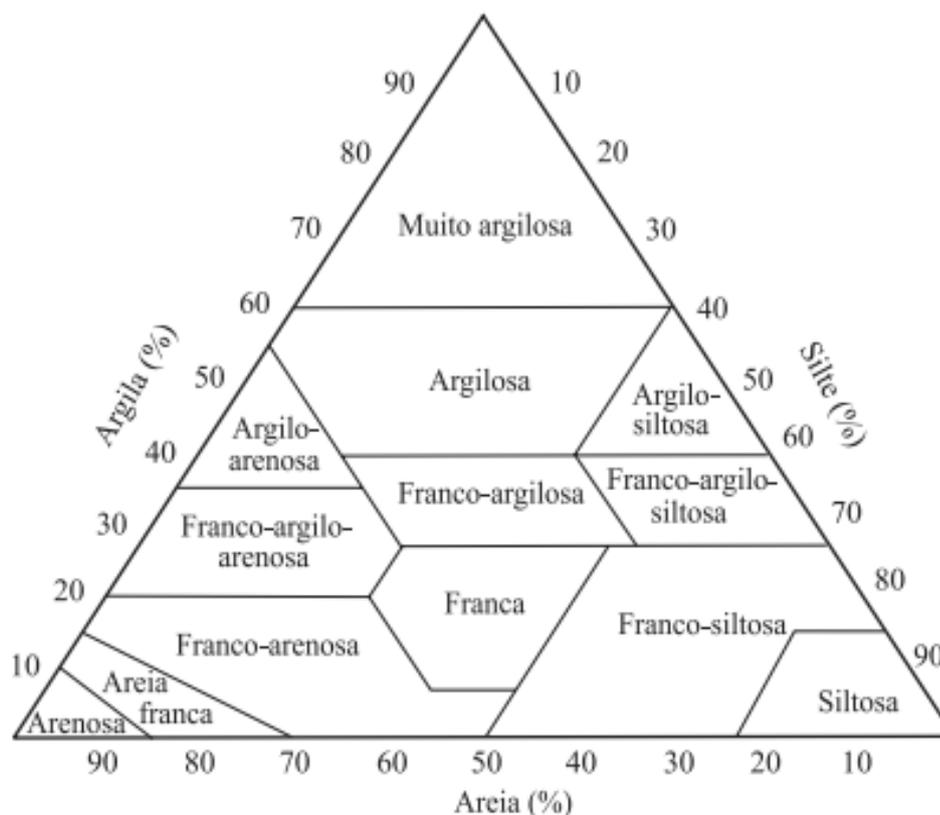


Figura 5: Triângulo de classificação textural.
Fonte: Lemos e Santos (1984).

4.2.2 Porosidade total do solo

A obtenção dos dados físicos dos solos é de extrema importância para prever o comportamento dos solos perante a presença de umidade, além disso, num solo, só parte do volume total é ocupado pelas partículas sólidas, que se acomodam formando uma estrutura. O volume restante costuma ser chamado de vazios, embora esteja ocupado por água ou ar. Deve-se reconhecer, portanto, que o solo é constituído de três fases: partículas sólidas, água e ar, como mostra a Figura 6 abaixo.

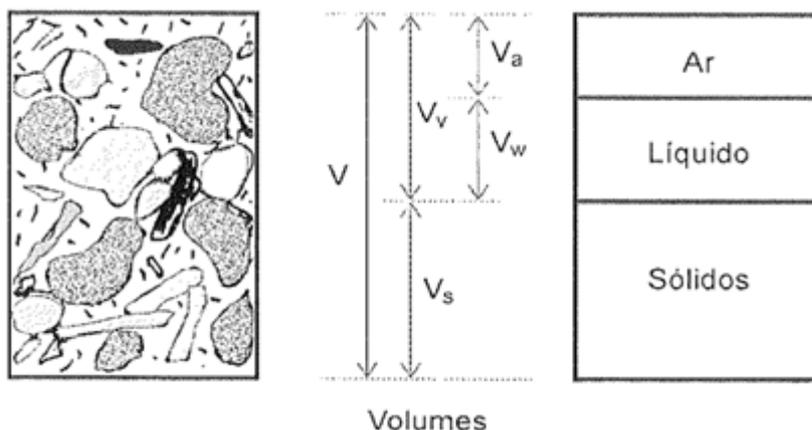


Figura 6: As fases do solo e o volume ocupado.
 Fonte: PINTO (2006).

Deste modo, a porosidade total é o volume de poros totais do solo ocupado pelo ar e ou pela água. Como as partículas do solo têm forma, arranjo e estrutura diferentes, há uma variação na macro e microporosidade do solo. Para calcular a porosidade total do solo, utilizam-se medidas de densidade do solo relacionadas com a densidade de partícula respectiva (FLINT e FLINT, 2002).

4.2.3 Densidade aparente

O estudo da densidade do solo somado ao estudo da densidade das partículas oferece diversas relações sobre o comportamento deste solo diante do uso e ocupação do mesmo. Drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade, arejamento e capacidade de retenção de água podem ser avaliados a partir da densidade aparente do solo (EMBRAPA, 1997).

Densidade Aparente, Massa Específica Aparente ou densidade do solo é a relação entre a massa de uma amostra de solo seco a 110°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. É a massa de uma unidade de volume de solo seco. Os resultados são expressos em gramas por centímetro cúbico, variando muito de solo para solo e, num mesmo solo, de horizonte para horizonte.

De acordo com Yada Junior (2014) há diferentes fatores que afetam a densidade aparente, como a estruturação e o teor de matéria orgânica. Um solo compactado por manejo incorreto, por exemplo, tende a perder sua estrutura e

aumento dos valores da densidade aparente. Quando o teor de matéria orgânica do solo eleva-se, a densidade aparente tende a diminuir.

4.2.4 Densidade de partículas

Densidade Real, Massa Específica Real ou densidade de partículas é a relação entre a massa de determinada amostra de solo e o volume ocupado pelas partículas do solo. Isto é, o volume dos poros é desconsiderado utiliza-se somente a relação entre o volume das partículas.

As densidades dos principais componentes minerais dos solos (quartzo, feldspatos e argilas silicatadas) variam de 2,60 a 2,75 g/cm³. Apesar de existir uma faixa de variação entre 2,3 a 2,9 g/cm³.

A densidade de partícula varia com a composição das partículas e não é afetada pela variação no seu tamanho. Num solo que apresenta quantidades elevadas de minerais mais pesados, como magnetita, por exemplo, a densidade de partículas é alta. Da mesma forma, num solo que apresente elevado teor de matéria orgânica, a densidade de partícula é baixa. A matéria orgânica exerce grande influência na densidade de partícula, nos horizontes superficiais de densidades de partículas mais baixas que os horizontes subjacentes (EMBRAPA, 1997).

4.2.5 Compactação do Solo

Muitas vezes a compactação do solo é um aspecto associado ao mau uso do mesmo e reflete negativamente na produção agrícola e no abastecimento dos aquíferos por exemplo. Porém este processo físico que embora possa resultar em impactos negativos ao meio ambiente quando relacionado à construção de aterros e seu respectivo fechamento, a compactação do solo é uma exigência.

As atividades dos lixões agravam a poluição do ar, do solo e das águas, os resíduos em encostas podem provocar deslizamentos devido à instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção temporária da água da chuva. Portanto a

compactação do solo antes e depois da deposição dos resíduos sólidos na área é uma das principais recomendações para uma boa operação de aterros. Quando ocorre uma compactação efetiva na área influencia diretamente a biodegradação da massa de lixo, pois sua atividade diminui consideravelmente a presença de oxigênio no interior. Além da compactação da massa de lixo, a compactação da camada de cobertura e a granulometria do solo utilizado contribuem para a minimização da infiltração de águas pluviais, evitando que o oxigênio dissolvido nestas águas seja carregado para o interior dos RSU.

Segundo Vargas (1977), a compactação do solo consiste na utilização de técnicas e procedimentos que promovam o aumento da compacidade pela redução do volume de vazios. Este aumento de compacidade é obtido por meio da aplicação de esforços externos gerados mecanicamente, objetivando o aumento da resistência, a redução da compressibilidade, permeabilidade e variação volumétrica decorrente dos processos de umedecimento e secagem.

De acordo com Yada Junior (2014) uma solução intermediária para restringir o escoamento do chorume para os aquíferos subterrâneos é a compactação do solo da base, reduzindo sua permeabilidade. Esta é uma técnica pouco custosa que reduz a permeabilidade e garante um confinamento maior do chorume, apesar de não atingir, algumas vezes, os valores exigidos pelos órgãos ambientais.

