

Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Geologia

**FASES DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA PARA A IMPLANTAÇÃO
DE DUTOVIAS**

Rafael Sargentini

Prof. Dr. Leandro Eugenio Silva Cerri

Rio Claro (SP)

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

RAFAEL SARGENTINI

FASES DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA
PARA A IMPLANTAÇÃO DE DUTOVIAS

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP
2011

624.151 Sargentini, Rafael
S245f Fases de investigação geológico-geotécnica para a
implantação de dutovias / Rafael Sargentini. - Rio Claro :
[s.n.], 2011
42 f. : il., figs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geologia) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Leandro Eugenio Silva Cerri

1. Geologia de Engenharia. 2. Obras lineares. 3.
Geotecnia. I. Título.

RAFAEL SARGENTINI

FASES DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE DUTOVIAS

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Leandro Eugenio Silva Cerri (orientador)
Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis
Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Rio Claro, 23 de Novembro de 2011.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Primeiramente aos meus pais, aos quais sou imensamente grato pelo afeto, amor e dedicação, por se doarem inteiramente, renunciando muitas vezes seus sonhos, para que os meus pudessem se realizar. Durante todos esses anos vocês foram para mim um grande exemplo de força, de coragem e perseverança para nunca desistir diante do primeiro obstáculo encontrado.

Aos meus irmãos pelo amor e amizade, por estarem presentes, nos bons e maus momentos, dividindo sempre tristezas e principalmente alegrias.

Aos meus demais familiares, pelo grande suporte e estímulo. Só não citando seus nomes, pois uma única folha não seria suficiente para isso.

À minha namorada Ana Maria, por estar do meu lado sempre que precisei, e pelo carinho, amor e compreensão durante esses anos que passamos juntos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leandro Eugênio Silva Cerri, pelas palavras sempre sábias, por seu apoio e inspiração no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram a execução e conclusão desta monografia.

Aos amigos da Geologia, da República Caenga, do Locomotiva Rugby Araraquara, do Rugby Unesp Rio Claro, por tornarem todos esses anos mais prazerosos.

Enfim, a todas as pessoas que colaboraram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa e a todos que estiveram presentes durante estes seis anos de curso.

RESUMO

A pesquisa aborda a necessidade de investigações geológico-geotécnicas detalhadas no projeto de dutovias, dada a diversidade de unidades geológicas atravessadas por estas obras ao longo de seu traçado, que muitas vezes se estende por centenas de quilômetros. Por sua grande extensão, este tipo de obra atravessa frequentemente estados e regiões diferentes, com características bem distintas em termos de relevo, vegetação, geologia e condições geotécnicas. Para um melhor aproveitamento dessas investigações, a fim de evitar gastos desnecessários e resultados ineficientes, alguns autores recomendam que sejam realizadas fases de estudo, buscando um detalhamento progressivo da área de implantação da dutovia. O objetivo principal do trabalho é descrever, analisar e correlacionar as diferentes propostas de investigações geológico-geotécnicas recomendadas pelos autores selecionados. Nogueira Júnior & Marques (1998) sugerem que para uma maior eficácia das investigações geológico-geotécnicas associadas à implantação de dutovias, diferentes métodos de investigação sejam aplicados sequencialmente em cinco grandes fases da obra. Rocha et al (2008) recomendam que, para implantação de dutovias utilizando perfuração direcional dirigida, as investigações sejam realizadas em três fases de estudo, a serem desenvolvidas de forma coordenada com as etapas do projeto. Para Gelinas & Mathy (2004), quando as restrições de tempo e orçamento permitirem, as investigações geotécnicas para projetos de perfuração direcional para dutovias devem ser feitas em quatro fases sequenciais. Heinz (2008) sugere que as investigações geotécnicas para implantação de tubulações utilizando a técnica de perfuração direcional dirigida em travessias de corpos d'água sejam efetuadas em três estágios sucessivos. Através do desenvolvimento da pesquisa, pôde-se visualizar que todas as diferentes propostas recomendam estudos em fases sequenciais, partindo de uma escala mais geral para uma mais específica, buscando um entendimento progressivo do modelo geológico da área onde se pretende implantar a dutovia.

Palavras chave: Dutovias, Investigações geológico-geotécnicas, geologia de engenharia

ABSTRACT

The research addresses the need for detailed geological and geotechnical investigations in pipeline's design, given the diversity of geological units crossed by these works along its layout, which often extends for hundreds of miles. For its large size, this type of work often goes through different states and regions with very different characteristics in terms of topography, vegetation, geology and geotechnical conditions. For a better use of these investigations in order to avoid unnecessary costs and inefficient results, some authors recommend that steps be taken to study, seeking a progressive detail of the pipeline's implantation area. The main objective of the study is to describe, analyze and correlate the proposals for geological and geotechnical's investigation recommended by the authors selected. Nogueira Junior & Marques (1998) suggest that for better effectiveness of geological and geotechnical investigations associated with the deployment of pipelines, different research methods are applied sequentially in five major stages of the building. Rocha et al (2008) recommend that, for the pipeline's implantation using horizontal directional drilling, investigations are performed in three phases of study, to be developed in coordination with the project stages. For Gelinas & Mathy (2004), when time and budget constraints permit, geotechnical investigations for directional drilling projects for pipelines must be made in four sequential phases. Heinz (2008) suggests that the geotechnical investigations for pipeline's implantation using horizontal directional drilling at crossings of water bodies are carried out in three successive stages. By the development of research, we could see that all the different proposals recommend studies in sequential phases, starting from a more general scale for a more specific, seeking a progressive understanding of the geological model of the area where you intend to deploy the pipeline.

Key words: Pipelines, geotechnical investigations, engineering geology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Proposta de elaboração de um plano de pesquisa.....	12
Figura 2 - Etapas de investigação geológica e geotécnica.....	16
Figura 3 - Realização de furo piloto em perfuração horizontal direcional.....	21
Figura 4 – Alargamento do furo e puxada da tubulação, simultaneamente.....	21
Figura 5 - Perfil sísmico executado com emprego simultâneo de três fontes acústicas: (A) <i>pinger</i> (24kHz); (B) <i>chirp</i> (2-8kHz) e (C) <i>boomer</i> (0,5-2kHz).....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fundamentos conceituais da Geologia de Engenharia.	16
Quadro 2 - Fases de Estudo para implantação de Barragens e Reservatórios.....	17
Quadro 3 - Fases de Estudo Para Obras Subterrâneas.....	18
Quadro 4 - Fases de Estudo Aplicadas na Implantação de Rodovias.....	19
Quadro 5 - Condicionantes geológicos que resultam nos principais problemas geotécnicos em uma obra de dutovia.....	23
Quadro 6 - Aplicação dos métodos de investigação geológico-geotécnica nas diversas fases de projeto da dutovia.....	25
Quadro 7 – Fases de Investigação de um projeto de Perfuração Direcional Dirigida-HDD.....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. OBJETIVOS.....	11
3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA.....	12
3.1. Levantamento Bibliográfico.....	13
3.2. Fundamentação Teórica.....	13
3.3. Descrição e Análise das Propostas de Investigação Geológico-Geotécnicas.....	14
3.4. Redação da monografia.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	15
4.1. Fundamentação Teórica.....	15
4.1.1. <i>Investigações Geológico-Geotécnicas associadas a implantação de dutovias.....</i>	<i>15</i>
4.1.2. <i>Fases de Estudo.....</i>	<i>17</i>
4.1.3. <i>Métodos Construtivos.....</i>	<i>19</i>
4.1.4. <i>Condicionantes geológico-geotécnicas</i>	<i>21</i>
4.2. Propostas de Investigação Geológico-Géotecnicas de Diferentes Autores.....	24
4.2.1. <i>Proposta de Investigação Geológico-Géotecnicas de Nogueira Junior & Marques (1998).....</i>	<i>24</i>
4.2.2. <i>Proposta de Investigação Geológico-Géotecnicas de Rocha et al. (2008).....</i>	<i>29</i>
4.2.3. <i>Proposta de Investigação Geológico-Géotecnicas de Gelinas & Mathy (2004)</i>	<i>34</i>
4.2.4. <i>Proposta de Investigação Geológico-Géotecnicas de Heinz (2008).....</i>	<i>35</i>
4.2.5. <i>Análise comparativa.....</i>	<i>37</i>
5. CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

O presente texto descreve o desenvolvimento da pesquisa intitulada “*Fases de investigação geológico-geotécnica para a implantação de dutovias*”, submetida à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, campus de Rio Claro, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Formatura, no ano letivo de 2011.

A pesquisa foi desenvolvida pelo graduando Rafael Sargentini e contou com a orientação do Professor Doutor Leandro Eugenio Silva Cerri, docente do Departamento de Geologia Aplicada, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (DGA/IGCE).

O tema abordado trata das fases de investigação geológico-geotécnica associadas à implantação de dutovias.

As dutovias podem transportar gases, líquidos, e misturas semifluidas, sendo mais adequadas ao transporte de mercadorias produzidas em processos de fluxo contínuo e que mantenham demanda restrita a pontos fixos, como por exemplo, os combustíveis.

Segundo Santana (1974), as suas características técnicas, operacionais e econômicas, pouca interferência com os demais modais e reduzida necessidade de manuseio de carga, convertem o sistema de dutos em meio seguro e econômico para o transporte de certos produtos, como, gás, água, minérios, petróleo e seus derivados, interligando regiões produtoras a centros consumidores.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, atualizados até 2005, a malha dutoviária brasileira compunha 400 dutos, que somados representavam 20 mil km de extensão. Destes, 241 dutos (aproximadamente 7.500km) eram utilizados para transportar petróleo e derivados. Em sua maioria, eram dutos terrestres e subterrâneos, com profundidades que variam de 90 centímetros a 1,5 metros (GASPARINI, 2006).

