

A principal vantagem do método adotado neste estudo é que o mesmo se utiliza somente de variáveis meteorológicas, além de possibilitar a avaliação da condensação e evapotranspiração através dos mesmos parâmetros. Foi claramente estimado o orvalho, mas isso só é possível desde que se utilize o método da Taxa de Bowen/Balance de Energia no máximo da resolução horária, pois o orvalho ocorre durante poucas horas do dia e em pequenas quantidades, mesmo assim, sob a influência dominante dos componentes do balanço de energia.

#### LITERATURA CITADA

- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.*, New York, v.27, p. 779-787, 1926.
- FRITSCHEN, L.J. & DORAI-SWANY, P. Dew: an addition on the hydrologic balance of Douglas fir. *Water Res.*, Washington, v. 9, p. 891-894, 1973.
- LONG, I.F. Some observations on dew. *Meteorol. Mag.*, London, v. 87, p. 161-168, 1958.
- MINTAH, C.N. A numerical model to estimate leaf wetness duration (tese de Doutorado). Ontario: University of Guelph, 1977. 101p.
- SEVERINI, M., MORICONI, M.L., & TONNA, G. Dewfall and evapotranspiration determination during day-and nighttime on an irrigated lawn. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, Amsterdam, v.17, p. 1241-1246, 1984.
- SHARMA, M.L. Contribution of dew in the hydrologic balance of semi-arid grassland. *Agric. meteorol.*, Amsterdam, v.17, p. 321-331, 1976.

#### RESUMO

Normalmente, a sistematização é feita por firmas especializadas, as quais formulam contratos de serviços com base no volume de terra a ser movimentado na área. Essa condição contratual exige a estimativa prévia do volume de corte. Este trabalho apresenta gráficos para obtenção direta dos volumes de corte e/ou aterro pelo método dos quatro pontos, considerando quadradulas padrões de 5x5, 10x10, 20x20 e 30x30 metros, e somatória das alturas de corte e/ou aterro variando de 0,0 a 1,2 metros.

**Termos para indexação:** Sistematização, método dos quatro pontos, irrigação por superfície.

SOLUÇÃO GRÁFICA PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES DE CORTE E DE ATERRAMENTO PELO MÉTODO DOS QUATRO PONTOS (1)

Durval Dourado Neto(2), Carlos Brancilides Monte Calheiros(3), Sergio Nascimento Duarte(4) & Anicésio Vieira Caixeta(5)

(1) Trabalho aceito para publicação em 14 de setembro de 1992.  
 (2) Professor Doutor. Departamento de Agricultura, ESALQ/USP. C.P. 9. 13418-900. Piracicaba, SP.  
 (3) Professor Assistente. Departamento de Agronomia. CEECA/IFAL. BR 101 Norte, Km 14, 57072-970. Maceió-AL.  
 (4) Professor Assistente. Departamento de Engenharia Rural. ESALQ/USP. C.P. 9. 13418-900. Piracicaba, SP.  
 (5) Engenheiro Civil. Mestre em Irrigação e Drenagem. SABESP. Rua Riachuelo, 115. 01007-904. São Paulo, SP.

## ESTIMATE OF THE VOLUMES OF CUT AND FILL BY THE FOUR POINTS METHOD

### ABSTRACT

Usually, the systematization is done by specialized companies, that formulate contracts based on the estimate of the volume of earth to be moved in the area. This contractual condition requires the previous estimate of the volumes of cut. This work shows a graph for obtaining volumes of cut and fill by the Four Points Method, considering standard areas of 5x5, 10x10, 20x20 and 30x30 meters and the sum of cut and/or fill varying from 0.0 to 1.2 meters.

**Index terms:** Systematization, four-point method, furrow irrigation.

### INTRODUÇÃO

Na adoção de técnica de irrigação de culturas agrícolas, o sistema de irrigação deve ser planejado para oferecer uniformidade de distribuição de água e eficiência de irrigação coerentes com o custo da tecnologia que está sendo incorporada ao sistema produtivo. No caso particular dos sistemas de irrigação por superfície, esses dois parâmetros de desempenho são influenciados, fundamentalmente, pela uniformidade do gradiente de declive do terreno.

A condição de uniformidade do gradiente de declive é, conseguida através da operação de sistematização, que deve ser planejada utilizando metodologia de cálculo pertinente.

A equação geral da superfície que melhor se adapta às condições naturais do terreno foi apresentada por HAMAD & ALI (1990), podendo ser um plano ou outra superfície qualquer, a qual é usualmente determinada pelo método dos quadrados mínimos (TULER, 1977). Após a determinação dessa superfície, torna-se necessário estimar o volume de corte. O método das áreas médias, da fórmula prismoidal, do somatório e dos quatro pontos (SCS/USDA, 1961) são os mais utilizados para esse fim.