Diversos fatores podem afetar a compactação dos RSU em um aterro sanitário, neste caso, é fundamental conhecer os mecanismos envolvidos, que permitem avaliar e quantificar eventuais impactos, assim como estabelecer critérios específicos para execução e operação do sistema de disposição de resíduos. Boscov e Abreu (2000) indicam alguns desses fatores principais: composição dos resíduos; espessura da camada de resíduo a ser compactada; o tipo, peso e velocidade dos equipamentos empregados na compactação; umidade dos resíduos; inclinação do plano de compactação e número de passadas executadas pelo equipamento compactador. Dentre estes fatores, pode-se destacar o teor de umidade dos resíduos em aterros sanitários. Esta umidade representa a quantidade relativa de água contida na massa de RSU, e pode variar de acordo com a composição dos resíduos e com a estação do ano.

4.2.6 Ensaio de Proctor

O ensaio de Proctor, proposto por Ralf Proctor, método descrito em 1933, determina a relação entre a densidade do solo, conteúdo de água e energia de compactação de um solo com estrutura alterada. Quando se alcança a máxima densidade, denomina-se o conteúdo de água ótimo de compactação, em um determinado nível de energia aplicado (SILVA et al., 2010).

Segundo Proctor, a compactação varia em função de quatro variáveis: a) Peso específico seco; b) Umidade; c) Energia de compactação e d) Tipo de solo. A compactação dos solos tem uma grande importância para as obras geotécnicas, pois, através do processo de compactação consegue-se promover no solo um aumento de sua resistência e uma diminuição de sua compressibilidade e permeabilidade.

Quando o solo está com teor de umidade baixo em relação à umidade ótima, sua estrutura está floculada. Isto porque quando o solo teor de umidade é baixo, as camadas de íons em torno das partículas de argila não se desenvolvem totalmente. Dessa forma, a repulsão entre as partículas é reduzida e o peso específico seco é menor. Quando o teor de umidade de compactação aumenta, as camadas difusas em torno da argila se expandem, estabelece-se um grau de floculação menor e peso específico seco maior. Quando o teor de umidade do solo ultrapassa a umidade ótima de compactação, o peso específico decresce, pois a água adicionada dilui a concentração dos sólidos do solo por unidade de volume (BRAJA, 2006).

4.3 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

Segundo Soto (1999, apud NISHIYAMA, 2007, p. 136), o permeâmetro *Guelph* foi desenvolvido por Reynolds e Elrick, em 1983, posteriormente aperfeiçoado em 1985, na *University of Guelph*, Canadá.

O aparelho é composto por um vaso de Marriote que mantém uma carga constante de água no meio poroso. O vaso é apoiado em um tripé que permite adaptar o aparelho em terrenos irregulares, sendo possível então realizar ensaios

em qualquer relevo, seja ele declinado ou plano. O permeâmetro é um aparelho portátil e simples de operar, que requer duas pessoas e, aproximadamente, 2,5L de água.

Supo e Araruna Júnior (2008, p. 22) sintetizam o uso e as vantagens edesvantagens do permeâmetro, onde colocam que:

O permeâmetro constitui uma ferramenta válida para as medições de permeabilidade saturada tanto em solos argilosos como para solos arenosos. A vantagem que apresenta este aparelho é sua rapidez e a facilidade de operação. Uma desvantagem deste ensaio é que só mede a condutividade hidráulica do solo até uma profundidade máxima de 60 cm abaixo do nível do solo. Em casos onde é necessário obter o perfil da condutividade hidráulica com maior profundidade, é necessário realizar uma série de alterações no equipamento.

O permeâmetro *Guelph*, modelo 2800, foi utilizado na determinação expedita da condutividade hidráulica *in situ* na zona não saturada formada pelos latossolos provenientes de alteração de rochas basálticas, na área de estudo localizada no município de Rolândia - PR.

4.3.1 Locação dos Locais de Ensaio

Os pontos para a realização dos ensaios de permeabilidade foram definidos considerando a declividade do terreno frente às atividades de disposição dos resíduos sólidos (Figura 7). O primeiro ensaio **E1** foi realizado na parte mais alta à montante do talude de disposição, local de cobertura dos resíduos que foram depositados durante os anos de operação do lixão. O segundo ensaio **E2** foi realizado na área de transição entre a área mais alta à montante do talude e o talude. O terceiro ensaio **E3** foi realizado na parte mais inclinada do talude. O quarto ensaio **E4** ocorreu na parte à jusante do talude, local de transição entre o talude e o solo natural da região. O último ensaio **E5** foi realizado no solo natural na área adjacente ao Ribeirão Vermelho.

O permeâmetro de *Guelph* é um aparelho de fácil manipulação e de rápidos resultados, que determina a velocidade com que a água infiltra no solo. Através

destes resultados foi possível verificar a relação entre as características físicas de cada tipo de solo, com os seus respectivos valores de permeabilidade.

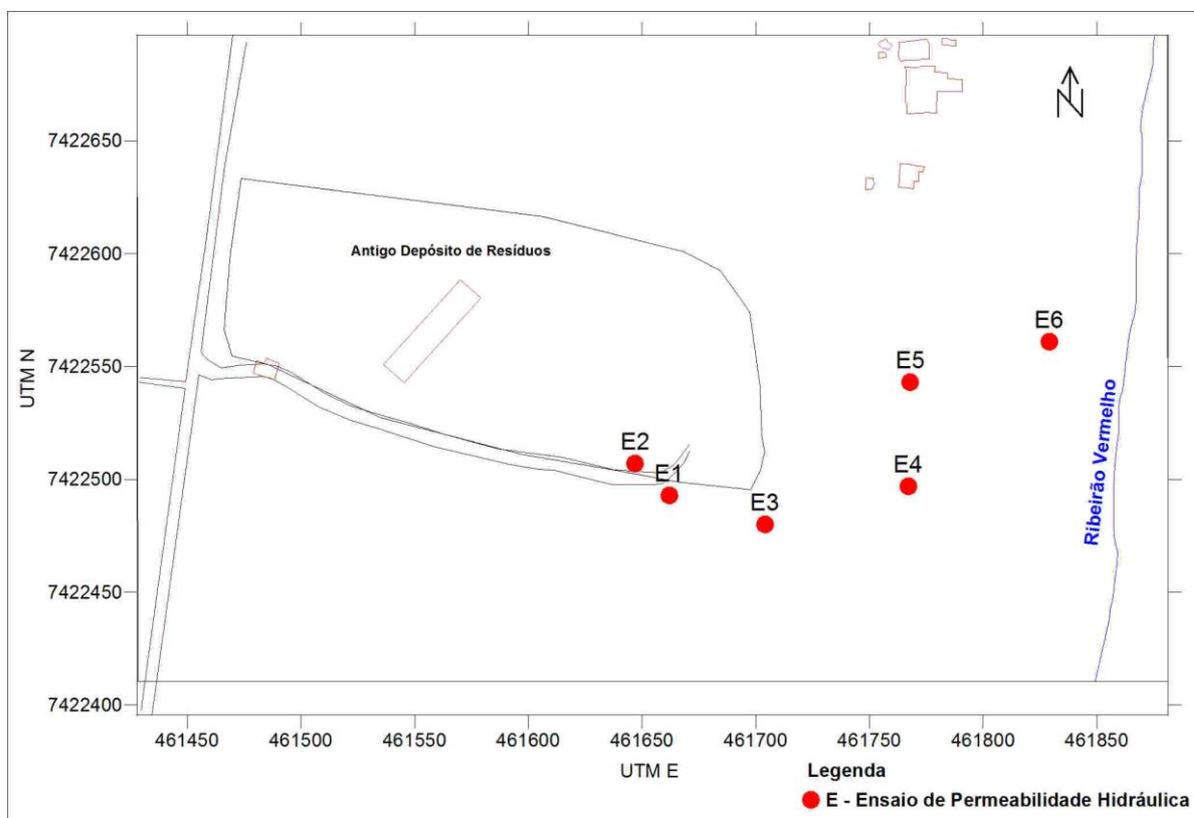


Figura 7: Mapa de Localização do Ensaio de Permeabilidade Hidráulica.
Fonte: Próprio Autor.

O presente trabalho realizou os ensaios com o permeâmetro *Guelph* nos locais próximos das coordenadas executadas no trabalho do George Hada Junior para haver interrelação entre os parâmetros geotécnicos analisados.

Segundo Santos (2005) o volume d'água que infiltra no solo por unidade de tempo é chamado de taxa de infiltração, e pode variar de acordo com as características do solo analisado. Com o valor da taxa de infiltração, associado ao cálculo da condutividade hidráulica é possível chegar ao valor da permeabilidade.

A realização desse tipo de ensaio, a carga constante nos horizontes não saturados do solo funciona segundo o princípio do Sifão de Mariotte. O procedimento do ensaio requer, após a análise e seleção dos locais a serem ensaiados, a realização de furos com o trado de perfuração e com o trado de fundo plano e em seguida a injeção de água através do permeâmetro *Guelph*.

A sondagem foi realizada primeiramente com o trado com ponta de perfuração abaixo. Durante a execução não pode ser empregado excesso de força, principalmente em solos que sofrem alterações significativas, como os que possuem argila, devido à sua alta plasticidade, de modo que não ocorram alterações nas características naturais. No segundo passo foi utilizado o trado de fundo chato, que tem por função nivelar a base do furo e regularizar as paredes do furo. Após a execução dos furos foi utilizado a escova para criar fissuras no solo da sondagem (Figura 8).