Atualmente, a malha dutoviária vem crescendo significativamente devido às novas descobertas de reservatórios de petróleo e gás natural, assim como a crescente produção de biocombustíveis.

Segundo Nogueira Junior & Marques (1998), as dutovias são obras lineares de grande extensão, com traçados que atingem centenas a milhares de quilômetros, atravessando regiões de

grande diversidade morfológica, rios, ambientes marinhos costeiros e regiões metropolitanas. Mais importante, ainda, é a diversidade geológica encontrada, pois, normalmente, são interceptadas diferentes formações geológicas, com os tipos de solos e condições hidrogeológicas e fenomenológicas a elas associados.

Essas diferentes condições trazem a necessidade de estudos criteriosos e investigações geológico-geotécnicas precisas.

Para um melhor aproveitamento e eficácia dessas investigações, alguns autores recomendam que sejam realizadas em etapas sequenciais de acordo com as fases da obra, sendo que, conforme se avança na execução das etapas de implantação da dutovia, utilizam-se métodos de investigação e de caracterização mais sofisticados, que demandam prazos e custos crescentes para a sua realização, mas que proporcionam um maior entendimento das características do meio físico no qual a obra será construída.

Pela importância deste tipo de obra, frente ao crescimento da malha dutoviária no Brasil, a presente pesquisa trata-se da compilação dos métodos propostos pelos diferentes autores, buscando analisar e correlacionar as diferentes propostas, resultando em um roteiro de investigação geológico-geotécnico voltado para a implantação de dutovias.

2. OBJETIVOS

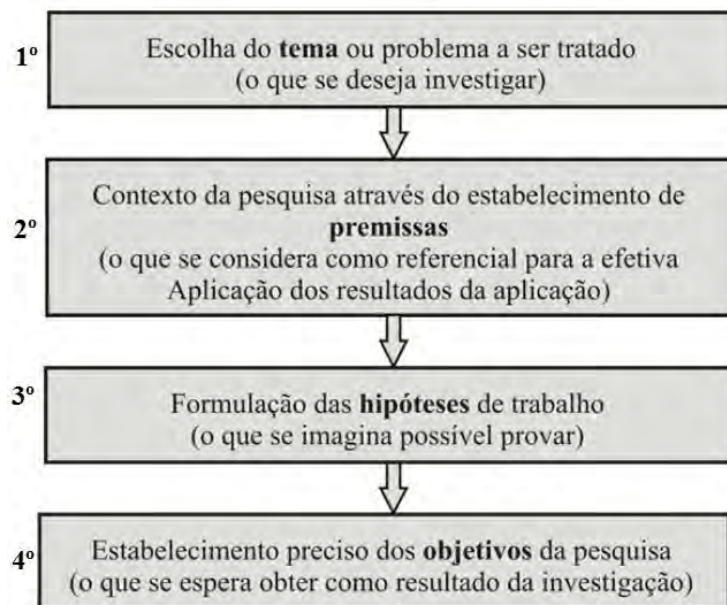
A presente pesquisa tem como objetivo principal discorrer, especialmente com base na literatura atualizada, sobre diferentes propostas de investigação geológico-geotécnica para a implantação de dutovias, descrevendo os principais procedimentos e as fases de investigação geológico-geotécnicas sugeridas por diferentes autores e correlacioná-las, de modo a possibilitar a complementação da formação técnico científica do graduando no tema pesquisado.

3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA

O êxito de uma pesquisa depende fundamentalmente da organização e do método aplicado. De acordo com Rudio (1989), o método serve de guia para o estudo sistemático do enunciado, compreensão e busca de solução do referido problema.

Cerri (1993) propõe os seguintes passos para a elaboração de um plano de pesquisa: escolha do tema, seguida do estabelecimento de pressupostos, hipótese de trabalho e, a partir destes pontos colocados, a definição dos objetivos a serem buscados pela pesquisa (Figura 1).

Figura 1 - Proposta de elaboração de um plano de pesquisa



Fonte: Adaptado de Cerri, (1993).

A partir da definição dos quatro pontos básicos apresentados, a essência da pesquisa científica passa a corresponder à verificação das hipóteses formuladas, suscetíveis de serem declaradas verdadeiras ou falsas, buscando solucionar o problema. (CERRI, 1993)

No campo das geociências, a especialização que enfoca as relações biunívocas entre o homem e o meio físico geológico recebe a denominação de Geologia de Engenharia.

Segundo os estatutos da *International Association of Engineering Geology and Environmental* (IAEG), a Geologia de Engenharia é conceituada como a “ciência dedicada à

investigação, estudo e solução de problemas de Engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a Geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos”.

Para as análises dos fenômenos da Geologia de Engenharia o método científico mais indicado é o Método das Hipóteses Progressivas, que se baseia no método indutivo de Francis Bacon e no método experimental de Galileu Galilei, ambos idealizados no século XVII.

O Método das Hipóteses Progressivas trata-se de um contínuo processo de adoção e aferição de hipóteses fenomenológicas. Este processo é obtido através da investigação orientada de dados para se chegar a um diagnóstico seguro (SANTOS 1994).

Baseado nos métodos propostos pelos diferentes autores, a pesquisa foi realizada em quatro etapas, descritas abaixo:

3.1. Levantamento Bibliográfico

Nessa etapa foram reunidas as principais bibliografias disponíveis sobre o tema estudado, incluindo trabalhos de síntese indicados pelo orientador e o acervo disponível na biblioteca da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Rio Claro, que dispõe de computadores com acesso aos principais bancos de dados nacionais e internacionais, assim como o material de consulta dos bancos de dados acessíveis pela internet.

As bibliografias foram selecionadas com base no título da publicação, utilizando-se da busca por palavras-chave. O sistema de busca empregado foi o Booleano, método que se resume à utilização de operadores lógicos (AND, OR, NOT, NEAR, * e “ ”) para combinar várias palavras ou frases de maneira específica, de tal forma que a busca seja concentrada sobre o objetivo, excluindo os resultados que não interessam.

3.2. Fundamentação Teórica

Com base na bibliografia consultada, foram caracterizados os principais conceitos necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Inicialmente foram descritos aspectos importantes para as investigações geológico-geotécnicas associadas à dutovias, tratando das características desse tipo de obra dos principais critérios necessários para uma maior eficácia nas investigações.

Também foram abordadas as grandes fases de estudo usualmente aplicadas na implantação de grandes obras como barragens, rodovias e obras subterrâneas, descrevendo as principais atividades e métodos de investigação através de quadros.

Os principais métodos construtivos utilizados na implantação de dutovias também foram descritos e, por fim, foram tratados os condicionantes geológico-geotécnicos e parâmetros do maciço terroso e rochoso que representam situações problemáticas para a implantação de dutovias.

3.3. Descrição e Análise das Propostas de Investigação Geológico-Geotécnicas

Nesta etapa foram descritos os métodos e as etapas de investigação geológico-geotécnicas propostas por diferentes autores. Para isso foram consultados diferentes trabalhos reunidos na primeira etapa descrevendo as propostas de investigação começando pela mais geral para a mais específica.

Após a descrição foi feita uma análise comparativa procurando correlacionar as diferentes propostas de acordo com as fases propostas, as atividades de cada fase e os termos utilizados pelos diferentes autores.

3.4. Redação da Monografia

A última etapa correspondeu à redação da monografia, contendo a descrição e a análise do desenvolvimento da pesquisa como um todo, incluindo a formulação das conclusões.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fundamentação Teórica

Buscando uma contextualização do tema de estudo, serão tratados a seguir alguns conceitos teóricos necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

4.1.1. Investigações Geológico-Geotécnicas associadas a implantação de dutovias

Nogueira Junior & Marques (1998) afirmam que as dutovias são obras de engenharia muito superficiais, envolvendo, na grande maioria das vezes, apenas o horizonte de solo e a rocha muito a extremamente alterada, sendo reduzidos os trechos de intervenção em rocha pouco alterada ou sã.

Segundo os mesmo autores a escolha do traçado de uma dutovia, deve se orientar por critérios geométricos e geológico-geotécnicos. Sempre que possível, as dutovias têm traçados retilíneos, pois isso se traduz em custos mais baixos no transporte de material, devido o menor deslocamento.

Como toda obra linear, as dutovias atravessam uma grande diversidade de materiais, que em decorrência da imanência de suas características físicas, apresentam comportamentos geotécnicos diferenciados frente às solicitações impostas pela implantação da obra.

O conhecimento detalhado das características geológico-geotécnicas é essencial para elaborar um modelo consistente da área a ser atravessada pelos dutos, fornecendo subsídios à implantação das obras de engenharia adequadas para cada trecho do traçado, antecipando assim, eventuais problemas que possam dificultar, atrasar ou até impedir a execução da obra, além de evitar riscos futuros.

Para isso torna-se necessário a realização de investigações geológico-geotécnicas precisas, sendo que para poder executar essas investigações de modo que sejam obtidos resultados confiáveis, Santos (1994) sugere que os profissionais da Geologia de Engenharia adotem três conceitos fundamentais, apresentados no Quadro 1.

