

# Inversão Sísmica Inteligente com Modelagem de Incerteza

Seminário de Andamento de Doutorado

Fernando Luis Bordignon

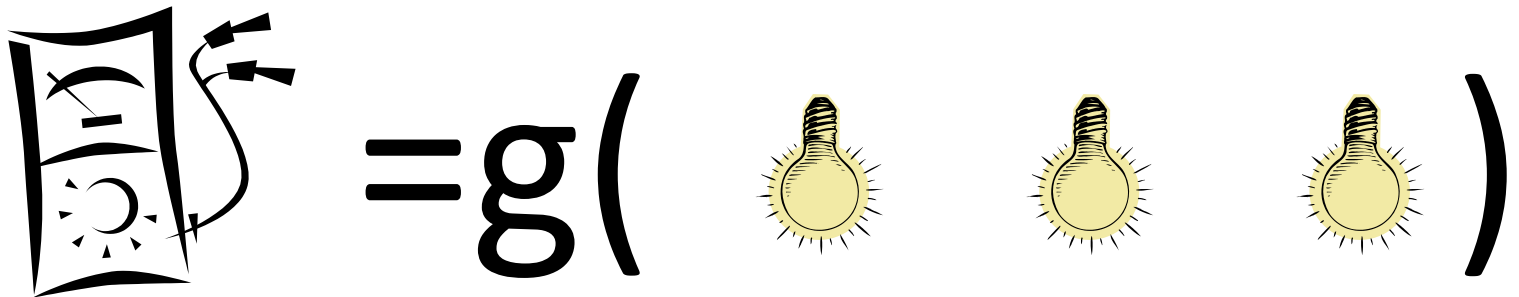
Orientador: Mauro Roisenberg

# Conteúdo

- Introdução
  - Problema inverso
- Inversão Sísmica
  - Modelos lineares e não lineares
  - Modelagem de incerteza
- Sugestão de abordagem