**Figura 8: Materiais para a realização da sondagem: escova (3), trado de fundo chato (2) e trado de perfuração (1).
Fonte: Próprio Autor.**

Depois da execução da sondagem iniciou-se a montagem do equipamento, tomando sempre o devido cuidado para não causar alterações na vedação do equipamento após a introdução da água no permeâmetro (Figura 9).



Figura 9: Ensaio de condutividade hidráulica utilizando o permeâmetro *Guelph*.
Fonte: Próprio Autor

Quando se estabelece um nível d'água (carga hidráulica) constante no interior do furo de trado, origina-se um "bulbo" de saturação d'água a partir de sua base (Figura10).

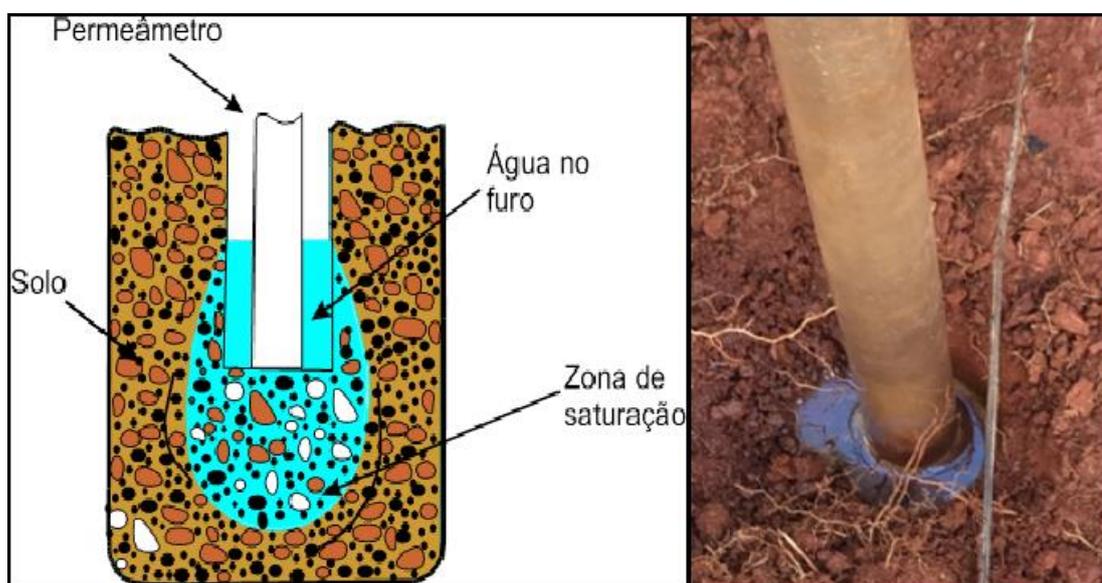


Figura 10: Formação do bulbo de saturação d'água do permeâmetro *Guelph*.
Fonte: SANTOS, 2005.

A Figura 11 ilustra o funcionamento do permeâmetro de *Guelph*, de modo que a altura do nível d'água adicionado no local da perfuração depende da altura estabelecida do tubo de ar interno. O “bulbo” de saturação é formado para obter a leitura da permeabilidade do solo em zona não saturada.

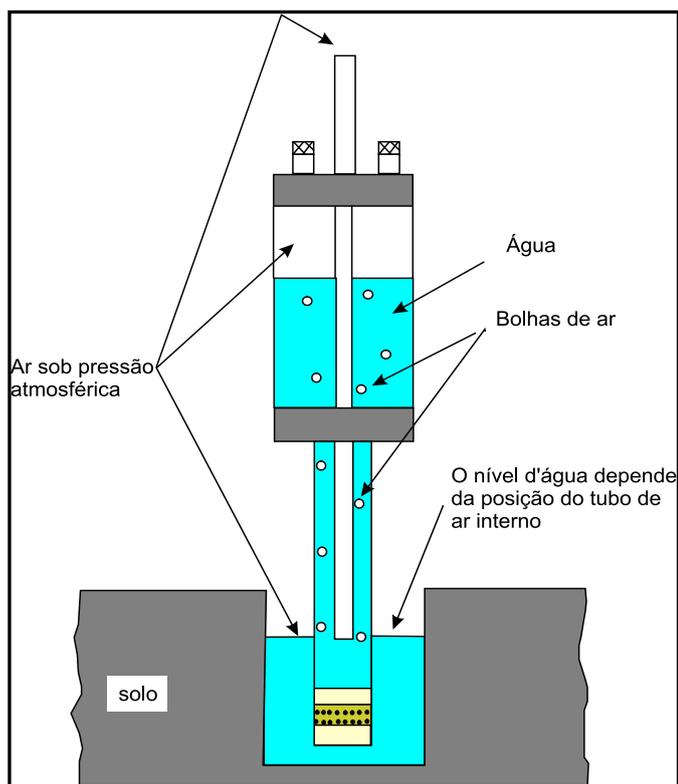


Figura 11: Esquema de funcionamento de um Permeâmetro Guelph.
Fonte: SANTOS, 2005.

Para iniciar a leitura do equipamento foi preciso verificar a sensibilidade do rebaixamento regular da água, ou seja, em quantos cm/s a água estava rebaixando. Quando a água rebaixou pelo menos 0,5 cm/s foi escolhida a altura para realizar a leitura ($h = 5$ cm e $h = 10$ cm), e assim, o tempo começou a ser cronometrado para poder estabelecer qual a taxa de infiltração em um determinado intervalo de tempo (Figura 12).

Os valores obtidos da leitura de cada ponto, a localização e as condições climáticas do local escolhido estão no ANEXO 1 indicados pela ordem dos ensaios realizados: E1, E2, E3, E4, E5 e E6.

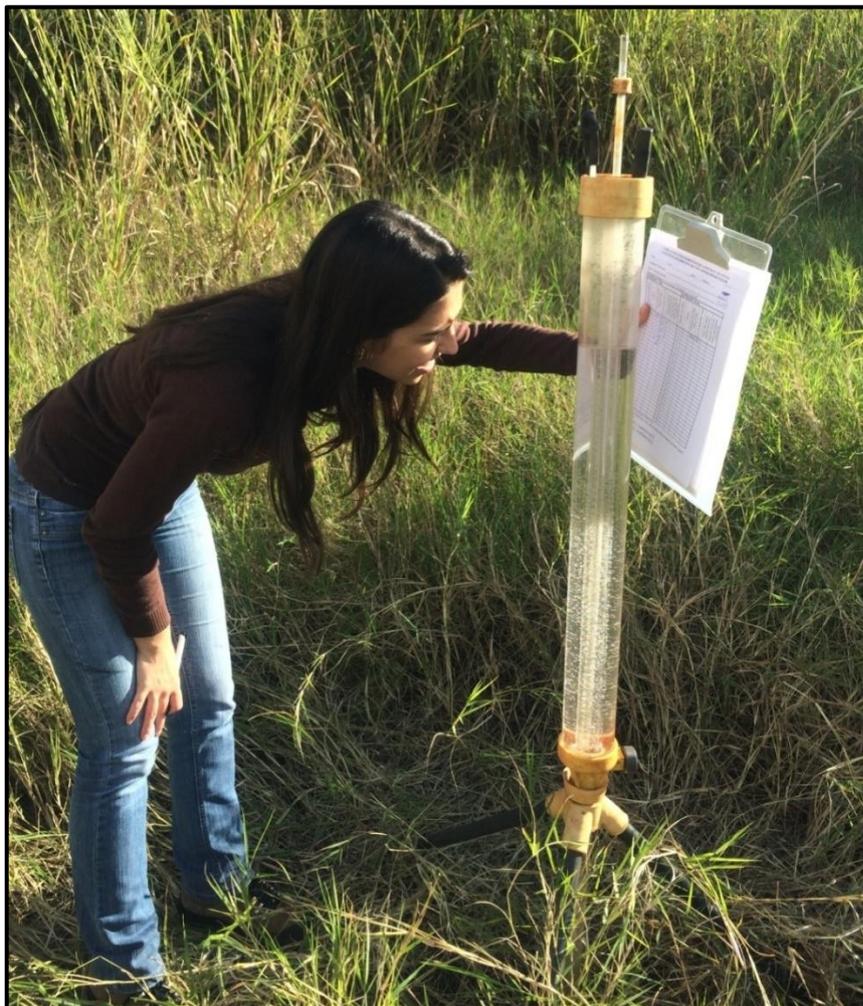


Figura 12: Operação do permeâmetro Guelph.
Fonte: Próprio Autor.

