

1

Introdução

1.1. Generalidades

O uso de métodos geofísicos nas engenharias civil, de minas e ambiental cresceu significativamente nas últimas décadas, e continua se expandindo na medida em que há uma queda em seus custos, decorrente do maior domínio da metodologia por parte de especialistas, bem como do barateamento do equipamento necessário. O maior conhecimento das técnicas existentes por parte dos engenheiros, que geralmente são os responsáveis por especificar as técnicas de investigação em um empreendimento, também colabora para tornar os métodos geofísicos ferramentas cada vez mais comuns para a geotecnia.

Desde 1975, a International Society of Rock Mechanics – ISRM vem publicando periodicamente documentação técnica para orientação quanto ao uso destes métodos. As mais recentes dentre estas publicações datam desta década e apresentam os métodos sugeridos pela instituição para aquisições de superfície [1] e em escavações ou poços [2].

1.2. Obras lineares e transporte

São denominadas obras lineares aquelas que têm uma de suas três dimensões com extensão muito maior do que as outras duas. Este tipo de obra, que está mais comumente relacionado à infra-estrutura de transportes, costuma ser um empreendimento de porte considerável e, no Brasil, geralmente envolve investimento governamental.

Dentre os tipos mais comuns de obras cuja característica é linear, pode-se citar:

Rodovias: O meio de transporte mais largamente adotado no Brasil, por determinação estratégica em meados do século XX. São projetadas tendo-se em mente o tipo de tráfego que se espera para aquele trecho, pois este é o principal

determinante tanto do nível de esforço sobre a pavimentação quanto de geometria (ângulo para curvas, rampas, largura de pista) e obras especiais. Além deste, outros condicionantes são o relevo, a natureza dos terrenos atravessados (sua interação com a obra e necessidade de soluções especiais) e a existência de materiais naturais de construção (de grande importância para logística e custos).

Ferrovias: As chamadas estradas de ferro são ditas mais adequadas ao transporte terrestre de grandes volumes de produtos sólidos. Em termos de projeto, não diferem muito de rodovias, exceto pelo fato de que são as obras lineares com maior limitação. Essa limitação não se refere apenas à geometria da via, mas também a recalque admissível, possibilidade de alagamentos e outras características do terreno atravessado, uma vez que a interação entre a composição, sua infra-estrutura e o maciço onde ela está instalada é maior. É comum a necessidade de grandes movimentações de terra, túneis e grandes pontes para vencer obstáculos devido a estas limitações.

Dutovia: Dutos podem ser aéreos, submarinos ou enterrados. No Brasil, assim como em grande parte do mundo, os dutos enterrados são os mais comuns porque, ao enterrá-los, diminuem-se os riscos de acidentes, uma vez que eles ficam menos acessíveis à população em geral. O enterramento tem também a vantagem de reduzir a poluição visual e a interferência no uso da terra ou, no caso de dutos marítimos, menor influência de ondas e marés. Por outro lado, este método requer um nível de conhecimento do subsolo acima da média da construção civil, pois obras como estas envolvem escavação em solo e, muitas vezes, também em rocha. As limitações em termos de curvas e rampas, geralmente menos restritivas que para rodovias, dependem diretamente do diâmetro do duto e de sua pressão de funcionamento, mas também estão relacionados com as dificuldades da etapa construtiva.

Canais: São condutos, naturais ou artificiais, destinados a escoar águas com uma superfície livre [3]. Podem ser construídos a partir de cursos d'água existentes ou mesmo ser escavados em terra, de acordo com a necessidade. Constituem intervenções significativas e sua interação com o meio físico e biótico é bastante complexa; podem, portanto, causar profundas modificações no meio ambiente. Os canais podem ser divididos em três grupos, de acordo com a finalidade do uso da água conduzida por ele: canais de navegação, de retificação (cuja principal finalidade é o controle de cheias e processos erosivos-

deposicionais, em especial em áreas urbanas) ou de irrigação (para adução de água). Dependem desta finalidade diversos critérios de projeto, como geometria do canal, parâmetros de manutenção e admissão ou não de perdas d'água ao longo do canal, que influencia necessidade ou não de revestimento.