# Introdução

- Sistemas físicos
  - Medidas
  - Modelo
- Exemplo



# Introdução

- Sistemas físicos
  - Medidas
  - Modelo
- Exemplo

$$d=g(m)$$

# Introdução

- Sistemas físicos
  - Medidas
  - Modelo
- Exemplo

$$d = g(m) + e$$

# Introdução

- Problema inverso
  - Dado

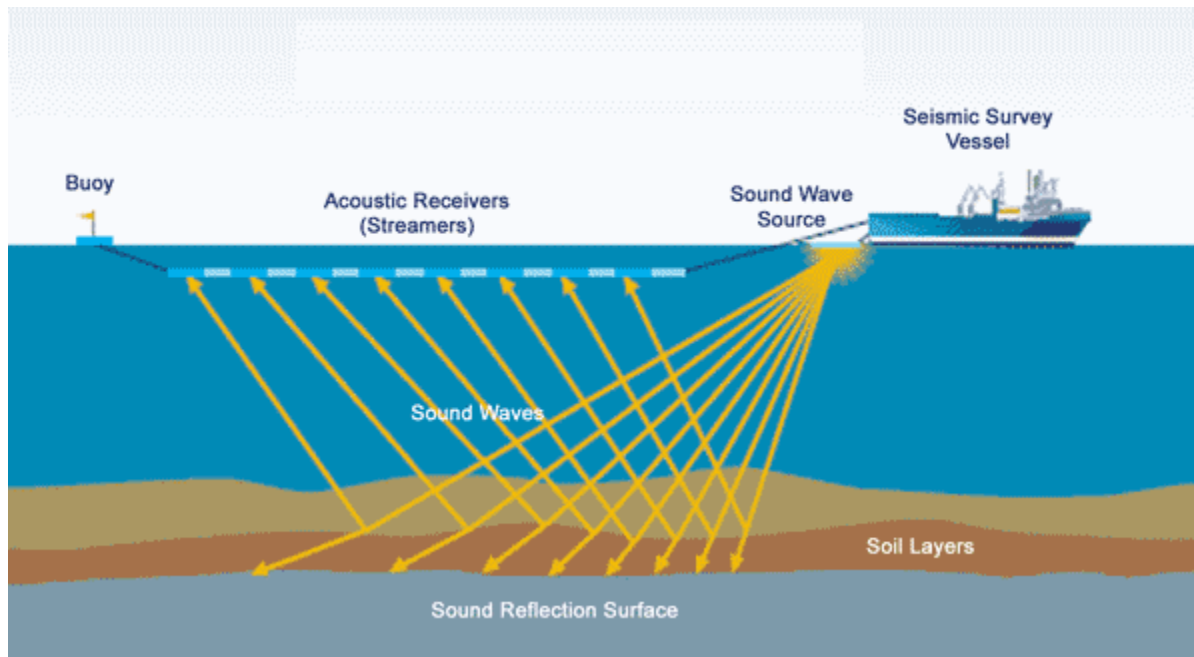
$d (+e)$

- Encontrar

$m$

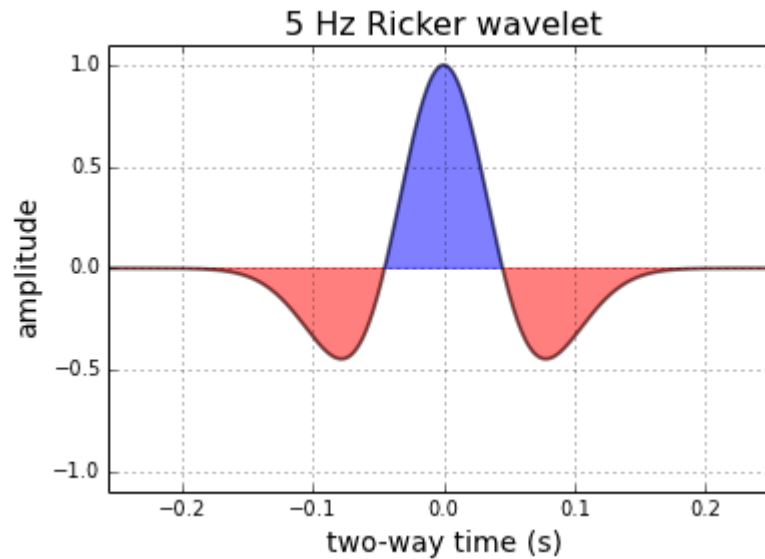
# Introdução

- Sísmica



# Introdução

- Wavelet





# Introdução

- Sísmica

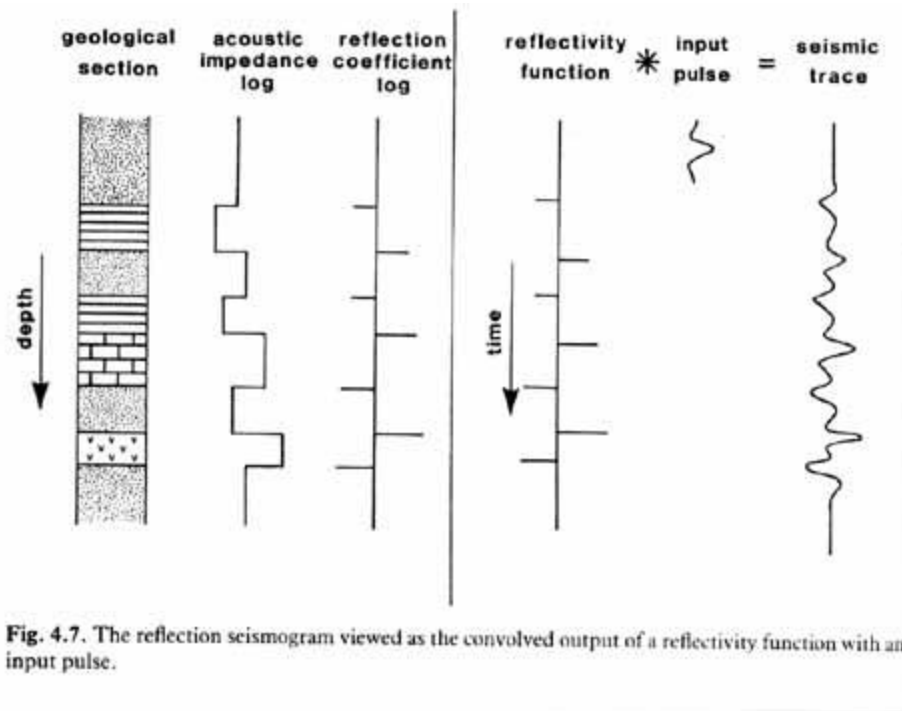


Fig. 4.7. The reflection seismogram viewed as the convolved output of a reflectivity function with an input pulse.