O volume d'água que se infiltra no solo por unidade de tempo (taxa de infiltração) se torna constante depois de determinado tempo de estabilização. As características e dimensões deste "bulbo" de saturação d'água, uma vez atingida a condição de estabilidade, variam com as características do solo ensaiado. O conhecimento do valor da taxa de infiltração, associado às dimensões do furo e da altura da coluna d'água em seu interior, permite o cálculo da condutividade hidráulica *in situ*, através da seguinte expressão, segundo Soil Moisture Corp.(1987, *apud* SANTOS, 2005):

$$K = [(0,0041)(X)(R_2) - (0,0054)(X)(R_1)] \quad (1)$$

ou

$$K = [(0,0041)(Y)(R_2) - (0,0054)(Y)(R_1)] \quad (2)$$

Onde:

K – Condutividade hidráulica, em cm/s;

R_1 ; R_2 – Taxas de infiltração estabilizadas correspondentes a H_1 e H_2 respectivamente, em cm/s;

X ; Y – Constantes correspondentes a área do tubo (reservatório d'água) utilizado, em cm^2 ;

$0,0041$ e $0,0054$ – Valores adimensionais que podem ser obtidos através da fórmula:

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi[2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad (3)$$

e onde,

$$G_1 = G_2 \frac{(H_2 C_1)}{(H_1 C_2)} \quad (4)$$

Onde:

H_1 ; H_2 - Níveis d'água no furo correspondentes à primeira leitura (5 cm) e à segunda leitura (10 cm), respectivamente;

C - Coeficiente de proporcionalidade que depende principalmente do tipo de solo existente no local de ensaio.

No modelo semi-analítico e numérico para a estimativa de K , algumas condições estão implicitamente assumidas:

- ✓ meio poroso rígido, homogêneo e isotrópico;
- ✓ fluxo constante (*steady state flow*);

4.4 LEI DE DARCY

Em 1856, Henry Darcy definiu a vazão como:

$$q = k \cdot i \cdot A = k \cdot \frac{\Delta H}{L} \cdot A \quad (5)$$

onde,

q = vazão (m^3/s)

k = condutividade hidráulica (m/s)

i = gradiente hidráulico = $\Delta H/L$

ΔH = perda de carga do fluxo (m)

L = comprimento da amostra (m)

A = área da amostra perpendicular ao fluxo (m^2)

Tal velocidade é regida diretamente pela Lei de Darcy, na expressão:

$$V_r = \frac{k \times i}{m_e} \quad (6)$$

V_r = velocidade de fluxo (m/d)

k = coeficiente de permeabilidade hidráulica (m/s)

i = gradiente hidráulico = $\Delta H/L$

m_e = porosidade efetiva

Diversos testes de percolação realizados por sondagens SPT na área de domínio da Formação Serra Geral, indicaram uma condutividade hidráulica os resultados encontrados em laboratório indicaram uma porosidade específica média (m_e) para os solos da área de estudo de 0,09 ou equivalente a 9% (SANTOS, 2003).

Entretanto, o gradiente hidráulico (i) foi desconsiderado, pois o fluxo é descendente devido as características do estudo. O coeficiente de permeabilidade hidráulica (k) foi determinado através do ensaio *in situ* com o uso do permeâmetro *Guelph*.

Segundo Stephens (1996), a velocidade de percolação, na zona não saturada, varia em função das propriedades do meio poroso, das características do fluido e do teor de umidade volumétrica do material. Quanto maior a umidade, maior a condutividade hidráulica, pois a área útil condutora de água vai se tornando menor à medida que o teor de água decresce. É, então, fácil constatar que na zona saturada, a velocidade varia somente em função das propriedades do meio poroso e das características do fluido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em decorrência do estudo realizado na região do antigo lixão de Rolândia – PR foi possível identificar o comportamento da condutividade hidráulica diante dos diferentes tipos de solos. Os valores encontrados na realização dos ensaios de permeabilidade hidráulica *in situ*, foram confrontados com parâmetros físicos do solo analisados pelo IAPAR e Yada Junior 2014.

A compreensão dos processos hidráulicos em meio poroso, permite uma aplicação ambiental ligada principalmente à prevenção e a recuperação de áreas degradadas por atividades antrópicas.

5.1 HISTÓRICO DA ÁREA

A área localiza-se próxima ao perímetro urbano da cidade e à vertente do ribeirão Vermelho como mostra a Figura 13. O antigo lixão tem 65.318 m² de área total, sendo a área efetiva com lixo de 30.318 m² e capacidade estimada para 180.000 m³ de volume de lixo a ser depositado (MELO et al., 2011).

De acordo com Santos (2003) os resíduos domésticos, coletados pela Prefeitura Municipal de Rolândia, tiveram como destinação final até abril do ano de 2002, um vazadouro a céu aberto, ou mais popularmente conhecido como lixão.

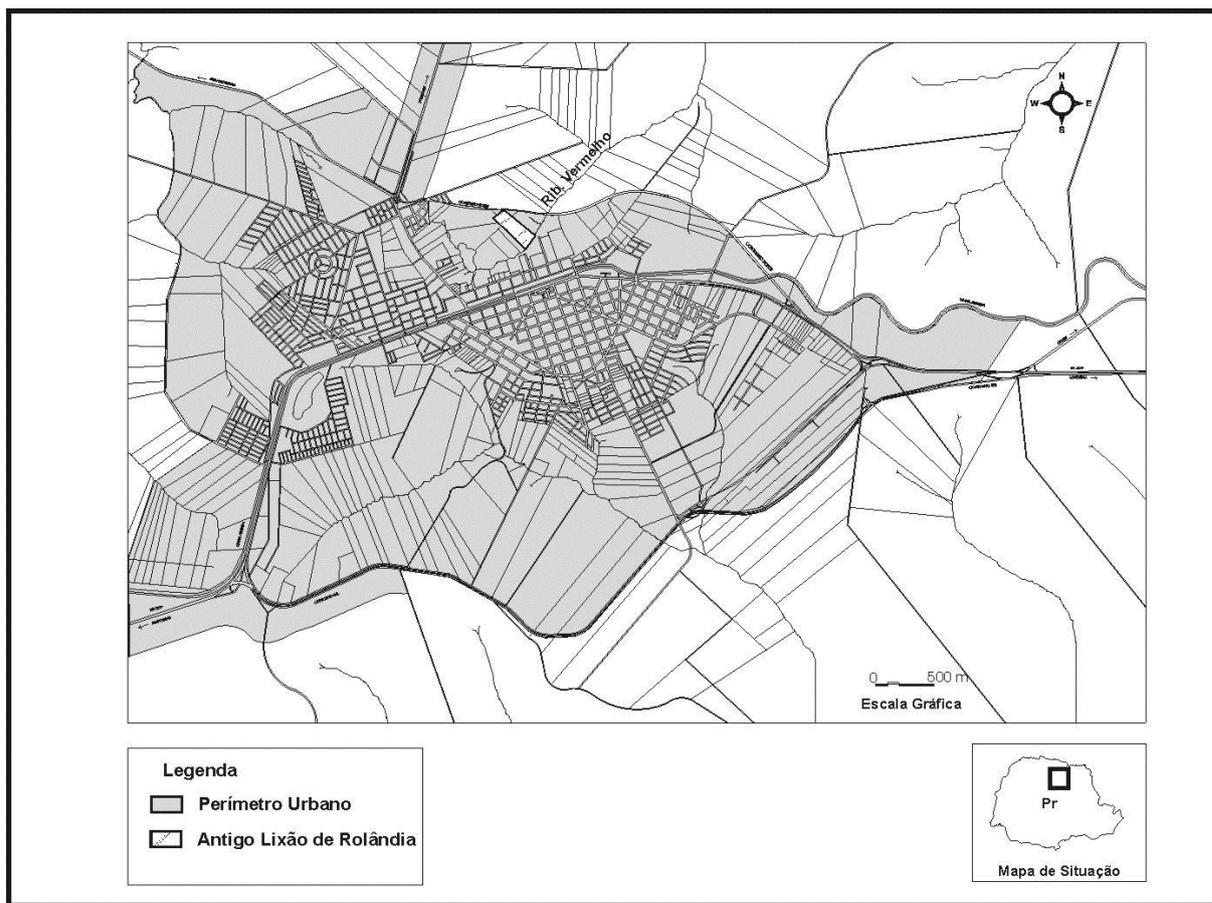


Figura 13: Mapa de Localização do Lixão no Perímetro Urbano de Rolândia.
Fonte: Prefeitura Municipal de Rolândia (1996).

A deposição dos resíduos no local, segundo Mello (1999), era realizada diretamente ao solo natural, não havendo a cobertura constante do lixo por material inerte após a conclusão de cada jornada de trabalho, possibilitando assim a ação de catadores de lixo no local.

Devido à saturação para recebimento dos resíduos urbanos e também pela proximidade de conjuntos habitacionais, provocados pela expansão urbana do município, foi decretado o encerramento pela prefeitura municipal das atividades do lixão após 60 anos de funcionamento (MELLO, 1999).