Linhas de Transmissão: Geralmente não são tratadas como meio de transporte, já que sua característica exclusiva impede sua conjugação com outros modais. No entanto, são obras lineares com características bastante interessantes, já que as investigações de solo tendem a ser em sua maioria pontuais (na localização esperada para os postes ou torres). Por outro lado, as cargas envolvidas (dinâmicas, no caso de torres, tanto pelo efeito do vento como em caso de falha do cabo) requerem conhecimento significativo das propriedades destes pontos. Os limitantes de curvas e rampas neste tipo de obra estão mais relacionados com o acesso para a manutenção do que com requisitos de funcionamento da linha em si.

Ao mesmo tempo condicionante e condicionado pela economia, um sistema de transporte deve ser analisado levando-se em conta 4 variáveis: disponibilidade, acessibilidade, economicidade e qualidade [4]. A opção por um meio de transporte em detrimento a outros, quando disponíveis, deve ser feito analisando-se estas 4 componentes (Tabela 1), e é indicado que também os projetos levem estes parâmetros em conta.

Tabela 1: Modais de transporte em relação às principais variáveis logísticas [4]

	Ferrovia	Rodovia	Hidrovia	Aerovia	Dutovia
Disponibilidade	Linear	Linear	Superficial	Superficial	Linear
Acessibilidade	Pontual	Linear	Pontual	Pontual	Linear
Economicidade	Boa	Regular	Ótima	Baixa	Boa
Qualidade	Regular	Boa	Baixa	Ótima	Ótima

1.3.

Projeto de obras lineares

Dutos, ferrovias, rodovias e linhas de transmissão têm como característica comum a linearidade, ou seja, têm uma dimensão significativamente maior do que as outras duas. Em termos práticos, isso quer dizer que se trata de obra de grande extensão, com especificidades tanto na fase de projeto quando na execução. Ela impõe, por exemplo, a necessidade de logística eficiente por conta das distâncias envolvidas; por outro lado, dependendo das condições, permite trabalhar em um maior número de frentes independentes, o que pode minimizar prazos.

Quando se fala em projeto, a fase primordial para uma obra linear é a definição do traçado, ou seja, o caminho pelo qual ela passará (Figura 1). O traçado de uma via é determinado inicialmente pelas necessidades econômicas, pois o transporte é um serviço indispensável uma vez que significa o alcance do mercado consumidor pela produção. Os pontos inicial e final, bem como diversos pontos intermediários que precisam ser atendidos por ela, são determinados por motivos econômicos ou estratégicos. Dados como capacidade, durabilidade e, freqüentemente, prazo para realização da obra também são definidos nesta fase por parâmetros equivalentes.