# Introdução

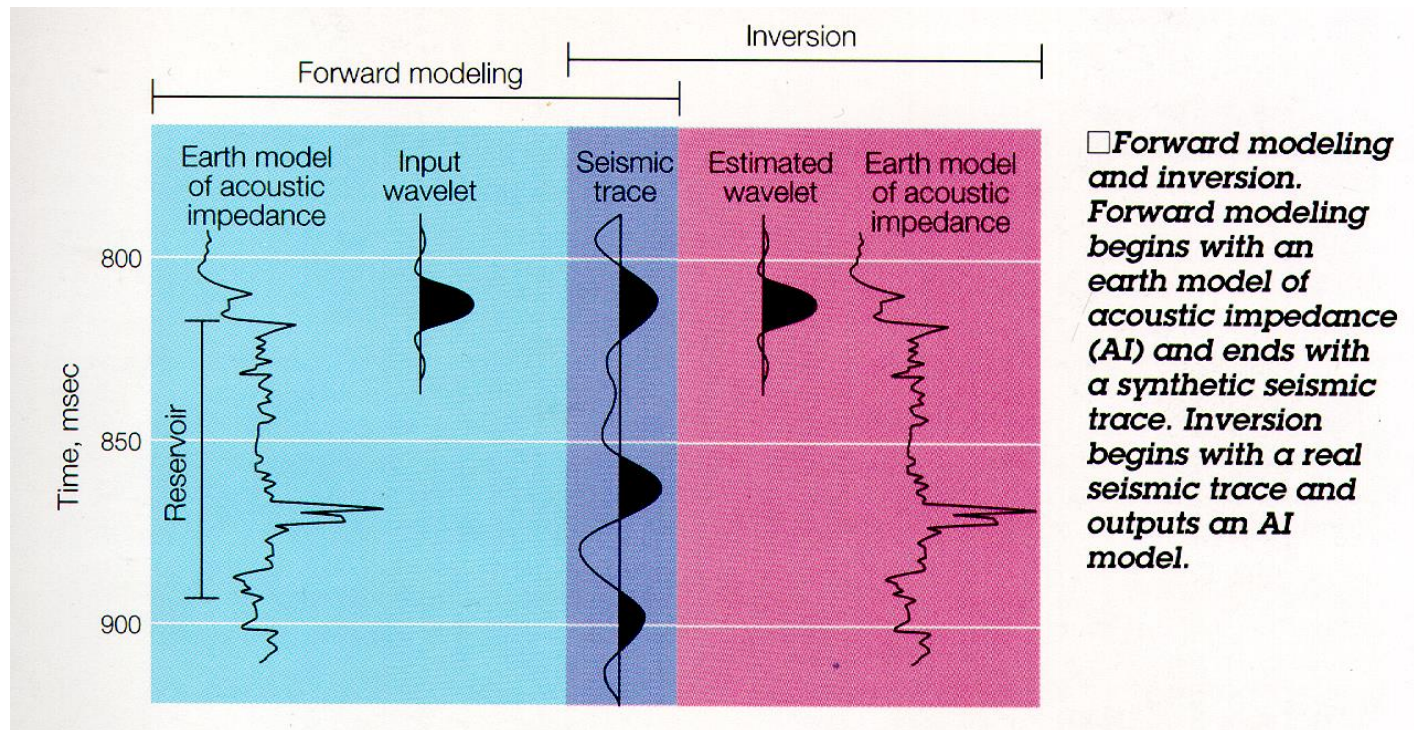
- Sísmica
  - Refletividade

$$r(t) = \frac{z(t + \delta t) - z(t)}{z(t + \delta t) + z(t)}$$

- Modelo convolucional
  - Sísmica sintética:

$$d(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) r(t - \tau) d\tau + e_d(t)$$

