

# GEOFÍSICA APLICADA

A

## ESTRADAS

(TRABALHO APRESENTADO NO I ENECART)

*Cap. Eng. Geógrafo  
Victor Emmanuel Cunha de Alencar Saboya*

### 1. INTRODUÇÃO

Gostaríamos de agradecer, inicialmente, a honrosa oportunidade que nos foi oferecida de divulgar a GEOFÍSICA APLICADA no seio da família cartográfica.

Esta especialidade da Engenharia tem muitos amigos entre os geólogos, físicos e engenheiros de eletrônica, tendo contudo, poucos amigos entre os engenheiros cartógrafos. Ela não consta, ainda, como atribuição privativa de nenhuma especialidade da Engenharia.

A missão que me foi confiada, tem um aspecto difícil: muitos possuem sólidos conhecimentos sobre o assunto, todavia outros, praticamente, o desconhecem.

Preferimos, então, ficar na modesta posição de caráter mais informativo e na defesa de um lugar de destaque da Geofísica na Engenharia de Estradas.

Julgamos sensato, antes de iniciarmos a abordagem do assunto, falarmos sobre certos conceitos e idéias, que servem como elementos de ligação, para melhor compreensão total.

#### 1.1 GEOFÍSICA OU GEOFÍSICA PURA

Geofísica é a aplicação da Física para estudo da Terra. Em outras palavras, a Geofísica, através da execução de medidas de certas grandezas, estuda os campos físicos da Terra. A Geofísica Teórica, com os conhecimentos da FÍSICA e da MATEMÁTICA, estuda e procura solucionar os problemas dos campos físicos da Terra. P.ex.: o campo gravimétrico, o magnético, o fluxo calorífico, a constituição do GLOBO TERRESTRE, etc.

Para nós, daqui por diante, Geofísica Teórica, Geofísica Pura ou Física da Terra, serão sinônimos.

Convém recordar que um campo físico é

o domínio dos pontos do espaço, onde verificamos suas propriedades. Como exemplo de campo, citemos os campos: gravimétrico, magnético, radioativo, sismológico, etc..

Os campos podem ser naturais ou artificiais, sendo os últimos, evidentemente, criados pelo homem.

Definiremos como método geofísico um conjunto de procedimentos teóricos e práticos, que permitem o estudo de um campo específico.

#### 1.2 GEOFÍSICA APLICADA

A Geofísica Aplicada constitui a aplicação dos conhecimentos da Geofísica Pura no estudo

da parte superior da crosta terrestre na procura de recursos minerais, para estudo de barragens, em escavações subterrâneas, em estudos hidrológicos, arqueológicos e em estradas, etc....

### 1.3 GEOFÍSICA APLICADA A ESTRADAS

A Geofísica Aplicada a Estradas se utiliza de dois métodos geofísicos: o sísmico e o elektroresistivo.

Os campo são artificiais nos dois casos, isto é, nós criaremos o campo para coleta de dados, estudo e conclusões.

### 2. MÉTODO SÍSMICO

2.1 Os métodos sísmicos se baseiam no fato que as ondas elásticas se propagam com velocidades diferentes em rochas diferentes. Entenda-se aqui a palavra rocha no seu sentido mais amplo, isto é, em qualquer estágio de seu ciclo.

Os métodos sísmicos permitem interpretação quase única, com poucas possibilidades de interpretação ambígua.

Ele pode utilizar ondas refletidas e ondas refratadas.

Em estradas utilizaremos apenas ondas refratadas, pois o solo se comporta como um filtro corta-alto e retém as freqüências mais altas, além das dificuldades operacionais.

Até o presente momento não chegou ao nosso conhecimento o emprego do método da reflexão para pequenas profundidades, embora já tenham ocorrido tentativas a respeito.

Cabe aqui ressaltar que em rios, pode-se usar o método da reflexão em sísmica na água, porém este assunto, devido ao raro uso no caso de estradas, não será abordado.

Julgamos que todos nós somos conhecedores sobre os diversos tipos de onda, que se propagam em um meio sólido. Nos restringiremos às ondas longitudinais e transversais ("body waves"), pois elas estão mais ligadas ao nosso tema.