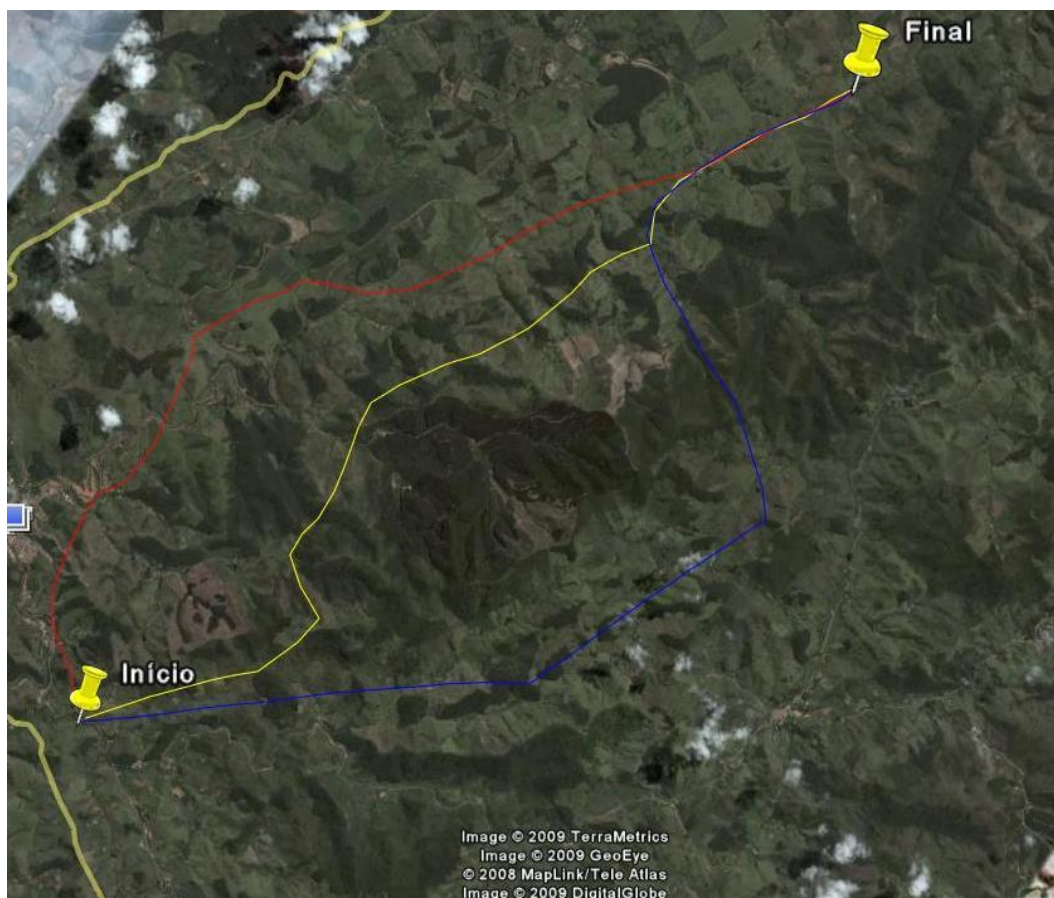


Figura 1: Diversas opções de traçado são estudadas antes da definição final (fonte: Google Earth)

Em seguida, o traçado pode sofrer modificações de acordo com dificuldades técnicas que possam ser encontradas pelo caminho, como cadeias montanhosas, grandes áreas alagadas etc., contanto que as condições anteriores se mantenham atendidas. A intenção destas modificações deve ser sempre a de baixar custos de implantação e/ou de operação da via, melhorando seu desempenho econômico. Dentre os parâmetros que podem influenciar o traçado estão as características geotécnicas das áreas a serem atravessadas. De acordo com dificuldades

construtivas e/ou custos de manutenção envolvidos, é possível modificar um traçado para otimizar o projeto.

Quando esta mudança não é possível, ainda assim a obtenção de informação sobre a geotecnia do traçado é importante, pois podem estar envolvidos nos projetos a escavação de valas e túneis, aterros e reaterros, taludes de corte, contenções, fundações e blocos de ancoragem – enfim, toda a gama de obras geotécnicas. Para a definição de métodos construtivos em situações especiais, bem como obtenção de parâmetros comuns de projeto como capacidade de suporte e inclinação máxima para taludes, projetistas necessitam de dados geológico-geotécnicos, para os quais são necessários estudos de campo.

1.4. Levantamentos de Campo

Um projeto linear acarreta áreas de investigação bastante extensas e, frequentemente, significativa variação nas características geotécnicas encontradas ao longo do traçado, o que por si só já representa um desafio em termos de levantamentos de campo. A determinação do nível de investigação em cada trecho de uma obra linear deve levar em conta diversos critérios, como “complexidade geológica da região, fase de estudo ou projeto, e até mesmo normas e diretrizes executivas estabelecidas por órgãos estatais, baseadas em obras realizadas e estatísticas”. [5]

Cada um dos critérios citados se refere a diferentes condicionantes, internos ou externos ao projeto. A fase de estudo ou projeto é o principal condicionante interno. Conforme se avança no desenvolvimento de um projeto, seu nível de detalhamento é crescente; conseqüentemente, aumenta a necessidade de informação e a qualidade que se espera dela. Da análise de viabilidade à manutenção das vias, passando por todas as fases de projeto e implantação, um grande número de métodos pode ser utilizado para a obtenção das informações geotécnicas necessárias. A Tabela 2 apresenta alguns dos mais utilizados, de acordo com sua aplicabilidade em cada um dos estágios citados.

Outros condicionantes internos para os levantamentos de campo são os custos envolvidos e prazos para sua realização. Infelizmente, é comum que estes condicionantes suplantem outros mais técnicos em diversos projetos, sendo

necessário que o responsável técnico exerça um papel de convencimento sobre o cliente para que os trabalhos necessários sejam realizados.

