

**MODELO MATEMÁTICO PARA REPRESENTAÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA
DOS SOLOS**

FABIANO HENRIQUE DE SOUZA ¹, KÁTIA DANIELA RIBEIRO²

RESUMO

O conhecimento da distribuição das partículas do solo, quanto ao tamanho, é de grande importância na descrição, identificação e classificação dos solos, pois muitas propriedades físicas, hídricas e químicas dos solos se correlacionam com a distribuição dos tamanhos das partículas sólidas. As metodologias tradicionalmente usadas para a avaliação da distribuição granulométrica dos solos fornecem valores pontuais, necessitando posteriormente de uma interpolação para descrever a curva granulométrica e obtenção de diâmetros característicos específicos. A transformação dos valores pontuais em funções contínuas pode ser realizada por meio de modelos matemáticos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo matemático para descrição da curva de distribuição granulométrica dos solos. Amostras coletadas da camada superficial de quatro classes de solos (Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, Latossolo Vermelho-Amarelo psamítico, Latossolo Vermelho distrófico típico) foram utilizadas para as análises granulométricas e os dados obtidos foram usados para o desenvolvimento de um modelo matemático para representação das curvas granulométricas. Verificou-se um ajuste muito bom do modelo aos dados granulométricos dos solos estudados, fornecendo estimativas muito próximas dos valores determinados em laboratório, validando-a.

Palavras-chaves: Granulometria do solo, Classificação textural, Regressão não-linear.

INTRODUÇÃO

A análise granulométrica objetiva determinar a relação entre as dimensões das partículas sólidas e as proporções relativas com que as partículas com essas dimensões ocorrem no solo, sendo amplamente utilizada para a classificação textural dos solos bem como para a estimativa de parâmetros para filtros de proteção, bases estabilizadas, análise de carreamento.

A análise granulométrica dos solos também possibilita a classificação de um solo, a inferência do potencial de compactação, disponibilidade de água, aeração, condutividade hidráulica e térmica, infiltração, como também a redistribuição de água (PREVEDELLO, 1996).

A representação gráfica da análise textural dos solos é denominada curva granulométrica. Pelo fato de o solo geralmente apresentar diâmetros de partículas em uma ampla faixa de variação, a curva granulométrica é normalmente apresentada em um gráfico semi-logarítmico, no qual o diâmetro das partículas, em escala logarítmica, é representado nas abscissas, e a porcentagem de partículas com diâmetro inferior às indicadas (porcentagem que passa), em escala linear, é representada nas ordenadas.

Os processos de erosão, transporte e deposição de partículas sólidas são dependentes, entre outras grandezas, da granulometria dos materiais. Dessa forma, a descrição da curva granulométrica é essencial na hidrossedimentologia, possibilitando a obtenção de determinados diâmetros característicos das amostras, fundamentais na estimativa do deslocamento de sedimentos em bacias hidrográficas (CARVALHO et al., 2000).

As técnicas utilizadas na avaliação da distribuição granulométrica de amostras de solos resultam em valores pontuais, dependendo de posterior interpolação para a descrição da curva granulométrica e obtenção de diâmetros característicos específicos. Esta interpolação é feita, muitas vezes, de forma gráfica, podendo representar fonte de erro nas etapas de desenho da curva e de leitura da medida, de maneira que, a partir de uma mesma base de dados, diferentes respostas poderão ser obtidas (LIMA & SILVA, 2007).

¹ Graduando em Engenharia Ambiental, UNIFOR-MG, facuringa@hotmail.com

² Professora Titular I, UNIFOR-MG, katiadr@bol.com.br

A transformação dos valores pontuais em funções contínuas, através de modelos matemáticos, apresenta-se como a solução para a eliminação da subjetividade inerente à interpolação dos dados para a descrição da curva granulométrica, sendo o modelo mais adequado à representação da curva granulométrica aquele capaz de traçar uma função contínua sigmoideal.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo matemático para descrição das curvas de distribuição granulométrica dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os resultados de análises granulométricas de amostras coletadas da camada superficial (0-20 cm) de quatro classes de solos localizadas nos municípios de Itumirim e Itutinga, região sul de Minas Gerais (Tabela 1).