# Inversão Sísmica



# Inversão Sísmica

- Relação entre modelo e dados

$$d = g(m) + e$$

- Discreto:

$$\mathbf{d} = \mathbf{G}\mathbf{r}$$

# Inversão Sísmica

- Inversão linear:

$$r(t) = \frac{z(t + \delta t) - z(t)}{z(t + \delta t) + z(t)}$$

- Aproximação:

$$r(t) = \frac{1}{2} \Delta \ln(z(t))$$

# Inversão Sísmica

- Inversão linear:

$$\mathbf{d} = \mathbf{G}\mathbf{r}$$



$$\mathbf{r} = \mathbf{G}^{-1}\mathbf{d}$$

- Problemas:
  - Existência
  - Unicidade
  - Estabilidade
  - Robustez

# Inversão Sísmica

- Inversão linear:

$$\mathbf{d} = \mathbf{G}\mathbf{r}$$



$$\mathbf{r} = (\mathbf{G}'\mathbf{G})^{-1}\mathbf{G}'\mathbf{d}$$

- Problemas:
  - Inserir conhecimento
  - Solução suavizada

# Inversão Sísmica

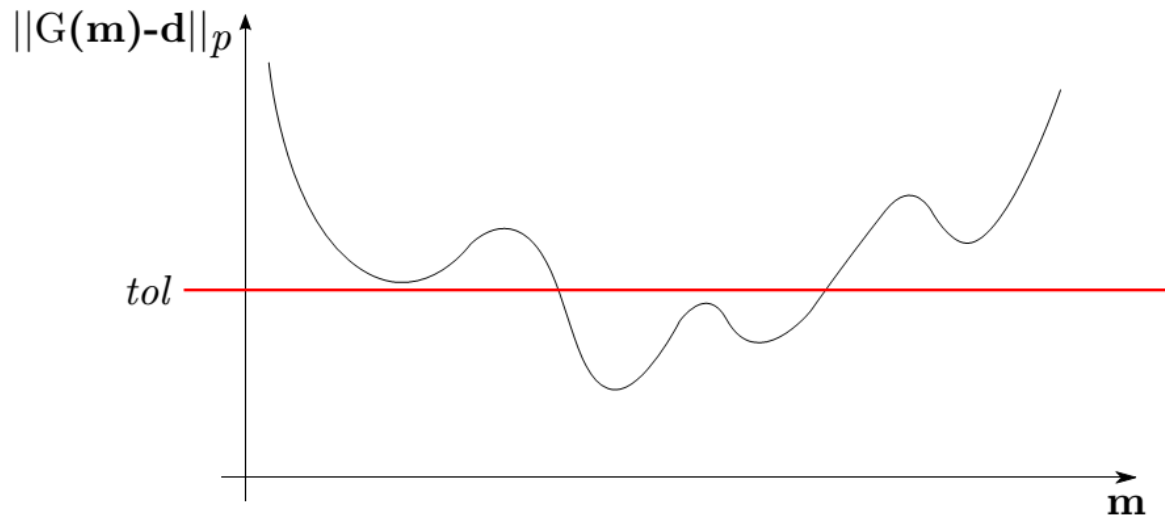
- Inversão não linear
- Otimização
  - Algoritmos genéticos (Mallick, 1995)
  - *Simulated annealing* (Ma, 2002)
  - Enxame de partículas (Zhe e Hanming, 2013)
- Bons resultados
- Ajuste ao ruído
  - Regularização na função objetivo



# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza

$$\|\mathbf{G}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}\|_p \leq tol$$



# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza
  - Linear (MAP) (Buland e Omre, 2003 a)

$$r(t) = \frac{1}{2} \Delta \ln(z(t))$$

- Assume-se distribuição Gaussiana
- Wavelet conhecida
- Possível inserir conhecimento
  - Variâncias
  - Correlações
  - Tendência

# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza
  - Estocástica (Figueiredo et al., 2013)
  - MCMC + Gibbs
  - Características do MAP
  - Outras fontes de incerteza
    - Wavelet
    - Covariâncias
    - Médias
- Alto custo para gerar amostras
- Estatísticas das amostras