Tabela 2: Técnicas de investigação versus fase de projeto [5] Em preto, técnicas usuais e em cinza técnicas de uso eventual.

	FASES	Escolha do Traçado	Viabilidade Técnico – Econômica	Projeto	Construção	Conservação
	Análise dos dados disponíveis	■	■	■	■	■
	Fotointerpretação geológica	■	■			
	Reconhecimento geológico-geotécnico de campo	■	■			
Geofísica	Sísmica de Refração	■	■	■		
	Resistividade Elétrica		■			
Trado e poços	Para Cortes e Aterros	■	■	■	■	■
	Para Identificação de Jazidas	■	■	■	■	■
	Análises Químicas		■	■	■	■
	Sondagens a percussão e ensaios 'in situ'		■	■	■	■
Laboratório	Ensaio de Caracterização		■	■	■	
	Ensaio Especiais			■	■	■
	Acompanhamento técnico das obras				■	■
	Monitorização			■	■	■

Os órgãos estatais são um componente cada vez mais relevante em todas as fases de um projeto, sendo os mais atuantes os órgãos ambientais. Dependendo da região a ser afetada, os requisitos de investigação impostos pelo IBAMA ou órgãos estaduais podem ter grande peso, especialmente no cronograma do projeto. Não é incomum no Brasil de hoje que um projeto tenha que ser profundamente reformulado ou mesmo que se torne inviável por questões ambientais.

Outros órgãos relevantes e que devem ser contatados em qualquer obra de grande extensão são CPRM e DNIT, dentre outros. Em casos específicos, onde haja interferência com áreas de interesse arqueológico, entram em ação também órgãos como o IPHAN, cujas atividades podem até mesmo parar uma obra já em execução. Convém, portanto, uma investigação da área a ser estudada também por este prisma.

A complexidade geológica da região é um critério primordialmente técnico. Refere-se à variabilidade de ambientes geológico-geotécnicos a serem atravessados pela obra, e, conseqüentemente, está diretamente relacionada ao volume de investigações necessário para caracterizar adequadamente estas unidades. Não apenas é condicionante primordial em qualquer fase de projeto, como costuma estar diretamente relacionada aos requisitos ambientais. Pode ser quantificada ainda nos primeiros momentos do projeto, com a utilização de mapeamentos geológicos existentes e, quando disponíveis, interpretação de fotos aéreas.

Por conta da continuidade inerente a este tipo de obra, em determinadas situações é necessário também obter informações contínuas, ao longo do traçado e em profundidade, para subsidiar tanto o projeto propriamente dito, quanto requisitos legais, ao contrário de obras com outras características, para as quais informações pontuais podem ser suficientes. Isto ocorre em áreas onde o comportamento do solo ou da rocha precisa ser conhecido com maior confiança para um bom detalhamento do projeto, garantindo maior segurança e melhor estimativa de custos.

É o caso de travessias de rios, especialmente aqueles com grande potencial de transporte de sedimentos; regiões de túneis, sejam em maciços terrosos ou rochosos; áreas de baixada, com materiais moles cujos recalques precisem ser estimados; dentre outros. Nestas situações, para uma melhor compreensão do subsolo, é comum a combinação de métodos diretos e indiretos de sondagem,

combinação essa que se corretamente utilizada permite a obtenção de um bom modelo da subsuperfície rasa.

1.5. Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar os métodos geofísicos aplicáveis ao caso de obras lineares, que envolvem mecânica de rochas e de solos, bem como condicionantes externas e, frequentemente, necessitam de dados contínuos. Pretende-se identificar as condições de aplicabilidade destes métodos, os requisitos para bons resultados e possibilidade de combinação de diferentes metodologias, de modo que o engenheiro interessado em utilizar estas técnicas possa definir um programa de investigação que atenda corretamente às necessidades de seu projeto.

1.6. Escopo

Inicialmente, será apresentada revisão bibliográfica sobre os métodos que se entende mais utilizados e/ou promissores para levantamentos com vistas em engenharia geotécnica. Em seguida, serão apresentados alguns casos históricos, em que estes métodos foram utilizados de forma integrada ou individual, com diferentes fins investigativos. Conclui-se fazendo algumas observações e propondo um fluxograma básico para uma investigação de superfície utilizando-se métodos indiretos.