A análise granulométrica foi realizada conforme NBR-7181/84 (ABNT, 1984). A distribuição das partículas do solo por tamanho foi feita de acordo com o sistema do Departamento de Agricultura dos EUA (BRADY, 1979) e a classificação textural foi feita segundo Lemos & Santos (1982). Os dados obtidos foram analisados estatisticamente, segundo delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições. Foi utilizado o teste de Scott & Knott a 5 % de probabilidade para comparação das médias.

Tabela 1. Classificação e localização dos solos estudados.

Solo	Classificação ⁽¹⁾	Localização (município)	Coordenadas UTM ⁽²⁾		Altitude (m)
			X (m)	Y (m)	
1	Neossolo Quartzarênico (RQ)	Itutinga (MG)	540.184	7.644.087	921
2	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd)	Itutinga (MG)	536.528	7.645.091	957
3	Latossolo Vermelho-Amarelo psamítico (LVAq)	Itumirim (MG)	526.088	7.646.121	884
4	Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd)	Itumirim (MG)	515.323	7.646.502	957

⁽¹⁾ segundo EMBRAPA (1999).

⁽²⁾ Datum SAD 69, zona 23K.

Os dados obtidos (médias de três repetições) foram utilizados para o ajuste do modelo matemático (equação 1) desenvolvido para representação de curvas granulométricas contínuas:

$$P = \ln(a \cdot \phi) + b \cdot \ln[1 + (c \cdot \phi)^\eta]^\chi \quad (1)$$

em que:

P = porcentagem de partículas com diâmetro menor ou igual a ϕ (porcentagem que passa);

ϕ = diâmetro da partícula sólida [L];

a, b, c, η , χ = parâmetros de ajuste do modelo.

Aplicando-se o método dos mínimos quadrados ao modelo matemático desenvolvido, foi possível obter os valores dos parâmetros de ajuste do modelo aos pontos conhecidos das curvas granulométricas. Para tanto, foi utilizada a ferramenta “Solver” do aplicativo Microsoft Excel. Adicionalmente, a aderência do modelo matemático ajustado foi verificada através da análise dos valores do coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise granulométrica dos solos estudados e na Figura 1 podem ser visualizados os dados pontuais utilizados para o ajuste do modelo para o traçado das curvas granulométricas.

Tabela 2. Valores médios das análises granulométricas dos solos estudados.

Solo	Granulometria ⁽¹⁾								Classe textural ⁽⁸⁾
	AMG ⁽²⁾	AG ⁽³⁾	AM ⁽⁴⁾	AF ⁽⁵⁾	AMF ⁽⁶⁾	AT ⁽⁷⁾	Silte	Argila	
----- g kg ⁻¹ -----									
1 (RQ)	3 bC	60 aB	390 aA	393 aA	67 cB	913 a	25 d	62 b	Arenosa
2 (LVAd)	11 aE	37 bD	163 cB	280 cA	77 bC	568 c	275 b	157 b	Franco-arenosa
3 (LVAq)	8 aE	27 cD	205 bB	381 bA	90 aC	711 b	184 c	105 b	Franco-arenosa
4 (LVd)	4 bE	15 dD	52 dB	102 dA	27 dC	200 d	523 a	277 a	Franco-siltosa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ Classificação granulométrica segundo Departamento de Agricultura dos EUA (Brady, 1979); ⁽²⁾ Areia muito grossa; ⁽³⁾ Areia grossa; ⁽⁴⁾ Areia média; ⁽⁵⁾ Areia fina; ⁽⁶⁾ Areia muito fina; ⁽⁷⁾ Areia total; ⁽⁸⁾ Classificação textural segundo Lemos & Santos (1982).