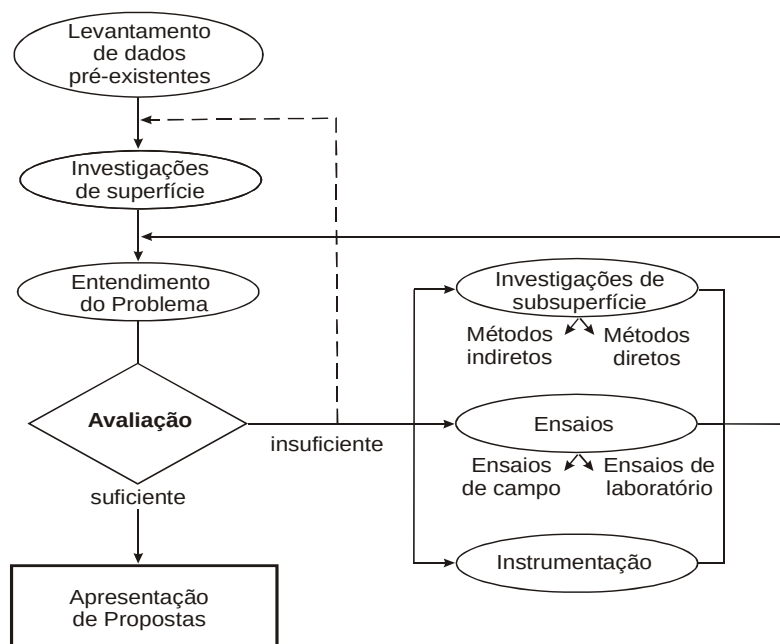
Quadro 1 - Fundamentos conceituais da Geologia de Engenharia

CONCEITOS	FUNDAMENTOS
Natureza em contínuo movimento	Toda natureza geológica está submetida a processos e toda intervenção humana interage com a dinâmica desses processos.
Sentido de equilíbrio	Todos os movimentos inerentes aos processos naturais ou induzidos explicam-se pela busca de posições de maior equilíbrio.
Imanência das características físicas	Materiais com características intrínsecas diferentes responderão diferentemente a solicitações semelhantes.

Fonte: Adaptado de Santos (1994).

Desta forma, para um melhor aproveitamento das investigações, evitando problemas de custos maiores do que os previstos e utilização de métodos ineficazes, os estudos geológico-geotécnicos associados à implantação de dutovias devem ser realizados com base em uma sequência de atividades conforme ilustrado no fluxograma da Figura 2

Figura 2 - Etapas de investigação geológica e geotécnica.



Fonte: Modificado de Augusto Filho (1992).

4.1.2. Fases de Estudo

É comum em Geologia de Engenharia, que as investigações geológico-geotécnicas para a implantação de obras de grande porte, sejam realizadas em diferentes fases de estudo associadas com as grandes etapas ou fases do projeto.

A dimensão das áreas envolvidas e as escalas de abordagem variam de acordo com o tipo de obra e as etapas consideradas. Os trabalhos sempre partem do geral, ou seja, do âmbito regional e evoluem para os estudos mais minuciosos e de âmbito local.

Para a implantação de barragens e reservatórios, Marques Filho & Geraldo (1998) sugerem seis grandes fases de estudo mostradas no Quadro 2.

Quadro 2 - Fases de Estudo para implantação de Barragens e Reservatórios

FASE	ATIVIDADES
INVENTÁRIO (escolha das alternativas)	Fase de Escritório: Geologia Regional e Local. Geologia Estrutural. Localização potencial de materiais de construção. Proposição de 2 ou 3 eixos alternativos.
VIABILIDADE (escolha do eixo definitivo a partir de estudos geológico-geotécnicos)	Caracterização geológico-geotécnica das estruturas da obra. Levantamento quanto à disponibilidade de materiais de construção com estimativa de volumes. Indicações quanto ao tratamento das fundações e sistemas de drenagem. Análise de eventuais problemas associados a assoreamento do reservatório, estanqueidade, sismicidade, estabilidade dos taludes, etc. Determinação do eixo definitivo.
PROJETO BÁSICO (detalhamento dos estudos geológico-geotécnicos)	Detalhamento da caracterização geológico-geotécnica. Localização, caracterização e cubagem dos materiais de construção. Definição do tratamento das fundações (injeções de impermeabilização/consolidação e drenagem). Definição do sistema de escavação. Especificações construtivas. Definição quanto à instrumentação.
PROJETO EXECUTIVO (construção da obra com eventuais estudos geológico-geotécnicos complementares e instalação de instrumentos)	Detalhamento do Projeto Básico, levando-se em conta aspectos físicos não detectados nas etapas anteriores. Acompanhamento da construção da obra. Instrumentação dos maciços.
MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO (leitura dos instrumentos e avaliação do comportamento da obra)	Análise dos resultados da instrumentação, do comportamento das estruturas e das áreas adjacentes ao reservatório.
“AS BUILT” (banco de dados e arquivo técnico)	Arquivo dos dados técnicos obtidos com o desenvolvimento das etapas anteriores para uso em caso de necessidade de reparo na obra.

Fonte: Adaptado de Marques Filho e Geraldo (1998 p. 397).

Em obras subterrâneas, Francis & Rocha (1998) recomendam que os estudos sejam realizados em três grandes fases sequenciais mostradas no Quadro 3

Quadro 3 - Fases de Estudo Para Obras Subterrâneas

FASE	ATIVIDADES
Estudos: Projeto conceitual, Anteprojeto e Projeto básico	Escolha da melhor solução: Estudo das condições geológicas e geotécnicas das opções regionais e das alternativas locais de cada opção regional. Estudo das alternativas de traçado e emboque de cada alternativa locacional e das suas soluções viáveis. Pré-classificação geomecânica do maciço. Cotejo técnico-econômico e eleição da melhor solução. Detalhamento da melhor solução: Localização das escavações, a céu aberto e subterrâneas, bem como das estruturas associadas. Classificação geomecânica do maciço. Detalhamento geológico e geotécnico de zonas críticas das escavações, dos locais de implantação das estruturas associadas. Pré-dimensionamento dos tipos, características e quantidades do reforço estrutural, obras de drenagem e impermeabilização. Pré-dimensionamento das estruturas associadas. Pré-dimensionamento dos planos de fogo ou dos equipamentos de escavação mecanizada. Início do controle das condições naturais existentes antes da obra: níveis d'água, vibrações e deslocamentos. Planejamento e licitação da melhor solução: Seleção dos procedimentos construtivos e planejamento da obra. Elaboração dos desenhos básicos e detalhes essenciais das escavações e estruturas associadas. Estimativa de quantidades e orçamentos. Elaboração das especificações técnicas. Seleção da forma de pagamento. Elaboração dos documentos para licitação.
Projeto executivo e construção	Revisão da etapa de estudo: Controle e revisão das premissas gerais do projeto básico. Controle e revisão das premissas do reforço, drenagem e impermeabilização do meio a escavar ou já escavado. Detalhamento do projeto básico durante a obra: Mapeamentos geológicos e geotécnicos detalhados das frentes de escavações, associados às investigações e ensaios de campo e laboratório. Controle e análise do desempenho das escavações. Detalhamento das soluções de engenharia para o reforço, drenagem e impermeabilização do maciço, bem como das estruturas de reforço especiais. Retificações de eventuais soluções já detalhadas e/ou aplicadas. Detalhamento dos planos de fogo e dos equipamentos mecanizados. Elaboração dos desenhos do detalhamento e das suas revisões, decorrentes de modificações introduzidas durante a construção. Monitoramento da obra em construção: Instalação e operação do sistema de monitoramento do desempenho da obra, em particular das escavações. Acompanhamento geológico da frente de escavação. Análise dos dados do monitoramento, predição do desempenho esperado e adoção de providências conseqüentes.
Operação	Monitoramento e controle da obra em operação: Controle do desempenho da obra concluída em operação. Retroanálise de eventuais soluções para locais com desempenho insatisfatório e adoção de providências conseqüentes, à luz do mapeamento geológico executado na frente de escavação. Atualização sistemática dos desenhos, tabelas e gráficos referentes ao controle e monitoramento durante a operação.

Fonte: Adaptado de Francis e Rocha (1998, p. 439)

O Quadro 4 mostra as fases de estudo propostas por Rodrigues & Lopes (1998) para a implantação de rodovias.

Quadro 4 - Fases de Estudo Aplicadas na Implantação de Rodovias

FASES		ATIVIDADES
Planejamento		Subsídios do meio físico ao planejamento geral da obra; caracterização dos terrenos quanto à fundação, suscetibilidade à erosão e a escorregamentos, NA; EIA / RIMA
Projeto	<i>Viabilidade</i>	Decisão sobre a viabilidade técnico-econômica do empreendimento
	<i>Anteprojeto</i>	Elaboração de carta geotécnica da região (1:25.000 a 1:50.000), apresentando as características dos diferentes terrenos que a obra atravessará; análise da disponibilidade de materiais de construção (volumes, distâncias); indicação da necessidade de implantação de obras e de tratamento das fundações das obras de arte
	<i>Projeto executivo</i>	Subsídios para a definição e dimensionamento das obras necessárias; elaboração de planos de obra; análise escarificabilidade, cortes, aterros; cubagem e caracterização dos materiais. Áreas de empréstimo, definição do tratamento fundação, abertura de túneis e obras de drenagem.
Implantação		Construção da obra, com adaptações e reformulações para situações não detectadas nas fases anteriores.
Operação e Manutenção		Vistorias periódicas para identificação de erosão, escorregamentos, recalques, etc.; instrumentação em locais críticos; obras e serviços de manutenção.