As atividades de despejo eram realizadas sem qualquer critério de disposição, os resíduos que chegavam ao local eram compactados superficialmente por uma esteira, ou por vezes empurrados vertente abaixo, na tentativa de reduzir o volume de resíduos. Outro destaque feito por Mello (1999) é a ausência de drenos condutores de águas superficiais na área de estudo, a fim de evitar a infiltração de água e a conseqüente saturação das massas dos compostos orgânicos.

De acordo com Santos (2003), em média, 60% dos resíduos produzidos no Brasil são constituídos por matéria orgânica putrescível, 12% de materiais recicláveis e 28% de rejeito. De modo que a matéria orgânica ficando exposta às condições meteorológicas sem qualquer tipo de tratamento ou drenagem do chorume resultante da decomposição da matéria orgânica, facilita a combustão espontânea e a proliferação de vetores biológicos, tais como moscas, mosquitos, baratas e ratos, responsáveis pelo aparecimento de algumas doenças na população, entre elas: diarreias infecciosas, dengue, helmintoses, leptospirose, tifo e triquinose, além dos riscos para o meio ambiente.

Atualmente o cenário encontrado é bem diferente do esperado para um encerramento satisfatório em locais de disposição final dos resíduos sólidos de um município. A área encontra-se abandonada sem nenhum tipo de controle ou monitoramento do passivo gerado no local. Segundo Santos (2003) após o encerramento do lixão não ocorreu recuperação da área degradada, a fim de minimizar os impactos ambientais e sanitários, bem como e a melhoria dos aspectos paisagísticos.

O local onde eram depositados os resíduos foi totalmente coberto por solo, e o aspecto físico aparenta um talude de cerca de 8 a 10 metros de altura formada pela massa de lixo disposta durante os anos de funcionamento do lixão (SANTOS 2003). Na base do lixão, que é a parte mais baixa à jusante do talude, foi possível observar alguns indicativos decorrentes da operação inadequada, sem qualquer critério de controle para realizar a deposição correta dos materiais. Os resíduos encontram-se ainda em processo de decomposição, expostos e misturado com folhas secas que caem do remanescente de vegetação, no detalhe fica evidente a presença de grande quantidade de lixo que foi depositado há muitos anos no local (Figura 14).



Figura 14: Caracterização do Talude da Área de Estudo.
Fonte: Próprio Autor.

A área mais alta à montante do talude, local de cobertura final de solo inerte para o encerramento do lixão, tem paisagem composta por gramíneas do tipo capim, bambu e também remanescentes de outras formações arbóreas como mostra a Figura 15. Possivelmente o solo para fazer o encerramento das atividades do lixão foi retirado de área de empréstimo, pois apresenta características distintas do solo natural, com a presença de fragmentos de basalto intemperizado (Figura 16).



Figura 15: Caracterização da Área de Cobertura.
Fonte: Próprio Autor (2014).



Figura16: Fragmento de basalto intemperizado.
Fonte: Próprio Autor.

Na região mais baixa do local de deposição dos resíduos, à jusante do talude, é possível observar nitidamente a transição da área do talude e do solo natural. Notou-se também a presença de alguns materiais característicos de RSU no solo natural, deslocados pela ação gravitacional e também carregados devido à ocorrência de chuvas sobre o solo instável do talude, como mostra a Figura 17 fragmentos de pedra, vidro e plástico tipo PVC.



**Figura 17: Caracterização da Área à Jusante.
Fonte: Próprio Autor.**

No local existem três poços de monitoramento da água subterrânea, porém as perfurações acabaram tendo como finalidade a investigação e caracterização da ocorrência das águas subterrâneas para estudos acadêmicos. Portanto nota-se que não há acompanhamento das atividades de decomposição do material depositado tampouco das áreas adjacentes ao lixão (Figura18).

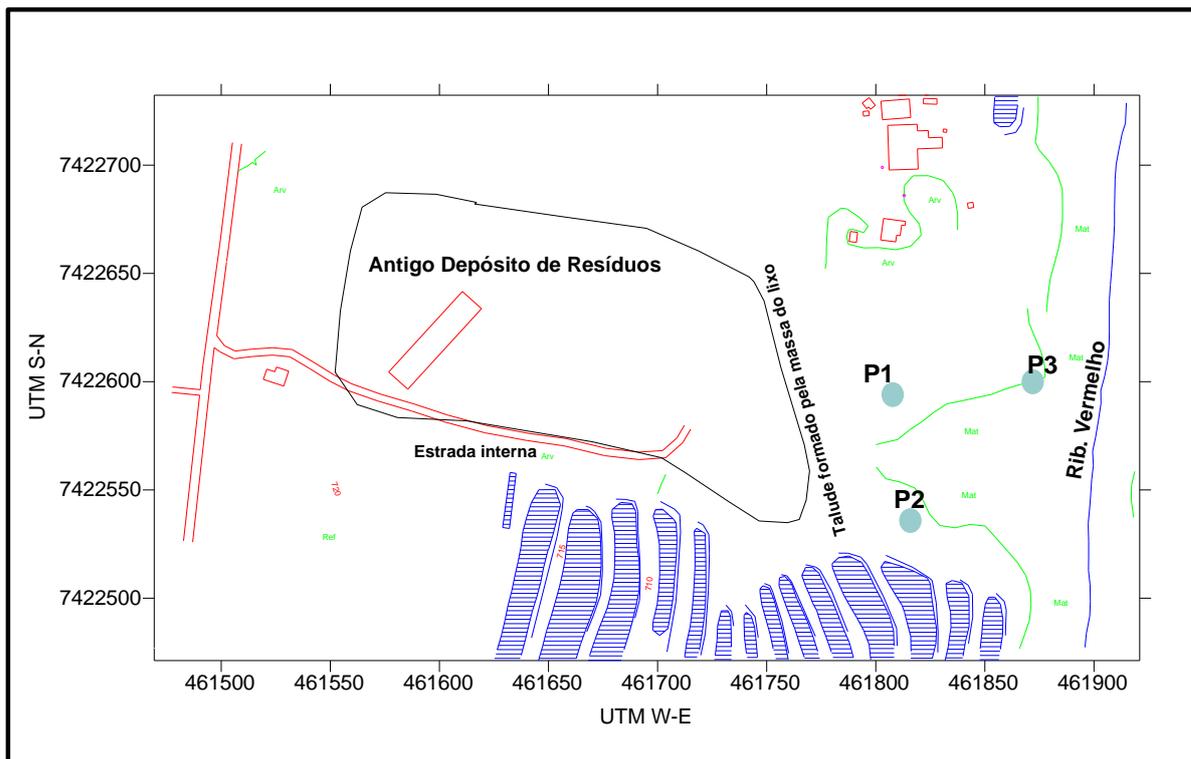


Figura 18: Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento.
Fonte: Santos (2003).

5.1.2 Encerramento das Atividades

O encerramento das atividades de descarte dos resíduos domiciliares não é suficiente para que não tenha mais riscos de contaminação no local. É preciso que o fechamento do lixão deva ser realizado em paralelo com o estudo de alternativas de novos locais para disposição final, de modo que não seja inviabilizada a destinação final dos resíduos, em curto prazo, no município (IPT/CEMPRE, 1995).

O local de disposição de resíduos só pode ser considerado encerrado quando estiver estabilizado, tanto do ponto de vista bioquímico como geotécnico, e a área utilizada devidamente recuperada e apta para uma nova ocupação e aproveitamento (BERNARDES JÚNIOR; SABAGG; FERRARI, 1999).

De acordo com Jorge, Baptisti e Gonçalves (2004) o termo encerramento além de designar o término das atividades de disposição dos resíduos sólidos em aterros, compreende também serviços de cobertura com solo e revestimento vegetal e a implantação de dispositivos de drenagem.

Quanto às condições sanitárias, as ações necessárias correspondem à movimentação e conformação da massa de lixo; eliminação de fogo e fumaça; delimitação da área, identificação dos locais onde houve ou não a disposição de lixo e limpeza da área de domínio. Os aspectos ambientais são tratados pelas ações: drenagem das águas superficiais; drenagem, coleta e tratamento de gases e chorume; cuidados para evitar e minimizar a contaminação do lençol freático e arborização do entorno da área e estabelecimento de vegetação pioneira (IPT/CEMPRE, 1995).

A drenagem superficial evita a percolação da água da chuva sobre a massa de resíduos em decomposição que diminui a quantidade de lixiviado produzido, a coleta e tratamento de gases e chorume são cuidados essenciais para segurança na área diminuindo riscos de combustão espontânea dos gases com os materiais dispostos e a contaminação das águas subterrâneas pela infiltração do chorume. A cobertura final interfere também nestes aspectos e tem a função de eliminar a proliferação de vetores, reduzir a exalação de odores, impedir a catação e deve ser resistente a processos erosivos para a futura utilização da área.

A camada de cobertura dos resíduos é o elo entre o lixo e o ambiente atmosférico, por isso, é tão importante para a liberação de gases do aterro, como na entrada de ar atmosférico e águas pluviais na massa de lixo, sendo importante também para prever o comportamento geotécnico, biológico e da própria operação do aterro.