As onda longitudinais, chamadas simplesmente de onda L são aquelas, cujas partículas do meio vibram no sentido de propagação da onda..

Verificamos, então, zonas de compressão e zonas de rarefação. A sua velocidade pode ser calculada através da relação:

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\tau)}{\rho(1+\tau)(1-2\tau)}}$$

onde:

E — módulo de Young de elasticidade.

$\sigma$  — razão de Poisson (ou módulo de contração transversal)

Estas constantes, como sabemos, não caracterizam a forma ou tamanho do corpo, e sim suas propriedades elásticas.

$\rho$  — densidade do meio.

As ondas transversais são aquelas cujas partículas do meio, vibram no plano perpendicular ao sentido de propagação da onda. Ela pode ser calculada pela expressão:

$$V_T = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{2(1+\sigma)}$$

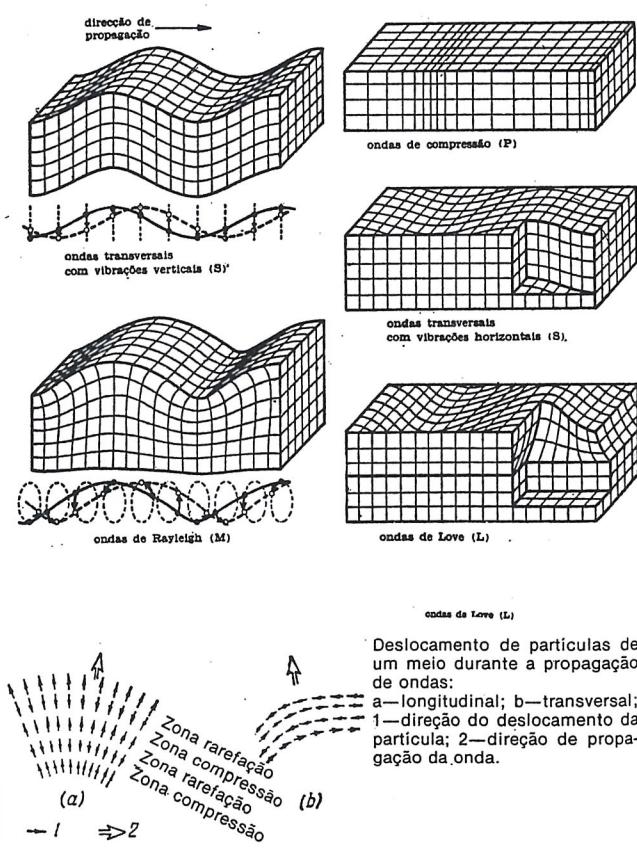
É fácil concluir que:

$$\frac{V_L}{V_T} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} > \sqrt{2}$$

É evidente a conclusão que:

$$V_L > V_T$$

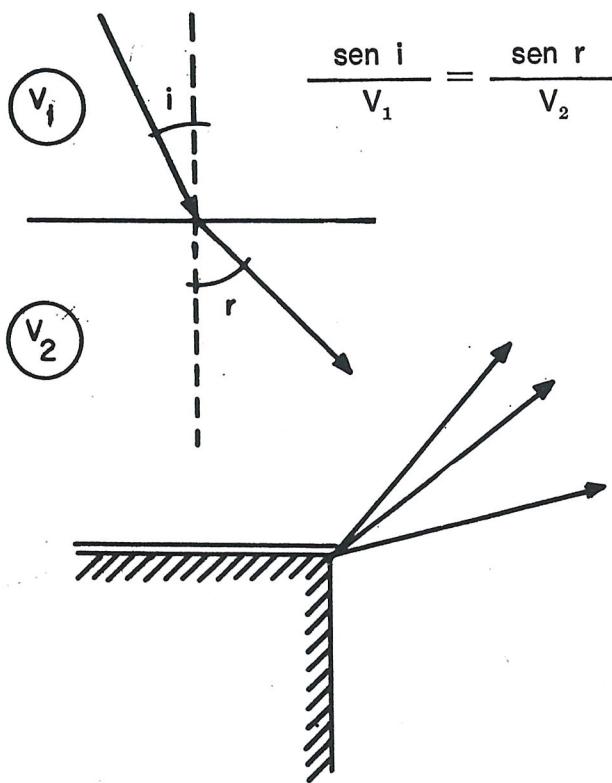
Convém lembrar que as ondas transversais só se propagam nos meios sólidos.



