

# MODELO DE PROGRAMAÇÃO NÃO-LINEAR PARA SISTEMATIZAÇÃO DE TERRAS COM GRADIENTE DE DECLIVE CONTINUAMENTE VARIÁVEL<sup>1</sup>

João Carlos Cury SAAD<sup>2</sup>

**RESUMO:** Esta pesquisa teve por objetivo comparar o desempenho em termos de volume de terra movimentada, do Modelo de Programação Não-Linear utilizando a metodologia de Hamad & Ali (1990) modificada em relação ao Método dos Quadrados Mínimos Generalizado (Scaloppi & Willardson, 1986), considerado como referencial, na sistematização de uma área de formato irregular.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistematização, programação não-linear

**ABSTRACT:** The purpose of this paper was evaluate the volume of earth work using least squares method (Scaloppi & Willardson, 1986) and the nonlinear programming model modified from Hamad & Ali, 1990. The volume of cut produced by nonlinear programming model was 11,3% smaller than that one produced by least squares method.

**KEYWORDS:** land grading, nonlinear programming

**INTRODUÇÃO:** O método dos quadrados mínimos generalizado aplica-se tanto em áreas de formato regular como irregular e fornece a equação que permite transformar um microrelevo desuniforme em uma superfície plana, com a menor movimentação de terra possível. O uso de metodologia que permita a sistematização da superfície de tal forma que se tenha gradiente de declive continuamente variável em uma ou nas duas direções coordenadas, gerando perfis côncavos e/ou convexos, pode conduzir a uma menor movimentação de terra nas aplicações onde tais conformações sejam viáveis tecnicamente.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O método dos quadrados mínimos generalizado foi desenvolvido por Scaloppi & Willardson (1986), tendo por base o procedimento de ajustamento de retas de mesmo nome e pode ser aplicado tanto em áreas de formato regular (o número de estacas na linha, ou na coluna, é constante) como em áreas de formato irregular. A equação do plano gerada pelo método é dada por  $h(x, y) = a + b \cdot x + c \cdot y$ ,

sendo  $h(x, y)$  = cota calculada do ponto identificado pelas coordenadas  $x$  e  $y$ , em m ;  $a$  = cota do ponto de origem do plano, em m ;  $b, c$  = inclinação do plano nas direções coordenadas  $x$  e  $y$ , respectivamente, em m/estaca. O modelo de programação não-linear utilizado tem por base aquele desenvolvido por Hamad & Ali (1990), com algumas adaptações visando possibilitar o uso do programa computacional "GAMS" e incorporar, no sistema de equações, a relação desejada entre o volume total de corte e o volume total

---

<sup>1</sup> Parte de projeto de pesquisa financiado pela FAPESP.

<sup>2</sup> Prof. Assistente Doutor, Departamento de Engenharia Rural, FCA - Câmpus de Botucatu - UNESP, Caixa Postal 237, CEP: 18603-970, Botucatu, SP, Fone: (014) 8213883, Fax (014) 8213438.

de aterro. A equação que permite a obtenção de superfícies sistematizadas com formato linear, côncavo ou convexo em uma ou nas duas direções coordenadas, é dada por  $Z_{x,y} = a + b \cdot x^r + c \cdot y^s$ , sendo  $Z_{x,y}$  = cota da estaca x,y na superfície sistematizada, m ; x = coordenada da estaca na direção x ; y = coordenada da estaca na direção y ; a = cota do ponto correspondente à origem do sistema de coordenadas, em m ; b,c = coeficientes ; r,s = expoentes. Os cálculos dos volumes de corte e de aterro foram efetuados com base no método dos quatro pontos (Estados Unidos, 1959). Para ilustrar a aplicação dos métodos citados, utilizou-se uma área de formato irregular, medindo 1,8ha , extraída de Scaloppi & Willardson (1986).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A equação do plano gerada pelo método dos quadrados mínimos generalizado foi  $h(x,y) = 2,2276 - 0,0032 \cdot x - 0,2433 \cdot y$ , com  $h(x,y)$  em m e demais coeficientes em m/estaca. Por sua vez, a equação fornecida pelo modelo de programação não-linear utilizando a metodologia de Hamad & Ali (1990) modificada resultou na equação  $Z_{x,y} = 2,327 - 4,781 \cdot 10^{-6} \cdot x^5 - 0,317 \cdot y^{0,888}$ , com  $Z_{x,y}$  em m. O perfil da superfície sistematizada na direção x é côncavo e na direção y é suavemente convexo. As equações encontradas correspondem a uma relação corte/aterro igual a 1,3, com base no método dos quatro pontos. Os valores de volume total de corte e de aterro obtidos para cada um dos métodos avaliados encontram-se na Tabela 1. Verifica-se que no modelo de programação não-linear o volume total de corte e o volume total de aterro foram, respectivamente, 11,3% e 11,4% menores em relação aos valores obtidos pelo método dos quadrados mínimos. Verifica-se, portanto, que o modelo que permite a obtenção de superfície sistematizada com perfis côncavos e/ou convexos nas direções coordenadas x e y resulta em menor movimentação de terra que o método que fornece, exclusivamente, a equação do plano, uma vez que a modificação do microrelevo original é menos acentuada.

**CONCLUSÕES:** O modelo de programação não-linear utilizando a metodologia de Hamad & Ali (1990) modificada gerou uma superfície sistematizada de perfil côncavo na direção x e de perfil suavemente convexo na direção y, resultando em um volume total de corte 11,3% menor que aquele resultante da superfície plana gerada pelo método dos quadrados mínimos generalizado. Porém, o uso deste modelo de programação não-linear fica condicionado à aplicação que será dada à área sistematizada, a qual deverá ser compatível com gradiente de declive continuamente variável em uma ou nas duas direções coordenadas.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Land leveling**. Washington, USDA/Soil Conservation Service, 1959. 59p. (National Engineering Handbook. Section 15: Irrigation, 12).

HAMAD, S.N. & ALI, A.M. Land-grading design by using nonlinear programming. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, **116(2):219-26**. 1990.

SCALOPPI, E.J. & WILLARDSON, L.S. Practical land grading based upon least squares. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, **112(2)**:98-109. 1986.

Tabela 1 - Valores dos somatórios dos volumes de corte e de aterro e da relação corte/aterro para o Método dos Quadrados Mínimos Generalizado e para o Modelo de Programação Não-Linear utilizando a metodologia de Hamad & Ali (1990) modificada.

Variável	Método dos Quadrados Mínimos	Modelo de Programação Não-Linear
Somatório dos volumes de corte (m <sup>3</sup> )	520	461
Somatório dos volumes de aterro (m <sup>3</sup> )	403	357
Relação corte/aterro	1,3	1,3