No caso do antigo lixão de Rolândia não foi possível identificar os aspectos relacionados ao correto encerramento dos locais de disposição final de resíduos. Após os anos de operação foi adicionado sobre os resíduos uma camada espessa de solo não compactado de uma área de empréstimo com características diferentes do solo natural, que apresentou condutividade hidráulica nos ensaios de permeabilidade, portanto não é um solo indicado para utilização na cobertura final de lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

Uma alternativa utilizada para o encerramento e recuperação de uma área degradada por deposição inadequada de lixo envolve a remoção total dos resíduos depositados, transportando-os para um aterro sanitário, seguida da deposição de solo natural da região na área escavada. Contudo, ações deste porte compreendem elevados custos, inviabilizado economicamente este processo e forçando a adoção de soluções mais simples e econômicas de modo a minimizar o problema. Caso haja

uma área para instalação de novas células para deposição dos resíduos é necessário ser feito o processo de revitalização da área do lixão, permitindo que este esteja estabilizado do ponto de vista químico, biológico e geotécnico evitando assim riscos de contaminações ambientais.

5.2 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

A permeabilidade hidráulica é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o seu grau expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade (CAPUTO, 1996).

Os pontos escolhidos para realização dos seis ensaios de permeabilidade foram agrupados de modo a obter uma comparação com parâmetros físicos do solo. Terzaghi e Peck (1967) Mello e Teixeira (1967), fornecem classificações para valores de condutividade hidráulica, segundo o grau de permeabilidade e o tipo de solo predominante, respectivamente (Tabela 3). Tais parâmetros auxiliam na comparação dos resultados referentes aos ensaios de permeabilidade realizados *in situ* na área de estudo.

Tabela 3: Classificação da condutividade hidráulica do solo.

| Coeficiente de Permeabilidade K (cm/s) | Grau de Permeabilidade Terzaghi e Peck (1967) | Tipo de Solo Mello e Teixeira (1967) |
|--|---|---|
| 10^9 a 1 | Alta | Pedregulhos |
| 1 a 10^{-1} | | Areias |
| 10^{-1} a 10^{-3} | Média | |
| 10^{-3} a 10^{-5} | Baixa | Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos |
| 10^{-5} a 10^{-7} | Muito Baixa | |
| $< 10^{-7}$ | Impermeável | Argilas |

Fonte: Terzaghi & Peck (1967) Mello & Teixeira (1967).

A composição granulométrica da região do lixão de Rolândia – PR apresentada no trabalho de Yada Junior (2014) identificou a quantidade de argila, silte e areia em g.kg^{-1} que compõem o solo dos locais amostrados.

Os resultados apresentados por Yada Junior (2014) das análises granulométricas do solo da camada de cobertura final sobre o depósito de resíduos, classificam-no como muito argiloso. O teor de argila deste solo atingiu os maiores valores em comparação com o solo de base e o solo do talude, variando de 71 a 77%, e o teor de silte registrou proporções de apenas 5 a 7%, as menores de toda área estudada. A quantidade de areia presente neste solo também foi inferior em relação ao solo das outras áreas avaliadas, com variação de 16 a 24%. Na região do talude do lixão as amostras de solo coletadas apresentaram maiores quantidades de areia em sua composição granulométrica diante das três áreas distintas analisadas. Porém este solo pode ser classificado como de textura argilosa, com teores de argila entre 47 e 55%, silte entre 12 e 26%, e areia de 26 a 33%. A maior presença de areia na composição do solo pode ser devido ao efeito de lixiviação do solo ocasionado pela água pluvial, causando o carreamento das partículas mais finas, como a argila e silte, para a região a jusante do depósito de resíduos.

De acordo com Yada (2014) as análises granulométricas das amostras situadas na parte inferior do depósito, jusante ao lixão, apresentaram resultados que classificam o solo como textura argilosa e muito argilosa, com porcentagem predominante da fração argila, representando entre 51 e 66% das partículas com diâmetro menor ou igual a 2 μm . As frações silte apresentaram porcentagens entre 19 a 24%, enquanto a areia apresentou percentuais entre 15 a 25%. Devido à predominância da fração argila diante das outras texturas que compõem o solo foi possível afirmar que as amostras de solo à jusante do antigo lixão possuíam uma baixa permeabilidade e eram de boa qualidade para se utilizar na base de locais para disposição final dos resíduos.

Deste modo a área de cobertura apresentou características de solo muito argiloso e o solo do talude e da área a jusante como argiloso, devido a porcentagem maior de argila e silte nas amostras analisadas (Tabela 4).

Tabela 4: Granulometria das amostras da área do depósito de resíduos de Rolândia

| ÁREA | ARGILA (g.kg ⁻¹) | SILTE (g.kg ⁻¹) | AREIA (g.kg ⁻¹) | CLASSE TEXTURAL |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Cobertura | 747 | 57 | 197 | Muito Argilosa |
| Talude | 497 | 210 | 290 | Argilosa |
| Jusante | 573 | 220 | 207 | Argilosa |

Fonte: YADA JUNIOR (2014).

A porosidade do solo também foi outro fator analisado para relacionar características importantes do solo como: movimento e retenção de água, arejamento, reações do solo e manejo do solo. Resende et al.,(2012) ressaltam que a porosidade do solo está relacionada com a estrutura do solo e textura do solo, assim como, de modo geral, solos com maior presença de areia em sua composição possuem maior macroporosidade que solos argilosos com menores concentrações de areia. Segundo Lima et. al.(2007), a porosidade do solo é referida como ideal quando se apresentar com $0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ do seu volume total, no qual a microporosidade, responsável pelo armazenamento de água, variaria entre 0,250 e $0,330 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Já a macroporosidade, representada pelo volume de poros responsáveis pela aeração das raízes, ficaria entre 0,170 e $0,250 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Nos locais amostrados por Yada Junior (2014) foi possível identificar que o solo da área de cobertura apresentou maiores valores de porosidade total e macroporosidade quando comparado aos valores obtidos na área do talude e à jusante, porém com menor valor de densidade do solo. Já a área do talude e a área à jusante apresentou valores semelhantes de porosidade total e macroporosidade e valores maiores de densidade de solo (Tabela 5).

Tabela 5: Resultados porosidade do solo da área de depósito de resíduos de Rolândia-PR

| ÁREA | cm ³ .cm ⁻³ | | |
|-----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | Por.Total | Mic.Poro | Mac.Poro |
| Cobertura | 0.59 | 0.35 | 0.25 |
| Talude | 0.58 | 0.445 | 0.15 |
| Jusante | 0.58 | 0.54 | 0.035 |

Fonte: YADA JUNIOR (2014).

O aumento do grau de compactação influencia e altera os valores de densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração, condutividade hidráulica (DIAS JUNIOR E PIERCE, 1996) e o comportamento compressivo do solo (ARAUJO-JUNIOR et al., 2011) o uso intensivo e o tráfego máquinas são responsáveis pela alteração das características físicas do solo e posterior degradação, provocando o aumento na densidade e compactação dos solos e influenciando o rendimento e desenvolvimento vegetal de diversas espécies (TORMENA et al., 1998).

O coeficiente de permeabilidade é diretamente proporcional ao índice de vazios da amostra, ou seja, quanto maior for o número de espaços maior será o valor de k (coeficiente de permeabilidade). Quanto mais compacto estiver, menor é a sua permeabilidade, pois os tamanhos e forma dos canalículos serão menores.

O grau de compactação dos locais analisados foi obtido através da relação entre a densidade crítica e da densidade aparente. Nos ensaios realizados por Yada Junior (2014) o solo que apresentou maior porcentagem para o grau de compactação foi na região do talude seguido pelo solo à jusante e o solo da cobertura que obteve o menor grau de compactação (Tabela 6).

Tabela 6: Umidade ótima, densidade crítica de compactação e Grau de compactação das amostras, obtida através da relação entre a densidade crítica e a densidade aparente.

| LOCAL | Umid.ótima (Kg.Kg ⁻¹) | Dens.Crít (Kg.dm ⁻³) | Média Densidade Aparente (Kg.dm ⁻³) | Grau de Compactação (%) |
|-----------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------|
| Cobertura | 0.3119 | 1.43 | 1.18 | 82.72 |
| Talude | 0.2901 | 1.5 | 1.26 | 84.34 |
| Jusante | 0.3069 | 1.46 | 1.22 | 83.29 |

Fonte: YADA JUNIOR (2014).

A partir do estudo realizado com o solo da área, a curva de compactação resultante nas três áreas em forma de sino está condizente com Braja (2006), que relata que este formato é típico da maioria dos solos argilosos. O ponto mais alto de cada curva define a densidade máxima (crítica) do solo, e indica também a umidade ótima de compactação. Se um solo possuir a densidade próxima da densidade máxima da sua área, ele está com grau de compactação muito próximo de 100%. Em regiões onde há o descarte de resíduos no solo, quanto mais próximo de sua densidade máxima melhor será para evitar os possíveis danos ambientais decorrentes dessa atividade (Figura 19).