Frente de onda é o lugar geométrico dos pontos que vibram no mesmo instante.

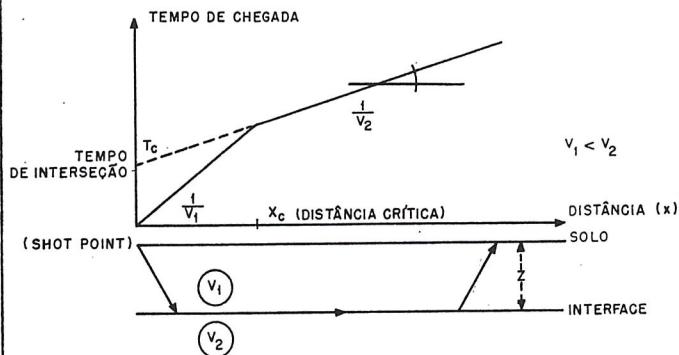
Raio sísmico é a normal em um ponto a uma frente de onda e tem a utilidade prática de visualizar o percurso da frente de onda, sobre um plano.

Na refração rasa, consideraremos válidas a Lei de Snell, o Princípio de Huygen e difração.



## 2.2 REFRAÇÃO RASA

O mecanismo de sondagem da refração rasa é exposto na figura abaixo:



$x$  — distância entre o geofone e o ponto de choque (martelo, espoleta ou dinamite)

$$\text{Quando } r = 90^\circ, \sin i = \frac{v_1}{v_2}.$$

Então  $i$  é chamado de ângulo crítico. Antes do ângulo crítico, a primeira a chegar é a onda L direta.

Na realidade, os raios sísmicos têm sentido inverso ao da figura. O esboço é geral para a obtenção de um gráfico TX.

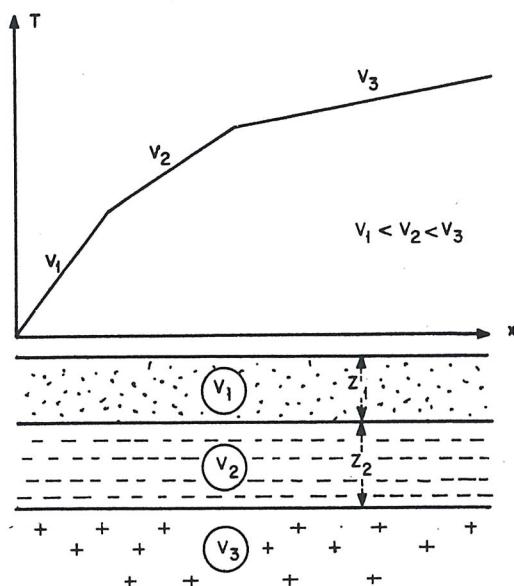
Definiremos como distância crítica ( $x_c$ ) a distância entre o geofone e o ponto de choque (martelo, espoleta ou dinamite), na qual a onda direta e refratada chegam ao mesmo tempo.

A equação do tempo de chegada no caso de duas camadas é dada por:

$$T = \frac{x}{v_1} + \frac{2z \sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1 v_2}$$

A dedução desta equação é mais simples quando usamos o conceito "delay-time" do que usando meios geométricos.

Para o caso de três camadas, teríamos um gráfico com o seguinte aspecto:



A equação do tempo para o caso de três camadas é dada por:

$$T = \frac{x}{v_3} + \frac{2z_1 \sqrt{v_3^2 - v_1^2}}{v_1 v_3} + \frac{2z_2 \sqrt{v_3^2 - v_2^2}}{v_2 v_3}$$

A interpretação é feita, calculando-se a profundidade das camadas, com as distâncias dos pontos de choque aos geofones e as velocidades retiradas de gráficos.

As velocidades de acordo com o apoio geológico, e as tabelas de correlação, identificam os materiais.

As críticas ao método de refração rasa se baseiam em fatos da falta de um conhecimento mais profundo método.