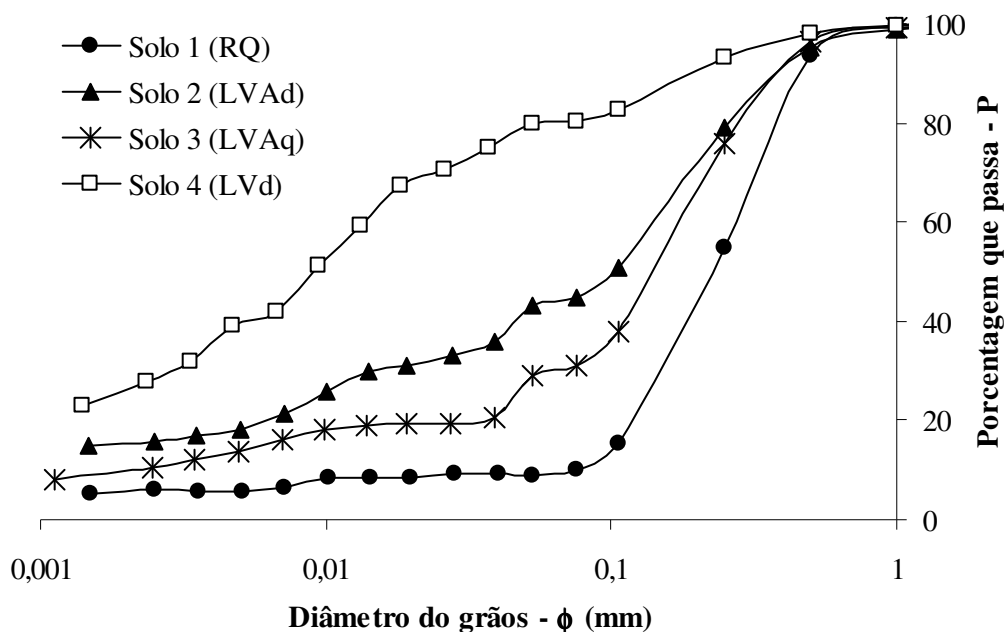


Figura 1. Curvas granulométricas dos solos estudados.

Os valores referentes aos percentuais de areia e silte foram todos estatisticamente diferentes. Quanto aos percentuais de argila, os valores encontrados não apresentaram diferença estatística para os solos 1 (RQ), 2 (LVAd) e 3 (LVAq), sendo o maior valor encontrado para o solo 4 (LVd). De uma maneira geral, a fração areia dos solos estudados é constituída basicamente por areia média e fina, com predominância de areia fina.

Observa-se que há grande variabilidade na distribuição granulométrica das amostras, o que é favorável para o estudo pretendido.

Os parâmetros de ajuste do modelo matemático desenvolvido para a descrição das curvas granulométricas estão apresentados na Tabela 3. Os elevados valores encontrados para o coeficiente de determinação indicam um bom ajuste do modelo aos dados granulométricos dos solos estudados.

Tabela 3. Parâmetros de ajuste do modelo matemático desenvolvido para representação das curvas granulométricas, para P em porcentagem e ϕ em mm.

Solo	a	b	c	η	χ	R ²
1 (RQ)	138.933	67,02	3,33	34,99	0,0635	0,9994
2 (LVAd)	1,8 x 10 ⁹	64,93	3,35	9,58	0,0632	0,9969
3 (LVAq)	3,1 x 10 ⁶	63,06	4,03	9,38	0,0979	0,9935
4 (LVd)	6,3 x 10 ⁸	45,24	78,46	3,71	0,1904	0,9955

Os valores de P estimados através do modelo desenvolvido para a descrição das curvas granulométricas *versus* os valores de P observados em laboratório foram plotados (Figura 2) para verificação da capacidade de estimativa do modelo desenvolvido neste trabalho e, como critério de avaliação da capacidade de estimativa do modelo, adotou-se a linha 1:1, que indica o quanto os valores estimados estão próximos dos observados. Para todos os solos estudados, as estimativas obtidas pelo modelo desenvolvido apresentaram resultados satisfatórios, verificando-se que os pontos situam-se na adjacência ou sobre a curva 1:1. O posicionamento dos pontos nos gráficos de dispersão indica que os valores estimados pelo modelo encontram-se muito próximos dos valores observados em laboratório.