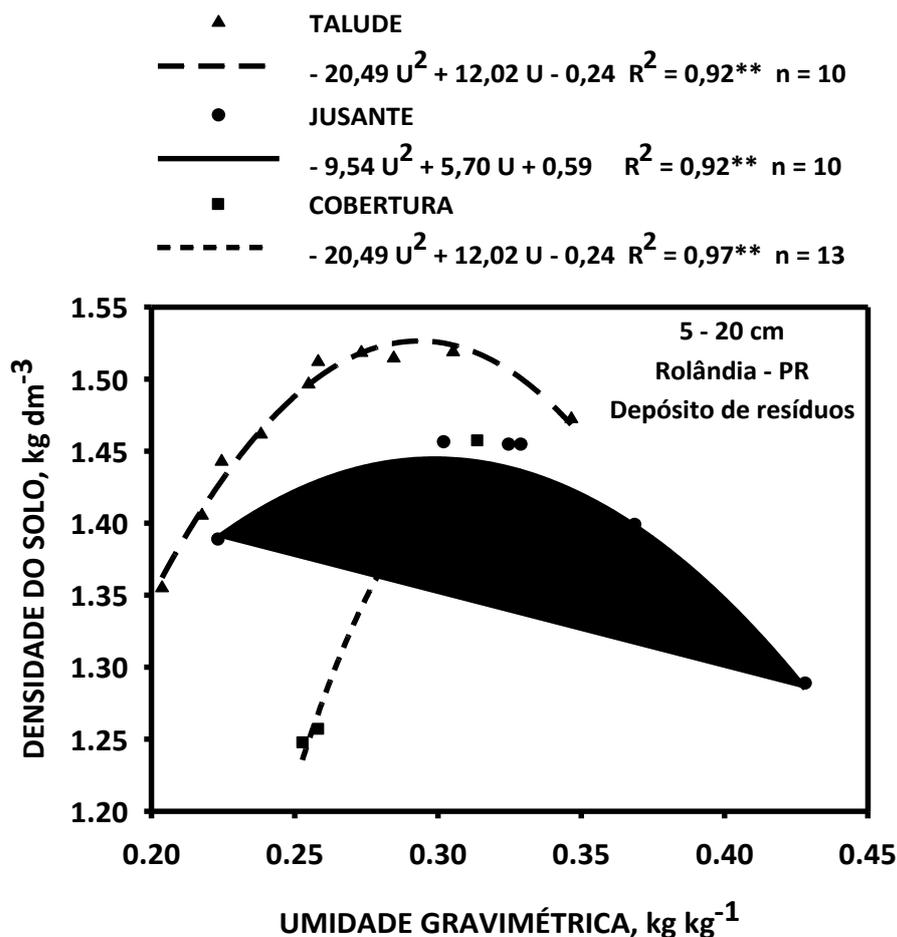


Figura 19: Curva de compactação do solo do depósito de resíduos de Rolândia-PR.
Fonte: YADA JUNIOR (2014).

Assim, o conhecimento dos processos físicos do solo envolvidos na condutividade hidráulica, através das condições do solo de cobertura, do talude e da área à jusante foi possível estabelecer se há relação com os ensaios realizados *in situ* com o permeâmetro *Guelph*. O permeâmetro hidráulico de campo foi aplicado em carga constante em meio poroso, cujos resultados foram deduzidos a partir de cálculos matemáticos via fórmulas específicas para a determinação da condutividade hidráulica do solo, objeto de estudo, como visto na metodologia.

Os resultados dos ensaios realizados no lixão indicam que o solo usado como cobertura para o aterro sanitário, foi um material argiloso não homogêneo. Isto ainda pode ser consequência de vazios encontrados no solo proveniente de uma compactação mal feita.

Na região do talude encontrou-se o menor valor de permeabilidade hidráulica nos pontos dos ensaios devido às diferentes composições do material

depositado. Na área a jusante os valores do coeficiente de permeabilidade apresentado estiveram de acordo com os valores para solos argilosos e também havia a presença de vegetação no local, criando poros nos horizontes pela ação das raízes (Tabela 7).

As relações estabelecidas no trabalho foram importantes para verificar que as classes de solo determinam a capacidade de percolação da água pelos horizontes do solo, isto é, solos argilosos apresentam menores valores de permeabilidade e dificultam a passagem da água entre os poros do solo. A macroporosidade é um fator inversamente proporcional à densidade do solo, isto é, quanto maior o número de poros (macroporos) o solo apresentar, menor será sua densidade.

Em todos os locais onde foi realizado o ensaio de permeabilidade apresentaram capacidade de percolação da água, portanto o solo da região não é apropriado para realizar a disposição final de resíduos, principalmente de origem doméstica, a presença de microrganismos decompositores faz com que este solo apresente teores de matéria orgânica superiores aos solos pertencentes ao talude e a jusante do depósito de resíduos. A matéria orgânica tem o poder de flocular o solo, abrir espaços e, assim, permitir a passagem de lixiviados decorrentes da decomposição dos resíduos sólidos que podem causar contaminação ambiental no solo e nas águas subterrâneas.

A Tabela 7 apresenta a perfeita inter-relação entre os parâmetros geotécnicos analisados na área de estudo e os valores de condutividade calculados, onde é nítida relação entre macro e micro porosidade, densidade do solo e os valores de k , onde esse último apresenta-se com maior capacidade de percolação nas localidades de maior macro porosidade e menores densidade e índice de compactação.

Tabela 7: Resultados das propriedades geotécnicas do solo e do ensaio do permeâmetro Guelph.

| ÁREA | Classe Textural | cm ³ .cm ⁻³ | | | g.cm ⁻³ | Grau de Compactação (%) | Permeabilidade (k) |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | Porosidade Total | Micro Porosidade | Macro Porosidade | Densidade. Solo | | |
| Cobertura | Muito Argilosa | 0.59 | 0.35 | 0.25 | 1.19 | 82.72 | 1,93.10 ⁻⁴ |
| Talude | Argilosa | 0.58 | 0.445 | 0.15 | 1.26 | 84.34 | 1,33.10 ⁻⁵ |
| Jusante | Argilosa | 0.58 | 0.54 | 0.035 | 1.22 | 83.29 | 1,88.10 ⁻⁵ |

Fonte: Próprio Autor.

Os valores de velocidades de fluxos obtidos através da relação da permeabilidade hidráulica (k) e o valor da porosidade efetiva (m_e) indicam que a camada da cobertura do solo apresenta condutividade hidráulica menor que os solos da área do talude e da área à jusante, conforme apresentado na Tabela 8. Sendo portanto passível de contaminação, já que para o adequado encerramento de um lixão, a área de cobertura deve passar por um processo de adequada compactação, evitando ou diminuindo a velocidade de percolação.

Dessa forma, os resíduos aterrados nas camadas mais profundas do solo estão sujeitos a lixiviação de compostos orgânicos e inorgânicos por efeito do processo de infiltração, carreando os produtos para a zona saturada do solo, contaminando assim o aquífero..

Tabela 8: Velocidade de fluxo na área do depósito de resíduos.

| Área | Velocidade de Fluxo (m/dia) |
|-------------|--|
| Cobertura | $2,14.10^{-1}$ |
| Talude | $1,48.10^{-2}$ |
| Jusante | $2,09.10^{-2}$ |

Fonte: Próprio Autor.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na presente pesquisa foram importantes para compreender as características geotécnicas e avaliar o solo utilizado no encerramento do depósito de resíduos e seu entorno. A modelagem das curvas de compactação permitiu descobrir que a umidade ótima de compactação é inferior no solo do talude, mais arenoso que os demais.

Além disso, os menores valores de densidade crítica de compactação foram obtidos no solo da camada de cobertura do lixão, devido à maior composição de argila neste solo. O teor de matéria orgânica presente pelos resíduos sólidos abaixo do solo desta área também teve influência na Densidade Crítica de compactação e na Umidade Gravimétrica ótima, causando o mesmo efeito do teor de argila.

O grau de compactação não diferiu entre as três áreas, demonstrando o incorreto encerramento da camada de cobertura do depósito de resíduos. Com esta camada de compactação deficiente, há riscos ambientais de carregamento de resíduos com a chuva, infiltração de contaminantes para o interior do lixão, assim como o risco de vazamentos de gases e explosões em determinadas circunstâncias.

Portanto, um conjunto de práticas errôneas aliadas à deficiente legislação e fiscalização da Prefeitura do município de Rolândia fez com que o lixão apresentasse seu encerramento de forma insatisfatória no ponto de vista ambiental. É necessário que haja a contratação de profissionais da área de engenharia ambiental para a avaliação ambiental completa na área e a solução dos problemas no setor, a fim de que não se agravem os efeitos indesejados como, por exemplo, os riscos de contaminação do solo, da água e do ar, a proliferação de vetores causadores de doenças, entre outros efeitos.