Por exemplo, nós desaconselhamos sondagens sísmicas na seguintes situações:

- a) Em épocas de chuvas;
- b) Com aparelhagem inadequada, usando apenas 1 (um) geofone, sem ser previamente testada. Recomendamos o uso de diversos canais de registro (diversos geofones);
- c) Com apenas um equipamento, pois nos trabalhos de estradas, podem surgir ocasiões de difícil reparo no trecho de trabalho, e haverá uma parada longa dos mesmos;
- d) Com equipes mal treinadas;
- e) Sem um apoio topográfico preciso;
- f) Sem um apoio geológico permanente;
- g) Com intérpretes inexperientes;
- h) Com metodologia inadequada, o que aumentará os riscos de interpretação ambígua.

A sísmica tem sido empregada com sucesso em outros países, citamos entre eles: EEUU, França,...

No Brasil, tem sido mal aproveitada, e já ouvimos, lamentavelmente, palavras de descrédito ao método, não nos ocorrendo se quem as pronunciou conhecia efetivamente o método e seu correto emprego.

No caso de Engenharia de Estradas, podemos ter os seguintes produtos das sondagens sísmicas para estudos de viabilidades:

- a) predição da capacidade de suporte de carga;
- b) definição do "overburden" e do "bed rock", com uma precisão de 5% para profundidades maiores do que 1,5 m;
- c) uma aproximação do grau de consolidação de cada camada;
- d) localização de feições geológicas, tais como: falhas, dobramentos, mazacões, etc...

Para projetos definitivos, o item a) perde o seu valor nas obras de arte, pois as sondagens por motivos de segurança devem ser mecânicas.

Os demais itens permitem um maior espaçamento das sondagens mecânicas, permitindo maior economia e rapidez dos trabalhos.

### 3. MÉTODO DA ELETRORESISTIVIDADE

O método da eletroresistividade muito usado pelos russos, canadenses, franceses, portugueses e espanhóis, ainda não conquistou no Brasil um lugar de destaque, não tendo conseguido inspirar a confiança que merece, quan-

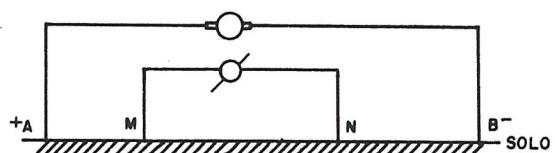
do combinado com o método sísmico para os trabalhos de Engenharia de Estradas.

Este método foi empregado nos Estados Unidos, no Canadá, na África e na França, para pesquisa do manto superior e da crosta inferior.

Na Europa e na América do Norte é empregado para as mais diversas finalidades: estudos hidrológicos, estradas, petróleo, etc...

No Brasil, infelizmente, ele é pouco usado.

O método da eletroresistividade se baseia no estudo da distribuição de potencial, após a injeção no solo, de corrente contínua ou alternada de baixa freqüência (4 c/s).



A e B são os eletrodos de corrente.  
M e N são os eletrodos de potencial.

O dispositivo acima pode ser empregado na configuração de Wenner ou Schlumberger, dependendo da distância dos eletrodos.

No dispositivo de Wenner

$$AM = MN = BN = a.$$

Isto implica na mudança contínua da posição dos eletrodos, o que se constitui num inconveniente bastante grande.

No dispositivo de Schlumberger só se movem os eletrodos de corrente, simetricamente ao centro da distância MN. Com isto ganhamos maior mobilidade no campo. Com o avanço tecnológico do instrumental, este método tomou o lugar do dispositivo de Wenner.

O método da resistividade apresenta dois problemas críticos:

- 1º — Os horizontes resistivos;
- 2º — As muito baixas resistividades superficiais.

É um método que exige um requinte especial na operação de campo (correntes industriais, correntes telúricas, correntes de fuga, etc...). Ele exige um operador experiente, e com amplos conhecimentos de FÍSICA e GEOLOGIA.

Seu intérprete deve ser experiente, além de possuir bastante informações geológicas para executar a interpretação.

Deixamos de entrar em pormenores sobre o método e, nos colocamos à disposição dos mais interessados.

Esperamos que brevemente o método das resistividades alcance o seu justo lugar, dando apoio ao método sísmico nos trabalhos de estrada, já que no momento ele é apenas usado nos estudos de águas subterrâneas. Ele virá baixar ainda mais os custos operacionais nos trabalhos de estrada.