# Inversão Sísmica

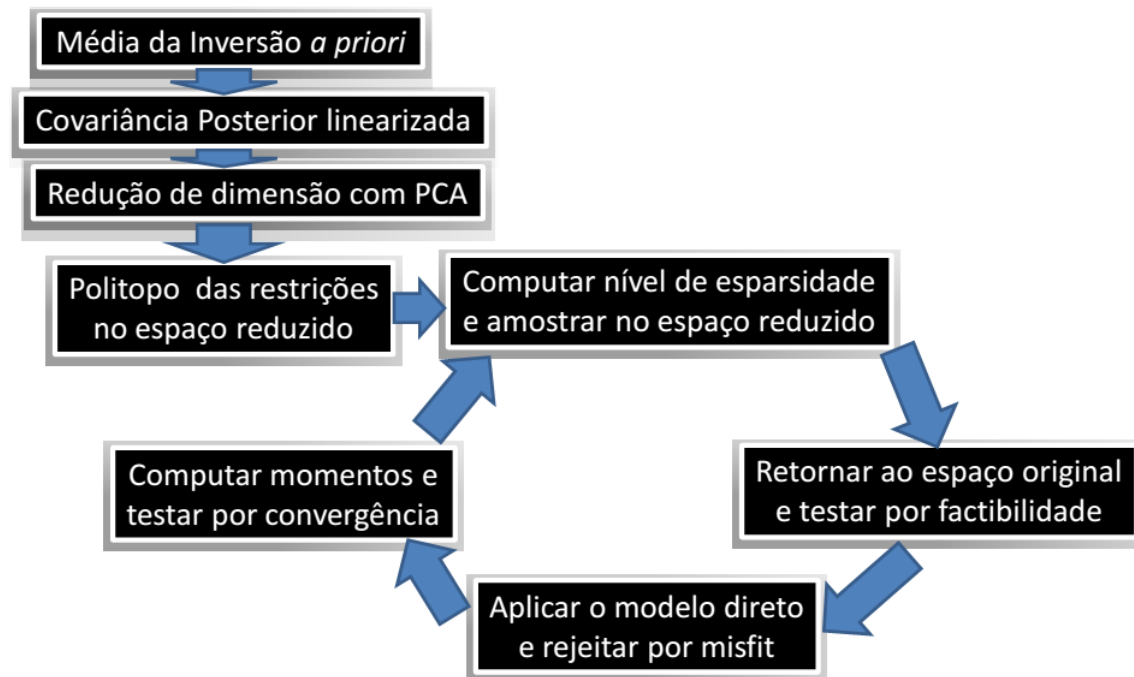
- Inversão e modelagem de incerteza
  - Enxame de partículas (PSO) (Martínez et al., 2010)
    - Adaptado para incerteza
    - Não linear
    - Incerteza via função de erro
  - Algoritmos genéticos (Sen e Stoffa, 1995)
    - Várias execuções
    - Sem adaptação para modelar incerteza
    - Mínimos locais = Incerteza
    - Não funciona bem (Martínez; Muñiz e Tompkins, 2012)

# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza
  - Amostragem esparsa (Tompkins et al., 2011)
    - Inversão em outro domínio
    - PCA na (aproximação da) matriz de covariância
    - Redução dimensional
    - Mapeamento de restrições
    - Amostragem esparsa por Smolyak (1963)
    - Rejeição
    - Complexidade extra PCA+Mapeamento

# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza
  - Amostragem esparsa (Tompkins et al., 2011)



# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza
  - Avaliação de incerteza (Scheidt e Caers, 2009)
    - Seleção de modelos próximos
      - MDS + Agrupamento
    - Não faz inversão
    - Alternativa parecida com o PCA
      - Mesmo custo
    - Ideia pode ser aproveitada?

# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza
  - Simulação sequencial (Soares; Diet e Guerreiro, 2007)
    - Simulação utilizando variograma Krigagem
    - Combinação de blocos simulados
      - Aceitação por função de erro
      - Reprodução de histogramas e variogramas
  - Simulação conjunta de propriedades



# Inversão Sísmica

- Inversão e modelagem de incerteza
  - *Prior* não trivial (Hansen; Cordua e Mosegaard, 2012)
    - Amostragem via Gibbs
    - Aceita informações geológicas
      - Imagens de treinamento
    - Restringe espaço da posterior
      - Resolve problemas mais complexos
      - Melhor ter a informação a priori

# Proposta

- Inversão e modelagem de incerteza
  - Método intermediário
    - Regularização do MAP
    - Outras fontes de incerteza do Estocástico
  - Cooperação com Soares
    - Simulação sequencial com updating Bayesiano
      - Simular pontos
      - Aplicar inferência Bayesiana
      - Repetir

Obrigado

Fernando Luis Bordignon  
bordi@inf.ufsc.br

# Referências

Buland, A. e Omre, H. (2003), Bayesian linearized AVO inversion, *Geophysics* 68(1), 185–198.