Fonte: Adaptado de Rodrigues e Lopes. (1998, p. 419)

Nogueira Júnior & Marques (1998) sugerem que as atividades associadas à implantação de dutovias sejam estruturadas em cinco grandes fases:

- Escolha do traçado
- Viabilidade técnico-econômica
- Projeto
- Construção
- Conservação

As atividades e métodos de investigação usuais para cada fase são tratadas no item 4.2.1 do trabalho.

4.1.3. Métodos Construtivos

De acordo com Nogueira Junior & Marques (1998), as dutovias podem ser aéreas, subaquáticas, enterradas e subterrâneas, sendo que no contexto da pesquisa foram consideradas

apenas como obras enterradas ou subterrâneas, uma vez que essas situações representam a grande maioria dos casos.

Dois métodos construtivos principais são adotados pelas empresas de Engenharia, Construção e Montagem para a instalação de dutos, os Métodos Destrutivos (MD) nas dutovias enterradas e os Métodos Não Destrutivos (MND) nas dutovias subterrâneas.

Os Métodos Destrutivos consistem na escavação de valas a céu aberto para a colocação da tubulação e posterior reaterro. São aplicados na maior parte do traçado das dutovias, devido a sua maior facilidade de implantação, reduzindo os custos e a ocorrência de possíveis imprevistos geológicos.

Os Métodos Não Destrutivos permitem instalar a tubulação sem a abertura de trincheiras, minimizando os impactos em superfície e, por esse motivo, vêm sendo cada vez mais empregados em pontos críticos do traçado, como centros urbanos, travessias de rodovias, corpos d'água e áreas ambientalmente sensíveis, sendo que a perfuração direcional horizontal (horizontal directional drilling – HDD) é a técnica de MND mais utilizada para a implantação de dutos.

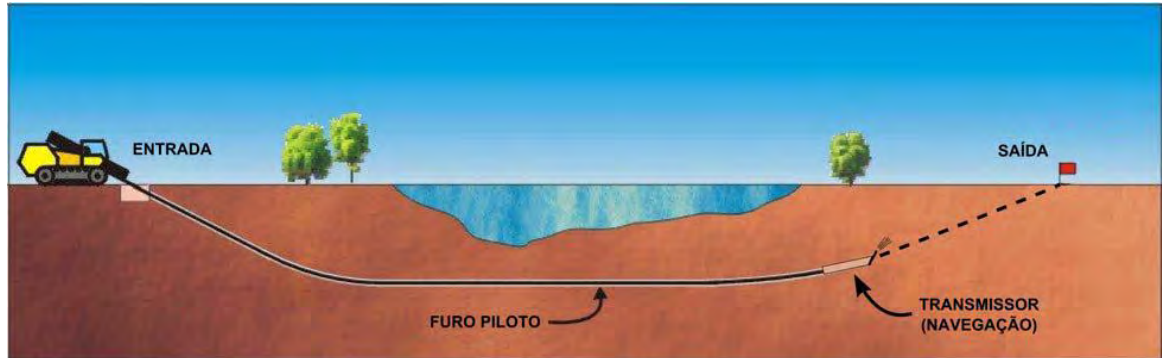
No caso da utilização da vala escavada, FUNEP (2011) recomenda que as seguintes medidas sejam tomadas:

- Elaborar projeto adequado considerando o eixo da vala, sua profundidade e largura, suas curvas e as seções da tubulação a ser implantada;
- Executar a escavação com controle topográfico para garantir a correta geometria da vala;
- Cadastrar e investigar as ocorrências de surgências d'água durante a escavação da vala. Providenciar as obras de drenagem do fundo da vala (colchão de areia, dreno cego, etc);
- Proceder à abertura das valas após a preparação da coluna de tubos para o abaixamento;
- Cercar e sinalizar adequadamente as obras de execução das valas;
- Dispor de maneira adequada os materiais escavados excedentes.

Segundo Rocha et al. (2008), a instalação de uma tubulação por perfuração direcional, compreende basicamente três etapas: furo piloto, alargamento do furo e puxada da tubulação.

Na etapa do furo piloto (Figura 3), é realizada a perfuração inicial, ligando os pontos entre os quais se deseja instalar a tubulação (entrada e saída). Nesta etapa, uma coluna de perfuração composta por uma cabeça de corte, um sistema de navegação e hastes de ligação, realiza o furo utilizando jateamento de fluido de perfuração, junto com a força mecânica fornecida pela perfuratriz.

Figura 3 - Realização de furo piloto em perfuração horizontal direcional.



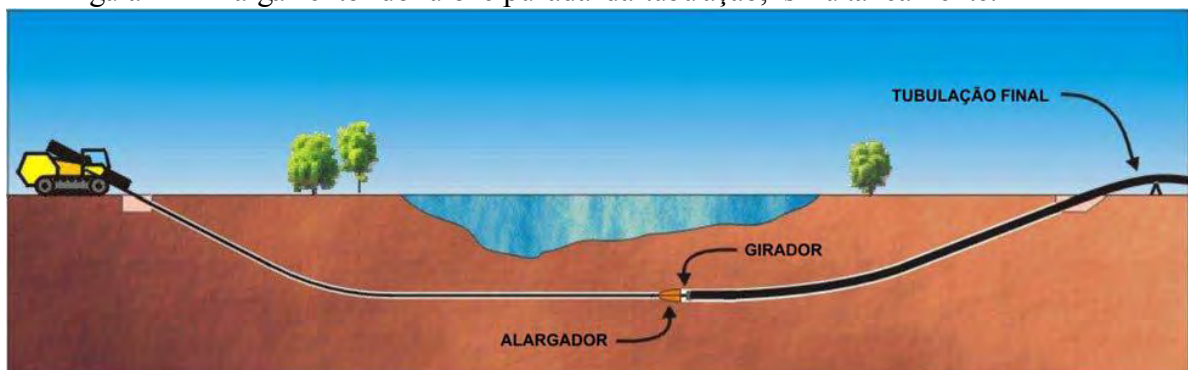
Fonte: NASTT, (2006) apud Rocha, (2008).

A segunda etapa é a de alargamento do furo. Na maior parte dos casos, o furo piloto possui dimensão inferior à necessária para instalar a tubulação, sendo necessário alargá-lo.

A terceira e última etapa é a puxada da tubulação, sendo necessário que o furo possua diâmetro superior ao da tubulação a ser inserida. O valor da relação entre diâmetro do furo e da tubulação é função das condições geológico-geotécnicas, das características geométricas do furo e das dimensões da tubulação a ser instalada.

Em alguns casos, em que a perfuração possua diâmetro e comprimento reduzidos, existe a possibilidade de se realizar as etapas dois e três simultaneamente. (Figura 4)

Figura 4 – Alargamento do furo e puxada da tubulação, simultaneamente.



Fonte: NASTT, (2006) apud Rocha, (2008).

4.1.4. Condicionantes geológico-geotécnicas

Segundo Nogueira Junior & Marques (1998), o conhecimento detalhado dos condicionantes geológico-geotécnicos do maciço solo/rocha possibilita um planejamento adequado das escavações, e perfurações necessárias para a implantação da dutovia, de forma a

dimensionar adequadamente a tubulação e os equipamentos utilizados, garantindo o seu perfeito funcionamento e segurança tanto durante a instalação, quanto na fase de operação.

Gelinas & Mathy (2004), afirmam que, analisar dados geotécnicos é importante para identificar e separar as condições geotécnicas que podem impedir a construção da dutovia daquelas que apenas dificultam a obra.

Deve-se considerar assim, uma série de parâmetros, alguns gerais e outros específicos, de determinadas formações ou condições geológicas e geomorfológicas, visando aplicar os métodos de investigação e soluções de engenharia mais adequadas a cada situação.

Os parâmetros que interessam à perfuração direcional são aqueles que quantificam sua resposta a esforços aplicados, com relação à resistência, deformabilidade e permeabilidade. Existem diversas condições geotécnicas que podem representar problemas significativos e, portanto, devem ser consideradas (ROCHA et al. 2008). Algumas dessas condições e respectivas dificuldades técnicas correspondem a:

- a) Solos muito moles ou fofos: dificuldade de garantir mudanças de direção ou impedir o aprofundamento da cabeça de corte;
- b) Cascalho em qualquer estado de compacidade: problemas substanciais de estabilidade do furo e perda de fluido de perfuração;
- c) Presença expressiva de blocos e matacões: dificuldades com a estabilidade do furo e problemas significativos para garantir o alinhamento;
- d) Camadas de materiais com resistências muito distintas, subparalelas ao furo: ferramenta de corte resvalando ao invés de penetrar e conseqüente dificuldade para garantir o alinhamento;
- e) Zonas muito fraturadas em maciços rochosos: perdas de fluido e instabilização de blocos;
- f) Vazios, especialmente os desenvolvidos por dissolução: sérias perdas de fluido e dificuldades, por vezes intransponíveis, de ultrapassagem;
- g) Rochas muito duras ou abrasivas: desgaste excessivo de ferramentas, afetando o cronograma ou até inviabilizando o projeto;
- h) Artesianismo: problemas de qualidade do fluido de perfuração.

O Quadro 5 traz a relação entre os condicionantes geológicos, suas características relevantes e os principais problemas causados.