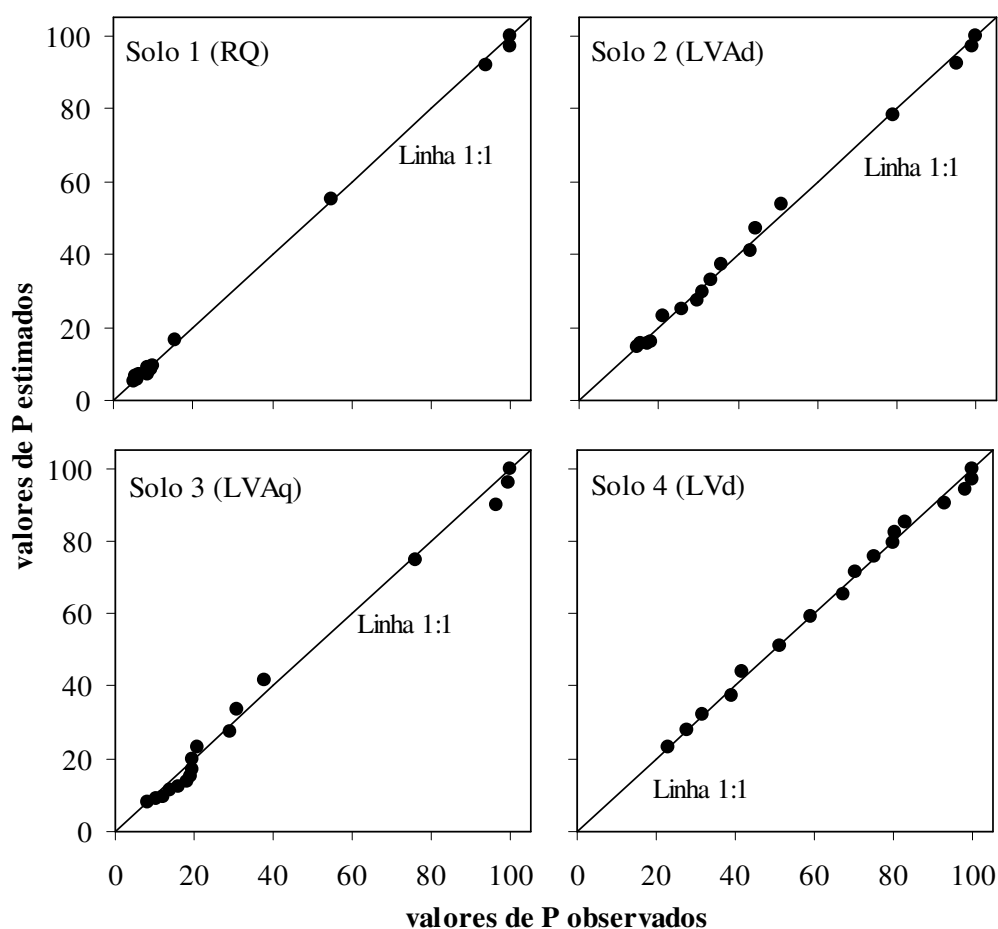


Figura 2. Valores de P estimados pelo modelo matemático desenvolvido para descrição das curvas granulométricas *versus* valores de P observados em laboratório.

CONCLUSÃO

O modelo matemático proposto para representação da curva granulométrica se ajusta adequadamente aos solos avaliados, fornecendo estimativas muito próximas dos valores determinados em laboratório, validando-a.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR-7181/84 - Solo: análise granulométrica conjunta. Rio de Janeiro, 1984.

BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 5. ed. São Paulo: Livraria Freitas Bastos, 1979. 647 p.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. Guia de práticas sedimentométricas. Brasília: ANEEL, 2000. 154p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2. ed. Campinas, 1982. 45 p.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M da. Seleção de modelos para o traçado de curvas granulométricas de sedimentos em suspensão em rios. Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental, v.11, n.1, p.101-107, 2007.

PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba: Salesward-discovery, 1996. 446p.