Os resultados obtidos para condutividade hidráulica utilizando o permeâmetro *Guelph* mostrou que a velocidade de percolação da água é baixa, mas o suficiente para comprometer as funções de uma cobertura de aterro, ou seja o impedimento da passagem do percolado para as camadas inferiores.

Todos os parâmetros e características do lixo e dos aterros sanitários devem continuar a serem estudadas, além disso, é necessário aprofundar e o desenvolvimento de novas experiências geotécnicas para o melhor entendimento das interações solo-contaminante e dos mecanismos de transporte de

contaminantes. Assim, os riscos de contaminação do solo podem ser diminuídos as soluções para a o impedimento descontaminação de solos poluídos podem ser alcançadas com mais rapidez e eficiência.

REFERÊNCIAS

ABELPRE - Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais –Abrelpe. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2012.

ARAUJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S. de; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga de um Latossolo e umidade crítica para o tráfego de um trator. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 115-131, jan./fev. 2011.

ARCHELA, R.S.; BARROS, M.V.F. **Atlas Urbano de Londrina**. Londrina: EDUEL, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR ISO 14001: Sistema de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Análise granulométrica, solos, método de ensaio, NBR 7181/84**. Rio de Janeiro: 1984a. 15p.

BECK, F.L.; BOHNEN, H.; CABEDA, M.S.V.; CAMARGO, F.A.O.; KAMPF, N.; MEURER, E.J. **Projeto pedagógico – ensino de graduação**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 2000, 26 p. (Boletim Técnico, n. 6) In: MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo**. 2ª Ed. Porto Alegre: Genesis, 2004, 290 p.

BERNARDES JÚNIOR, C.; SABAGG, M.A.F.; FERRARI, A.A.P. Aspectos Tecnológicos de Projetos de Aterros de Resíduos Sólidos, In: RESID - Seminário sobre resíduos sólidos. **Anais**. São Paulo: ABGE, 1999, p. 51-68.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. v. 1, 305 p./

BRAJA, M. D. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**; São Paulo: Thomson Learning, 2006.

BRASIL. **Lei Federal nº12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 17 de mai. 2014.

BUCKMAN, H.O; BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 1974. 594 p.

BOSCOV, M.E.G.; ABREU, R.C. Aterros Sanitários. Previsão de desempenho x comportamento real. **ABMS**, São Paulo, 2000.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 1996. 234p.

CAVALCANTI, C. **Ambiente & Sociedade** – v. VII, n.1, jan./jun. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v7n1/23541.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

CELLIGOI, A.; SANTOS, M.M.; VIANA, T.R. Análise e interpretação do gradientehidráulico do aquífero freático em uma área na região sul de Londrina – PR. In Geografia: **Revista do Departamento de Geociências**. Londrina, v.10, n.1, p. 79-87,jan/jun. 2001.

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 175-182, jan./mar. 1996.

DIAS, S.M.F. Proposição de uma matriz de indicadores de sustentabilidade em gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e sua aplicação em um estudo de caso. 58f. **Monografia** (Progressão de carreira no magistério superior) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA - CNPS, 2ªedição, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SPI, 2ªedição, 2006.

FERNANDES, M. M. **Mecânica dos SolosConceitos e Princípios Fundamentais**. Porto: FEUP, 1ª edição,2006, 158 p.

FLINT, L.E; FLINT, A.L. Porosity. In: Dane JH, Topp GC. (ed.) Methods of soil analysis:physical methods. **Madison: Soil Science Society of America**. p.241–254, 2002.

FORNASARI FILHO, N. F; BRAGA, T. de O; GALVES, M. L; BITAR, O. Y. e AMARANTE, A. 1992. **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológica (Publicação IPT; 1972).

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Mapa climático do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>. Acesso em 30 jul. 2014.

IBGE - Atlas Saneamento 2011. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão e Ministério das Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm>. Acesso em 16 mar. 2014.

IBGE. **Geografia do Brasil** - Região Sul - Rio de Janeiro, v.5. 1997.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE. 2007. 316 p. (Manuais Técnicos em Geociências nº4).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM - IPT e CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 1ªed. São Paulo: **IPT/CEMPRE**, 1995. 278 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Diagnóstico da distribuição de renda para o Saneamento. 1ªed. Rio de Janeiro: **IPEA**, 2012. 118 p.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, abr. 2011. Acesso em abr. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142011000100010&lng=en&nrm=iso>.

JORGE, F. N. de; BAPTISTI, E. de; GONÇALVES, A. Monitoramento em Aterros Sanitários nas Fases de Encerramento e de Recuperação: desempenhos mecânicos e ambiental, in: RESID - Seminário sobre resíduos sólidos. **Anais**. São Paulo: ABGE, 2004.

LEINZ, V. **Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil**. São Paulo, 1976. 61p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.

LEITE, C.M.B. et al. Método Walkley-Black na determinação de matéria orgânica em solos contaminados por chorume. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, SP. V.8, n.1, p.111-115. 2004. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v8n1/v8n1a16.pdf>>. Acesso em 20 mar. 2014.

LEMO, R.C.; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2.ed. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**; Embrapa-SNLCS, 1984. 46p.

LIMA, C. G. R. da; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.31, n.6 ,pg. 1233-1244, 2007.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 3ª ed. Curitiba: Imprensa Oficial,2002.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro/Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981.

MEAULO, F.J. Vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de Araraquara (SP). **Dissertação (Mestrado)** – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

MEDEIROS, L.R.F. de; MACEDO, K.B. Catador de material reciclável: Uma profissão para além da sobrevivência? *Revista Psicologia & Sociedade*. V. 18, n.2, p.62-71, ago. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/psoc/v18n2/08.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2014.

MELLO, V. F. B. de & TEIXEIRA, A. H. **Mecânica dos Solos**. São Carlos: Escola de Engenharia, 1967.

MELO, A.C.A. Resíduos Sólidos Domiciliares na Cidade de Rolândia-PR: Coleta seletiva e reaproveitamento – reciclagem. **Monografia de conclusão de curso**. Departamento de Geociências/CCE. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 1999.

MELO, A.C.; BARROS, M. V.F.; FERNANDES, F. Diagnóstico da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Rolândia (PR). **Revista Geografia**, Londrina, v. 20, n. 2, p. 5-28, 2011.

MIGUEL, M.G., PINESE, J.P.P. 2004. Breve panorama sobre a Geotecnia Ambiental. **Boletim de Geografia**, v.22, n.1, p.75-85, Maringá, 2004.

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná. **Mapa geológico do Estado do Paraná na escala de 1:250.000**. MME / DNPM / Gov. do Estado do Paraná. Curitiba, PR, 2001.

NISHIYAMA, L.; MARIANO, F. **Utilização do Permeâmetro de Guelph e penetrometro de impactos em estudos de uso e ocupação dos solos em bacias hidrográficas**. Vol.8, n.8. p. 131-143. Uberlândia: Caminhos de Geografia. (2007)

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 3ª edição, 2006, 3 p. RESENDE, T.M.; MORAES, E.R.; FRANCO, F.O.; ARRUDA, E.M.; ARAÚJO, J.R.; SANTOS, D.S.; BORGES, E.N.; RIBEIRO, B.T. Avaliação Física Do Solo Em Áreas Sob Diferentes Usos Comadição De Dejetos Animais No Bioma Cerrado. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 179-184, Mar. 2012.

ROLÂNDIA, Prefeitura Municipal. **Plano diretor de desenvolvimento urbano**. Instituto de pesquisas urbanas de Rolândia, 1996.

SANTOS, M. M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do Aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005. 130p.

SANTOS, M.M.; CELLIGOI, A. Avaliação Hidrogeológica nas adjacências do antigo Lixão de Rolândia-PR .XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços . **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, p.195-204, 2003.

SCHNEIDER, R. L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. XXVIII Congresso Sociedade Brasileira de Geologia. Porto Alegre-RS. **Anais**, 1974.

SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. de S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: Jong van Lier, Q. (Ed.). Física do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 241 - 281.2010.

SOIL MOISTURE CORP. Model 2800K1, *Guelph* Permeameter: Operating Instructions. Santa Bárbara, CA 93105, 28p.

STEPHENS, D. B. *Vadose Zone Hydrology*. Lewis Publishers, 1996.

SUPO, K.C.L; ARARUNA JÚNIOR, J.T. **Desenvolvimento de permeâmetro de vazão constante de campo**. 2008. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

TERZAGUI, K. & PECK, R. B. *Soil Mechanics and Engineering Practice*. Wiley, New York 1967.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

TRUFFI, S. A.; CLEMENTE, C. A. **Alteração de Plagioclásios dos Riodacitos da Formação Serra Geral da Região de Piraju –SP**. Scientia Agricola (Piracicaba, Brasil.) vol.59 n.º.2 Piracicaba Abril/Junho 2002.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509 p.

VIEIRA S.A. **Manual da ciência do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres LTDA. 1995.

YADA JUNIOR, George Mitsuo. Propriedades Geotécnicas do antigo depósito de resíduos de Rolândia-PR. 2014. 63 f. **Trabalho de conclusão de curso** (graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.