Quadro 5 - Condicionantes geológicos que resultam nos principais problemas geotécnicos em uma obra de dutovia

CONDICIONANTES	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES	PROBLEMAS CAUSADOS
Aluviões	- argilas com baixa capacidade de suporte e permeabilidade; - nível d'água raso e/ou aflorante; - constituído por material inconsolidado.	- estabilidade precária nas escavações de valas mais profundas; - adensamento sob carga, resultando em recalque e até ruptura de fundações.
Coluviões	- areias fofas com capacidade de suporte relativamente baixa; - baixa resistência ao cisalhamento.	- liquefação do material sob ondas sísmicas ou vibrações, causando danos a estruturas de concreto e ruptura de tubulações. - sujeitos a rastejo, frequentemente evoluindo para escorregamentos.
Tálus	- composto por blocos de rocha de tamanhos variados, envolvido ou não por matriz areno silto-argilosa, tendo assim baixa compacidade.	- sujeitos a rastejo e eventuais escorregamentos, podem se instabilizar quando escavados.
Solos agressivos	- pH inferior a 6; - resistividade inferior a 20 ohm x m.	- corrosão das tubulações e estruturas de aço ou concreto, provocando vazamento, com perda de produtos, saturação do subsolo e geração de impacto ambiental.
Solos colapsíveis	- solos com alta porosidade e compostos basicamente de areia e silte, não lixiviados e não com ligações entre grãos formadas por argilas e colóides, e que quando submetidos a acréscimos de tensão e/ou umidade, sofrem rearranjo brusco da sua estrutura com conseqüente redução do seu volume.	- rompimento de tubulações, recalques e avarias em estruturas de concreto.
Solos expansíveis	- solos coesivos e compostos por argilas expansíveis, não saturadas, que aumentam de volume quando umedecidas e se contraem quando ressecam.	- instabilizar os taludes durante as escavações, provocando desabamento em túneis e valas, e empuxos indesejáveis sobre estruturas. – no caso de fundações, ocorrem levantamentos que rompem tubulações e trincam estruturas de concreto.
Topo rochoso	- a profundidade do topo rochoso e o tipo de contato da rocha com o solo de cobertura são função de inúmeros fatores geológicos e ambientais.	- pelo grande contraste de permeabilidade entre o solo e a rocha, essa interface, geralmente, constitui um meio preferencial de percolação de água, podendo desencadear processos erosivos, saturação de maciços e instabilidade.
Estruturas geológicas	- fraturas, falhas, xistosidades, estratificações, etc.	- escorregamentos, instabilização de encostas e empuxos sobre as tubulações.
Água	- nível do lençol freático e direções de fluxo.	- escorregamentos, como efeito da introdução de tensões em estruturas geológicas ou redução de parâmetros de resistência do solo; - reagente principal para que se instalem os processos de expansividade, colapsividade e erosão, além de tornar o meio agressivo para estruturas subterrâneas ou enterradas.

Fonte: Modificado de Nogueira Júnior & Marques, (1998) apud Xavier, (2009).

4.2. Propostas de Investigação Geológico-Geotécnica dos Diferentes Autores

Após o levantamento bibliográfico realizado na primeira etapa da pesquisa, foi constatado que existem poucas publicações sobre o tema de estudo. Foram escolhidos quatro trabalhos onde diferentes autores propõem a realização de diferentes etapas de investigação geológico-geotécnica para a implantação de dutovias.

4.2.1. Proposta de Investigação Geológico-Geotécnica de Nogueira Junior & Marques (1998)

Segundo Nogueira Junior e Marques (1998), é imprescindível realizar uma avaliação dos traçados propostos para uma dutovia, dentro do contexto geológico regional, buscando diagnosticar os problemas geotécnicos esperados para cada um deles.

Para realizar essa avaliação, os autores citados propõem que diferentes métodos de investigação sejam aplicados em diferentes fases da obra, desde a escolha do traçado até a construção da dutovia. (Quadro 6)

Quadro 6 - Aplicação dos métodos de investigação geológico-geotécnica nas diversas fases de projeto da dutovia

METODOLOGIA \ FASES	ESCOLHA DO TRAÇADO	VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA	PROJETO	CONSTRUÇÃO	CONSERVAÇÃO
1. Análise dos dados disponíveis					
2. Fotointerpretação geológica					
3. Reconhecimento geológico-geotécnico de campo					
4. Sondagens geofísicas					
• Sísmica de refração					
• Eletroresistividade					
5. Sondagens a trado e poços de inspeção					
• Cortes e aterros					
• Jazidas					
6. Análises químicas					
7. Sondagens a percussão e ensaios <i>in situ</i>					
8. Ensaios geotécnicos de laboratório					
• Caracterização					
• Especiais					
9. Acompanhamento técnico das obras					
10. Monitorização					
Aplicação Usual			Aplicação Eventual		

Fonte: Nogueira Júnior & Marques (1998)

Análise dos dados disponíveis

Usualmente essa etapa de investigação é realizada na fase de estudo de traçado, buscando obter dados cartográficos, levantamentos aerofotogramétricos e imagens de satélite. Sondagens, ensaios de laboratório e projetos de escavações contenções e fundações de outras obras lineares como rodovias e ferrovias já implantadas nas mesmas formações geológicas, também devem ser consultados.

Fotointerpretação

Quando o traçado intercepta trechos com o mesmo comportamento geotécnico, existe a possibilidade de adotar soluções-tipo para as escavações e fundações, por trecho homogêneo. Essa etapa é fundamental para a fase de estudo de traçado e serve como base para as próximas fases do projeto.

Reconhecimento de campo

De acordo com Nogueira Junior e Marques (1998), caso o traçado da dutovia já esteja definido, essa etapa pode ser realizada ao longo de seu eixo.

As informações obtidas na fotointerpretação devem ser verificadas através da inspeção de afloramentos, barrancos, escavações e taludes, onde devem ser medidas as atitudes das estruturas geológicas e caracterizados os maciços de solo e rocha de acordo com o seu grau de fraturamento, grau de alteração e granulometria. Também deverão ser observadas as nascentes d'água, zonas alagadiças e fenômenos locais como trincas, escorregamentos, erosões, assoreamentos, além de eventuais recalques, empuxos de solo e corrosão de estruturas.

Sondagens geofísicas

Devido ao seu baixo custo e facilidade de execução, os autores em questão recomendam a aplicação dessa etapa na fase de viabilidade do projeto.

Normalmente os métodos utilizados são a sísmica de refração e a eletrorresistividade, que podem ser aplicados isolada ou conjuntamente para uma interpretação mais confiável.

A sísmica de refração é mais aplicada nos trechos ou locais onde serão realizadas as escavações, sendo que normalmente executa-se uma seção longitudinal ao longo do eixo do traçado. Através desse método são obtidas informações sobre a profundidade do topo da rocha e escarificabilidade dos materiais a serem escavados, auxiliando também na determinação da profundidade do nível d'água no subsolo.

O método da eletrorresistividade também fornece informações sobre a profundidade do topo da rocha e do nível d'água, mas usualmente é aplicado para determinação de solos

agressivos. Portanto, seu uso é recomendado em trechos de formações geológicas que favoreçam esse condicionante.

As informações obtidas por métodos indiretos são obtidas através de cálculos e inferências, portanto necessitam de aferição por métodos diretos.

Sondagens a trado e poços de inspeção

São utilizados usualmente na fase de viabilidade técnico-econômica da obra, mas devido a sua versatilidade e baixo custo podem ser utilizados como apoio nas fases de escolha do traçado, projeto e construção.

Os critérios para a determinação do espaçamento desses métodos variam com a fase em que estão sendo utilizados e complexidade geológica da região. Os autores recomendam a adoção de critérios geológicos que garantam a representatividade das diferentes formações geológicas atravessadas, de acordo com as suas informações básicas.

Análises Químicas

As análises químicas, associadas com medidas de resistividade, podem ser usadas em qualquer fase de estudo para diagnosticar agressividade do subsolo.

Devem ser coletadas amostras das sondagens a trado e poços de inspeção em diferentes situações geológicas, topográficas e em diferentes profundidades no nível d'água. Em alguns casos poderá ser necessário determinar o potencial de oxi-redução (Eh), gases dissolvidos e substâncias químicas específicas, para a verificação de agressividade ligada a algum tipo de poluição ambiental.

Sondagens a percussão

Juntamente com ensaios SPT e de permeabilidade, as sondagens a percussão são utilizadas na avaliação precisa da capacidade de suporte do maciço, com objetivo de definir as características das escavações e perfurações necessárias. Podem ser utilizadas também, em nível

de reconhecimento, para investigar espessuras de solos moles abaixo do lençol freático, ou em outras situações em que as sondagens a trado e poços de inspeção não se aplicam.

Devido ao custo elevado, esse método e os respectivos ensaios devem ser utilizados com critério geológico de locação, apenas para fornecer os parâmetros geotécnicos dos diferentes materiais definidos nas etapas subsequentes.

Ensaaios geotécnicos

Ensaaios de laboratório sobre amostras deformadas e indeformadas de solo, coletadas na etapa de sondagens a trado e poços de inspeção, podem ser realizados para definir com maior exatidão as propriedades dos materiais.

Com amostras deformadas de solo são realizados os ensaios de caracterização e compactação, onde são obtidos parâmetros como granulometria, plasticidade, umidade natural e a densidade máxima que poderá ser obtida quando da sua compactação em aterros.

As amostras indeformadas permitem definir a densidade natural do solo e parâmetros de resistência e permeabilidade, realizando ensaios de compressão, adensamento e colapsividade. No caso de argilas expansivas, as pressões de expansão podem ser medidas por ensaios específicos.

Ensaaios geotécnicos de campo também podem ser utilizados para determinar a umidade natural e controle de compactação de aterros em construção, para o caso de fundações em grelha, utilizando-se o método de Hilf.