Figueiredo, L. P.; Santos, M.; Roisenberg, M. e Neto, G. (2013), Stochastic Bayesian algorithm to a jointly acoustic inversion and wavelet estimation, *Society of Exploration Geophysicists*, chapter 635, pp. 3273–3277.

Hansen, T.; Cordua, K. e Mosegaard, K. (2012), Inverse problems with non-trivial priors: efficient solution through sequential gibbs sampling, *Computational Geosciences* 16(3), 593–611.

Ma, X. (2002), Simultaneous inversion of prestack seismic data for rock properties using simulated annealing, *GEOPHYSICS* 67(6), 1877–1885.

Mallick, S. (1995), Model-based inversion of amplitude-variations-with-offset data using a genetic algorithm, *Geophysics* 60(4), 939–954.

Martínez, J. L. F.; Gonzalo, E. G.; Muñiz, Z. F.; Mariethoz, G. e Mukerji, T. (2010), Posterior sampling using particle swarm optimizers and model reduction techniques, *Int. J. Appl. Evol. Comput.* 1(3), 27–48.

Martínez, J. L.F. ; Muñiz, M. Z.F. e Tompkins, M. J. (2012), On the topography of the cost functional in linear and nonlinear inverse problems, *Geophysics* 77(1), W1–W15.

Scheidt, C. e Caers, J. (2009), Representing spatial uncertainty using distances and kernels, *Mathematical Geosciences* 41(4), 397–419.

Sen, M. K. e Stoffa, P. L. (1995), *Global Optimization Methods in Geophysical Inversion*, Vol. 4 of *Advances in Exploration Geophysics*, Elsevier.

Smolyak, S. (1963), Quadrature and interpolation formulas for tensor products of certain classes of functions, *Soviet Mathematics, Doklady* 4, 240–243.

Soares, A.; Diet, J. e Guerreiro, L. (2007), Stochastic inversion with a global perturbation method, *Petroleum Geostatistics 2007*, EAGE.

Tompkins, M. J.; Fernández Martínez, J. L.; Alumbaugh, D. L. e Mukerji, T. (2011), Scalable uncertainty estimation for nonlinear inverse problems using parameter reduction, constraint mapping, and geometric sampling: Marine controlled-source electromagnetic examples, *Geophysics* 76(4), F263–F281.

Zhe, Y. e Hanming, G. (2013), Non-linear prestack seismic inversion with global optimization using an edge-preserving smoothing filter, *Geophysical Prospecting* 61(4), 747–760.

Zunino, A.; Lange, K.; Melnikova, Y.; Hansen, T. e Mosegaard, K. (2014), Reservoir modeling combining geostatistics with markov chain monte carlo inversion, E. Pardo-Iguzquiza; C. Guardiola-Albert; J. Heredia; L. Moreno-Merino; J. J. Dur J. A. Vargas-Guzm (Eds.), *Mathematics of Planet Earth, Lecture Notes in Earth System Sciences*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 683–687.

# Variograma

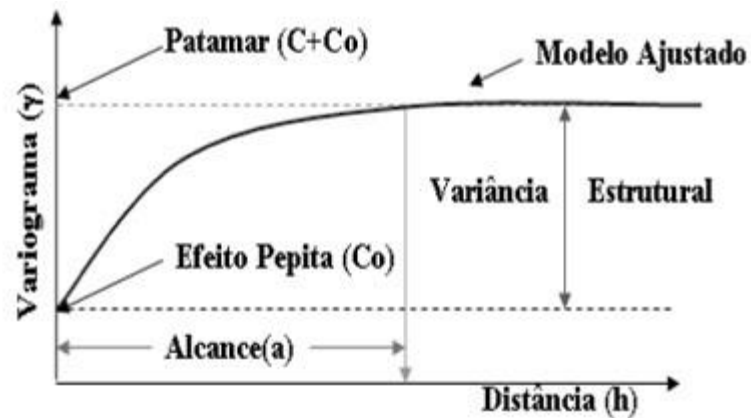


Figura 3 - Modelo de Variograma Experimental com Patamar.

# Cubos Soares