Acompanhamento técnico das obras

Buscando a garantia da qualidade das obras, deve-se realizar um acompanhamento técnico das obras, elaborando-se boletins, plantas, croquis, seções, fichas e tabelas referentes aos trechos escavados, contendo as investigações realizadas e soluções empregadas.

As escavações devem ser inspecionadas e eventualmente mapeadas por um geólogo de engenharia, que buscará registrar as litologias, o nível d'água, e os parâmetros geomecânicos do maciço escavado, como grau de alteração, faturamento, coerência, entre outros, liberando a vala para o seu reaterro e obras de contenção quando necessário.

Monitorização

Buscando a prevenção e reparação de possíveis problemas geotécnicos, uma monitorização através da inspeção sistemática de todo o traçado deve ser realizada.

Podem ser detectados problemas como rompimento de tubulações, carreamentos de solo de aterros por infiltração, vazamentos, afundamentos e outras evidências de defeitos construtivos ou de manutenção, que podem afetar as fundações, direta ou indiretamente.

Erosões, recalques, rupturas e instabilidades também devem ser detectadas observando ravinas, assoreamentos, subsidências, trincas e indícios de movimentação.

São utilizados inclinômetros e marcos para controle topográfico em áreas potencialmente instáveis, medidores de recalques e de nível d'água e piezômetros onde o comportamento do nível freático deve ser conhecido.

4.2.2. Proposta de Investigação Geológico-Geotécnica de Rocha et al (2008)

Segundo Rocha et al (2008), uma campanha de investigação para implantação de dutos através de furo direcional deve fornecer as informações necessárias à execução do projeto, incluindo a definição de parâmetros de comportamento dos maciços a serem atravessados, com o objetivo de elaborar um modelo geológico-geotécnico consistente da área. Também é recomendada uma investigação em fases, a ser desenvolvida de forma coordenada às etapas do projeto. Tais fases de investigação correspondem à seguinte sequência: levantamento preliminar de informações disponíveis; avaliação de campo e ensaios de campo e laboratório.

Levantamento Preliminar de Informações Disponíveis

Nessa fase são coletadas as informações geológicas e geotécnicas disponíveis para a área, em especial aquelas relativas a obras que tenham ocorrido na região. Mapas geológicos, geomorfológicos e topográficos, além de eventuais cartas geotécnicas ou mapas temáticos específicos, devem ser consultados. A interpretação de fotografias aéreas, imagens de satélite e radar, pode fornecer informações importantes para a identificação de possíveis trajetórias de perfuração.

Em travessias de áreas urbanas, o levantamento de informações sobre estruturas enterradas representa um importante objetivo dessa fase de investigação.

Essa primeira fase de investigação deve fornecer um modelo geológico preliminar da área, buscando compreender a sua evolução geológica. Os tipos de materiais existentes e sua distribuição, principalmente os materiais superficiais, onde a maioria das obras costuma ser implantada, resultam diretamente de processos geológicos sendo que o conhecimento desses permite estimar os locais e tipos de materiais existentes no local da obra.

Usualmente, a primeira fase da campanha de investigação é desenvolvida no âmbito do estudo de viabilidade da obra de perfuração direcional.

Avaliação de Campo

Segundo Rocha et al (2008), a segunda fase de investigação ainda remete ao estudo de viabilidade, mas já fornece subsídios para o desenvolvimento do projeto da obra.

A partir das informações obtidas no levantamento preliminar, os autores propõem um reconhecimento da geologia superficial, identificando e delimitando os principais materiais existentes no local, assim como superfícies de ruptura de escorregamentos, depósitos de tálus e demais feições indicativas de processos que possam apresentar complicações durante a implantação ou afetar a tubulação depois de instalada.

Caso ocorram afloramentos rochosos, os autores citados recomendam que sejam identificados e caracterizados quanto aos litotipos e estruturas existentes. As famílias de discontinuidades devem ser descritas em relação a: orientação espacial, espaçamento, persistência, rugosidade, forma, alteração das paredes, abertura, preenchimento e percolação de água.

A avaliação de campo também deve orientar a próxima fase de investigação, identificando os locais adequados para a execução de ensaios de campo e coleta de amostras para ensaios em laboratório.

Ensaaios de Campo e de Laboratório

A terceira e última etapa proposta tem como objetivo quantificar e qualificar os parâmetros do maciço a ser atravessado pela obra. Com base nos dados pesquisados preliminarmente e na avaliação de campo, são empregados ensaios geofísicos e ensaios geotécnicos tradicionais de campo e laboratório.

Estes autores recomendam que essa fase seja iniciada utilizando diferentes métodos geofísicos, de forma a complementar as informações obtidas por cada método individualmente, buscando refinar o modelo geológico-geotécnico otimizando as investigações pontuais por métodos diretos.

Nessa fase, é importante realizar o levantamento da topografia superficial ao longo do eixo da perfuração para definir a espessura da camada de cobertura em cada ponto.

Métodos Indiretos

Os métodos mais utilizados em obras de perfuração direcional e que tem fornecido melhores resultados para as condições geológicas tropicais são a sísmica, a eletro-resistividade e a magnetometria. O radar de penetração no solo (GPR – Ground Penetrating Radar) também pode fornecer bons resultados em determinadas condições geológicas.

A eletro-resistividade é recomendada para delimitar camadas de areia e cascalho em meio a materiais silto-argilosos, identificar o nível freático, localizar vazios no subsolo e caracterizar falhas e fraturas que conduzem água em maciços rochosos. Por caracterizar as propriedades elétricas dos materiais, o método também pode ser utilizado para determinar parâmetros para o projeto do sistema de proteção catódica da tubulação, caso este seja necessário.

Para investigação em áreas emersas, recomenda-se a sísmica de refração para delinear a superfície do topo rochoso e avaliar a escarificabilidade dos maciços. Este método fornece também as velocidades de propagação das ondas sísmicas, permitindo estimar o módulo de deformabilidade e a resistência ao cisalhamento dos solos.

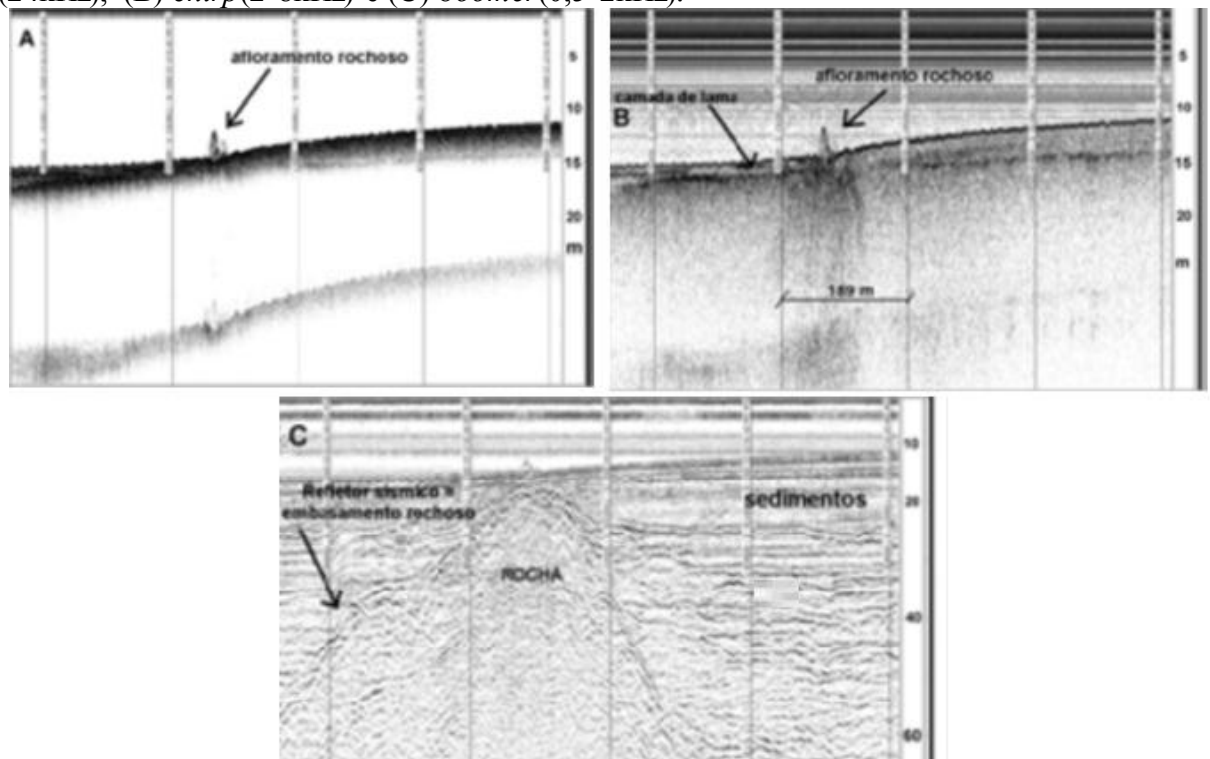
Em áreas submersas, o método que tem fornecido melhores resultados é a perfilagem sísmica, sendo que os resultados obtidos são relativos a fonte acústica utilizada. Na Figura 5 pode-se observar nitidamente o desempenho diferenciado das fontes, com relação à penetração do

sinal nos estratos sedimentares subjacentes. No perfil A e no perfil B se evidencia na superfície de fundo uma anomalia topográfica que somente no perfil C, pode ser correlacionada com a existência de um corpo rochoso em subsuperfície, permitindo inclusive seu dimensionamento.

Geralmente, as fontes acústicas com frequências superiores a 2kHz oferecem melhor resolução, mas com prejuízo da penetração e, ao contrário, as fontes com frequências inferiores a 2kHz favorecem a penetração (SOUZA, 2006, apud ROCHA et al., 2008). Dessa forma, a fim de identificar a espessura da coluna sedimentar rasa e delinear a superfície do topo rochoso, se faz necessário o emprego de sistemas de aquisição de dados com capacidade de administrar, simultaneamente, várias fontes sísmicas como *pinger* 24kHz, *chirp* 2-8kHz e *boomer* 0,5-2kHz.

A magnetometria é utilizada basicamente para identificar rochas magnéticas que possam interferir no sistema de navegação durante a perfuração.

Figura 5 - Perfil sísmico executado com emprego simultâneo de três fontes acústicas: (A) *pinger*(24kHz); (B) *chirp*(2-8kHz) e (C) *boomer*(0,5-2kHz).



Fonte: Souza (2006) apud Rocha et al (2008, p. 7).

Métodos Diretos

Buscando refinar o modelo geológico, uma campanha de sondagens e demais ensaios de campo deve ser basear nas etapas anteriores, correlacionando os dados obtidos pela geofísica para definir os parâmetros geotécnicos do maciço.

As características geotécnicas de interesse a perfurações direcionais são fundamentalmente as que refletem a natureza (granulometria dos solos grossos e plasticidade dos finos), o estado (compacidade dos solos não coesivos, consistência dos solos coesivos, estado de tensões, índice de vazios, etc) e parâmetros de resistência que definem o comportamento dos solos (módulos de deformação e cisalhamento).

Para determinação dessas características podem ser utilizados diversos ensaios de campo como: SPT, ensaio de penetração de cone (CPT ou CPTU), ensaio de Palheta (*Vane Test*), ensaio pressiométrico (PMT) e ensaio de dilatação plana (DMT), entre outros.

O ensaio SPT, apesar do seu baixo custo e popularidade, possui restrições quanto ao registro da verticalidade da sondagem e quanto à aplicabilidade para profundidades superiores a cerca de 30m. Como alternativa, Rocha et al (2008) sugerem a utilização do CPTU que, apesar de também possuir limitações, apresenta vantagens como maior produtividade e medida de verticalidade, além de fornecer resultados de melhor qualidade técnica.

Em maciços rochosos, os aspectos de interesse são: estruturas, litologia, coerência, alteração, fraturamento, RQD (ou IQR), condutividade hidráulica, dureza e abrasividade. As discontinuidades possuem influência significativa na estabilidade do furo e, portanto, devem ser descritas quanto às suas características segundo as recomendações da ISRM (1978), da mesma forma que no levantamento de campo.

Para a determinação da dureza da matriz rochosa, o parâmetro usualmente adotado é a resistência à compressão simples, enquanto que para a abrasividade não há um ensaio habitual, sendo que o meio técnico tem realizado ensaios CERCHAR, abrasão Los Angeles e até a simples determinação da dureza Mohs. No caso de maciços muito fraturados, onde há suspeita da possibilidade de perda de fluido de perfuração, ensaios de perda d'água sob pressão são recomendados.

Para a investigação de maciços rochosos, o método usual é a execução de sondagens rotativas com recuperação de testemunhos visando a caracterização do material e amostragem

para ensaios de laboratório, como os de dureza e abrasividade. Entretanto, somente permite a caracterização das atitudes das discontinuidades caso sejam obtidos testemunhos orientados. Em virtude das dificuldades técnicas para obtê-los em sondagens que apresentam baixa recuperação, Rocha et al. sugerem o imageamento dos furos de sondagem como técnica complementar.

4.2.3. Proposta de Investigação Geológico-Geotécnica de Gelinas & Mathy (2004)

De acordo com Gelinas & Mathy (2004), as investigações geotécnicas para projetos de furo direcional devem descrever com precisão as condições do subsolo ao longo do trecho onde será realizada a perfuração, fornecendo aos engenheiros e empreiteiros os dados geotécnicos que eles precisam para realizar o projeto e tomar decisões de construção mais eficazes.

Segundo os mesmos autores, onde as restrições de tempo e orçamento permitirem, as investigações geotécnicas para projetos de furo direcional devem ser feitas em quatro fases, conforme mostra o Quadro 7:

Quadro 7 – Fases de Investigação de um projeto de Perfuração Direcional Dirigida-HDD.

Fases de investigação	Tarefas Típicas
Fase I - Pesquisa e Reconhecimento	•Recolher e organizar informações publicadas ao longo do traçado da dutovia, relativas à geologia, solos, águas subterrâneas, geomorfologia, problemas estruturais, possíveis contaminações, etc. •Estabelecer modelos geológicos (e.g., ambiente deposicional, material de aluvião fonte, etc). •Verificar a disponibilidade de publicações sobre informações geológicas (mapas, furos de sondagem, ensaios, etc.) no trecho da dutovia e nas áreas adjacentes.
Fase II - Investigação de campo e ensaios de laboratório	•Realizar furos de sondagem, poços de inspeção, ensaios de penetração de cone, investigações geofísicas, poços de monitoramento de águas subterrâneas, etc ao longo do traçado da dutovia. •Realizar ensaios laboratoriais em amostras selecionadas. •Definir os parâmetros geotécnicos preliminares dos materiais atravessados pela dutovia. •Identificar a necessidade de novas investigações em locais onde os parâmetros não tenham sido definidos.
Fase III - Investigação de campo suplementar e Relatório Geotécnico	•Realizar investigações de campo suplementares e novos ensaios laboratoriais, quando for necessário. •Definir os parâmetros geotécnicos finais dos materiais atravessados pela dutovia. •Preparar relatório geotécnico com conclusões específicas e recomendações sobre a perfuração direcional. •Coordenar o relatório geotécnico com os planos finais e especificações necessárias.
Fase IV - Construção	•Responder às solicitações de informações e revisão quando forem exigidas pelo contratante. •Realizar as inspeções de campo e observações do progresso da perfuração para a consistência dos solos escavados relatando novas descobertas geotécnicas.

Fonte: Traduzido de Gelinas & Mathy (2004).

Durante a Fase I, a definição do modelo geológico da área do projeto é essencial, junto com a identificação de obstáculos naturais e antrópicos, bem como a viabilidade global da perfuração direcional. Na Fase II, as condições gerais do subsolo ao longo de trechos específicos são definidas, permitindo a classificação preliminar das melhores alternativas de perfuração. Na Fase III, as camadas do subsolo são caracterizadas, permitindo a seleção de uma alternativa final de perfuração com as características e parâmetros específicos de construção definidos no relatório geotécnico. Na Fase IV, a informação adquirida durante a construção é fundamental para ajustar e melhorar o processo de concepção e construção dos projetos atuais e futuros.

Em circunstâncias ideais, cada fase é concluída de forma independente e pela mesma empresa de geotecnia, permitindo a continuidade da informação e análise. Para projetos de orçamento limitado e com pequenos prazos de tempo, as três primeiras fases podem ser combinadas em uma única etapa.

4.2.4. Proposta de Investigação Geológico-Geotécnica de Heinz (2008)

Segundo Heinz (2008), “o sucesso em projetos de travessias de rios por intermédio de perfuração direcional (HDD) está intimamente relacionado com as condições de sub-superfície encontradas durante a construção”.

Portanto, as investigações geotécnicas devem buscar definir um modelo geológico da área da obra, com amplo conhecimento dos processos envolvidos na formação dos corpos d’água onde pretende-se instalar a travessia e as potenciais condições geológicas inesperadas.

O mesmo autor sugere que as investigações geotécnicas para implantação de tubulações utilizando a técnica de perfuração direcional dirigida em travessias de corpos d’água sejam efetuadas em estágios sucessivos, especificamente, estudos em escritório, reconhecimento local e investigações de campo.

Estudo de Escritório

Os estudos de escritório envolvem a coleta e avaliação de informações existentes como mapas, relatórios, descrição de furos de sondagem, ensaios de campo e laboratório assim como interpretação estereoscópica de fotos aéreas.

O resultado desejado com a etapa de estudo de escritório é obter um modelo geológico preliminar, com uma ampla figura das condições do solo, que devem ser confirmadas por uma ou mais investigações específicas em campo.

Reconhecimento do local

O reconhecimento do local será mais eficaz se for realizado com base nas observações realizadas no estudo de escritório, principalmente através da interpretação das imagens aéreas.

As principais áreas de incerteza do modelo geológico obtido com base nos estudos de escritório devem ser verificadas no reconhecimento do local, buscando uma melhor avaliação das condições e dos riscos geológicos.

Existem situações onde os resultados dos estudos de escritório e reconhecimento do local são suficientes para determinar os parâmetros do maciço, mas normalmente o modelo é verificado por um programa de investigação de campo.

Investigação de Campo

Um programa de investigação de campo visa suplementar os resultados obtidos nas etapas anteriores, buscando detalhar ao máximo as condições e subsuperfície da travessia onde será realizada a perfuração direcional.

A investigação de campo inicia-se com um programa de perfuração e amostragem, onde devem ser definidos alguns fatores como a quantidade e a profundidade dos furos, o tipo e o método de sondagem, o intervalo de amostragem e os tipos de amostras. De acordo com as condições do local e o comprimento da travessia, um profissional de geotécnica poderá decidir suplementar os dados de sondagem com um levantamento geofísico superficial.

O autor indica perfurar pelo menos quatro furos de sondagem, geralmente perto dos pontos de entrada e saída da Perfuração direcional, e um em cada margem, o mais perto possível do corpo d'água. Heinz (2008) recomenda que os furos alcancem profundidades abaixo do caminho esperado para a perfuração.

4.2.5. Análise Comparativa das Propostas de Investigação Geológico-geotécnicas.

As diferentes propostas sugerem que as investigações sejam realizadas em fases, sendo que à medida que se avança na execução das etapas de implantação da obra, utilizam-se métodos de investigação e de caracterização mais sofisticados, que demandam prazos e custos crescentes para a sua realização, mas que proporcionam um maior entendimento das características do meio físico no qual a obra será construída.

Nogueira Júnior & Marques (1998) sugerem que para uma maior eficácia das investigações geológico-geotécnicas associadas à implantação de dutovias, diferentes métodos de investigação sejam aplicados sequencialmente em cinco grandes fases da obra, desde a escolha do traçado, viabilidade técnico-econômica e projeto até a construção e conservação.

Rocha et al (2008) recomendam que, para implantação de dutovias utilizando perfuração direcional dirigida, as investigações sejam realizadas em três fases de estudo, a serem desenvolvidas de forma coordenada com as etapas do projeto. Tais fases de investigação correspondem à seguinte sequência: levantamento preliminar de informações disponíveis; avaliação de campo e ensaios de campo e laboratório.

Para Gelinas & Mathy (2004), quando as restrições de tempo e orçamento permitirem, as investigações geotécnicas para projetos de perfuração direcional para dutovias devem ser feitas em quatro fases sequenciais, denominadas, Pesquisa e Reconhecimento, Investigação de campo e ensaios de laboratório, Investigação de campo suplementar e relatório geotécnico e Construção.

Heinz (2008) sugere que as investigações geotécnicas para implantação de tubulações utilizando a técnica de perfuração direcional dirigida em travessias de corpos d'água sejam efetuadas em três estágios sucessivos, especificamente, Estudos em escritório, Reconhecimento local e Investigações de campo.

Foi observado que, o número de fases de estudo sugeridas varia nas diferentes propostas. Somente Nogueira Junior & Marques (1998) recomendam uma fase de conservação, onde deve ser feito uma monitorização através da inspeção sistemática de todo o traçado, buscando a prevenção e reparação de possíveis problemas geotécnicos. Os mesmos autores e Gelinas & Mathy (2004) também propõem uma fase de Construção, onde deve ser realizado um acompanhamento técnico das obras, buscando garantir qualidade das obras, assim como, adquirir

novas informações para ajustar e melhorar o processo de concepção e construção dos projetos atuais e futuros.

Nota-se também, que apenas Nogueira Junior & Marques (1998) tratam das investigações geológico-geotécnicas de forma geral para os dois métodos construtivos, enquanto os outros autores abordam os estudos especificamente para utilização de perfuração direcional dirigida, sendo que a proposta de Heinz (2008) é ainda mais específica para travessias de corpos d'água.

Com base nas propostas, pode-se constatar que todos os autores recomendam que as investigações se iniciem com estudos em âmbito regional, buscando uma abordagem mais geral da área. Nessa fase de estudo as atividades realizadas são levantamentos bibliográficos e de informações disponíveis como mapas e possíveis dados de outros empreendimentos na área, assim como a interpretação de fotos aéreas e imagens de satélite.

Nogueira Junior & Marques (1998) e Gelinas & Mathy (2004) sugerem um campo de reconhecimento já na primeira fase de investigação, juntamente com os estudos preliminares, enquanto Rocha et al (2008) e Heinz (2008) recomendam levantamentos de superfície somente a partir da segunda fase de estudo, sendo para esses autores a fase inicial exclusivamente de escritório.

A segunda fase de investigação proposta por Gelinas & Mathy (2004), tem como objetivo definiros parâmetros geotécnicos preliminares dos materiais atravessados pela dutovia e identificara necessidade de novas investigações em locais onde os parâmetros não tenham sido definidos, através de furos de sondagem, poços de inspeção, ensaios laboratoriais em amostras selecionadas e outros.

Para Rocha et al (2008), a segunda fase de investigação ainda remete ao estudo de viabilidade, mas já fornece subsídios para o desenvolvimento do projeto da obra. Nessa fase o autor propõe um reconhecimento da geologia superficial, identificando e delimitando os principais materiais existentes no local, assim como feições indicativas de processos que possam apresentar complicações para a obra.

As fases finais das propostas são voltadas a comprovação e refinamento dos modelos geologicos e parâmetros preliminares do maciço, definidos nas etapas anteriores. Para isso são utilizados ensaios e métodos de investigação mais sofisticados.

5. CONCLUSÕES

Graças às novas descobertas de reservatórios de petróleo e gás natural, assim como a crescente produção de biocombustíveis, a malha dutoviária brasileira vem sofrendo um grande crescimento.

Como toda obra linear, as dutovias atravessam uma grande diversidade de materiais, que em decorrência de suas características intrínsecas, apresentarão comportamento geotécnico diferenciado frente às solicitações impostas pela implantação da obra.

Dessa maneira, as investigações geológico-geotécnicas, com as respectivas análises e interpretações, se constituem em um dos fundamentos básicos para a tomada de decisões, dentro do enfoque das obras de dutovias, desde a definição do traçado até as soluções finais estabelecidas no projeto.

Através da identificação dos parâmetros que cada investigação utiliza para a caracterização geológico-geotécnica, pôde-se comprovar que o objetivo dos estudos geológico-geotécnicos consiste na busca do entendimento do processo geológico, prevendo o comportamento geotécnico dos materiais, para assim indicar medidas preventivas ou corretivas adequadas e eficientes.

Por meio do desenvolvimento do método de trabalho, onde foram descritas e analisadas quatro propostas de investigação geológico-geotécnicas de diferentes autores, pôde-se visualizar que todos recomendam estudos em fases sequenciais, partindo de uma escala mais geral para uma mais específica, buscando um entendimento progressivo do modelo geológico da área onde se pretende implantar a dutovia.

Com isso, atestou-se que tais investigações são necessárias em todas as fases da obra, desde a concepção inicial, em que são fundamentais para definição do melhor traçado, até a fase de monitoramento e manutenção da dutovia.

Constatou-se também, através da etapa de levantamento bibliográfico, que existem poucas publicações disponíveis sobre o tema da pesquisa.

Analisando as propostas pôde-se constatar que a mais completa é a recomendada por Nogueira Junior & Marques (1998), dado que as fases de estudo propostas por esses autores contemplam todas as fases de projeto, desde a escolha do traçado até a conservação da dutovia,

porém, no caso da necessidade de realizar perfurações direcionais dirigidas, a proposta de Rocha et al (2008) fornece um maior conteúdo de informações específicas para esse caso.

Conclui-se assim, que uma proposta ideal, deveria contemplar as fases de estudo propostas por Nogueira Junior & Marques (1998) e as recomendações de Rocha et al (2008) para cada etapa e método utilizado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. **Estabilidade de taludes**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (ed). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE. 1998. Cap. 15, p.244-269.

CERRI, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta metodológica para prevenção de acidentes**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

FRANCISS, F. O; ROCHA, H. C. **Obras Subterrâneas Cíveis**. In: OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. D. (ed). *Geologia de Engenharia*. São Paulo. ABGE. 1998. Cap. 27. p. 439.

FUNEP - FUNDAÇÃO DE APOIO E PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO. **Manual de Geologia de Engenharia Aplicada a Implantação de Gasodutos**. Jaboticabal, SP, [2011?].

GASPARINI, A. **Transporte Dutoviário e Meio Ambiente. O Controle da Rede de Dutovias Terrestres da Petrobrás Operadas pela Transpetro**. Trabalho da Disciplina Impactos Ambientais dos Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2006. 28p

GELINAS, M. M; MATHY D. C. **Designing and Interpreting Geotechnical Investigations for Horizontal Directional Drilling**. c2004.

HEINZ, H. K. **Investigação Geotécnica para Travessia de Rios HDD em Alberta, Canadá**. 2008.

IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. *Statutes*. Newsletter, nº 19, Paris, dezembro de 1992.

MARQUES FILHO, P, L; GERALDO, A. **Barragens e Reservatórios**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.D. (Ed.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 24. p. 397.

NASTT - NORTH AMERICAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY. **Horizontal Directional Drilling - Best Practices - Achieving Quality Products**. 2006. Disponível em <<http://www.nastt.org>>. Acesso em: 12 ago 2011.

NOGUEIRA JR., J.; MARQUES, A.S. **Linhas de Transmissão e Dutovias**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.D. (ed). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE. 1998 Cap. 30, p.475-485.

ROCHA, R. et al. **Investigação geológico-geotécnica para instalação de dutos por perfuração direcional horizontal (HDD)**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2008.

RODRIGUES, R; LOPES, J. A. U. **Rodovias**. In: Oliveira e Brito (Ed.) *Geologia de Engenharia. São Paulo. ABGE. 1998. Cap. 25. p. 419*.

RUDIO, F. V. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica**. Editora Vozes, 32ª ed. 1989, 144p.

SANTANA, A. **Planos e Programas de Transporte Dutoviário**, Artigo, Biblioteca Flumitrens, RJ, 1974.

SANTOS, A.R. dos. **Fundamentos filosóficos e metodológicos da Geologia de Engenharia**. São Paulo: IPT. 1994. 5p.

SOUZA, L.A.P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 2006. 311p.

XAVIER, T. C. **Diretrizes para execução dos estudos geológico-geotécnicos e ambientais voltados à implantação de dutovias**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2009.