Na sistematização há movimentação de terra das áreas com corte para as áreas com aterro. Essa operação, comumente, é feita por firmas especializadas, as quais formulam os contratos de serviços com base no volume de terra a ser movimentado na área (TULER, 1977; PIEDADE et al., 1987). Essa condição contratual sugere que o método adorado na estimativa do volume de corte e/ou de aterro

possua grande exatidão, no intuito de minimizar a perda de fertilidade do solo pelo deslocamento da camada arável (ZAGGO, 1986) e os custos do movimento de terra.

Dentre os métodos mais exatos encontram-se o das áreas médias, o dá fórmula prismoidal e o dos quatro pontos. O primeiro, devido a sua conceção, oferece maior exatidão que os outros dois. Contudo, o seu emprego, bem como o da fórmula prismoidal, só é viável através do uso de técnicas computacionais. O método dos quatro pontos, por sua vez, é de simples execução e possibilita solução gráfica, viabilizando a obtenção dos volumes de corte e/ou de aterro quando não se dispõe de técnicas computacionais, sem perder exatidão, apresentando resultados satisfatórios quando comparados com os fornecidos pelo das áreas médias. Contudo, possui a grande vantagem de ser de fácil utilização, podendo ser recomendado para estimar o volume de terra a ser movimentado na área, sem riscos de erros grosseiros (BERNARDO, 1982).

Como a exatidão e a eficiência dos cálculos da sistematização efetuados no escritório, a rigor, não são transferidos para o campo, na fase de execução, entendemos que o resultado deste trabalho trará relevante contribuição àqueles que se dedicam a essa fase, na medida em que tem a possibilidade de verificar in locu, através das soluções gráficas apresentadas, os cálculos obtidos no escritório.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma solução gráfica para a estimativa dos volumes de corte e de aterro pelo método dos quatro pontos, para quadriculas de 5x5m, 10x10m, 20x20m e 30x30m e somatório das alturas de corte e aterro variando de 0,0 a 1,2 m..

### MATERIAL E MÉTODOS

#### 1. Fundamentação teórica do método dos quatro pontos

A concepção do método dos quatro pontos para estimativa dos volumes de corte e/ou de aterro é simples. O volume de corte ( $V_c$ ,  $m^3$ ) por quadricula, é estimado multiplicando-se a área de corte ( $Ac$ ,  $m^2$ ) pela altura média de corte ( $c_m, m$ ) em cada quadricula (SCS/USDA, 1961):

$$V_c = Ac \cdot c_m \quad (1)$$

A área de corte ( $Ac$ ,  $m^2$ ) por quadricula é uma fração da área total da quadricula ( $A_t$ ,  $m^2$ ), a qual é estimada multiplicando-se essa por um fator ( $f$ , sendo  $0 \leq f \leq 1$ ), calculado pela razão entre a somatória das alturas de corte ( $S_c$ ,  $m$ ) e a soma dos somatórios das alturas de corte e de aterro ( $S_c + S_a$ ,  $m$ ), em módulo (SCS/USDA, 1961):

$$A_C = A_t \cdot f \quad (2)$$

$$A_t = D_x \cdot D_y \quad (3)$$

$$f = \frac{S_c}{S_c + S_a} \quad (4)$$

$$S_c = \sum_{i=1}^n c_i \quad (5)$$

$$S_a = \sum_{i=1}^n a_i \quad (6)$$

A altura média de corte pode assim ser calculada:

$$c_m = (1/n) \sum_{i=1}^n c_i \quad (7)$$

Sendo assim, temos que:

$$V_C = \frac{D_x \cdot D_y \cdot S_c \cdot c_m}{S_c + S_a} \quad (8)$$

Onde  $D_x$  e  $D_y$  são as distâncias entre as estacas da quadricula retangular nas direções x e y, respectivamente.

Há seis possibilidades de arranjo de alturas de corte e de aterro. Quando não há nenhuma altura de corte, o somatório é nulo e, consequentemente, a área e o volume de corte também o são (caso 6). Quando há quatro alturas de corte, o denominador no cálculo da altura média é quatro (caso 5); porém, quando há uma, duas ou três alturas de corte, o denominador deveria ser três, quatro (ou três) ou cinco, respectivamente, correspondentes aos casos 1, 2 (ou 3) ou 4, devido à geração de pontos de altura nula (Figura 1).

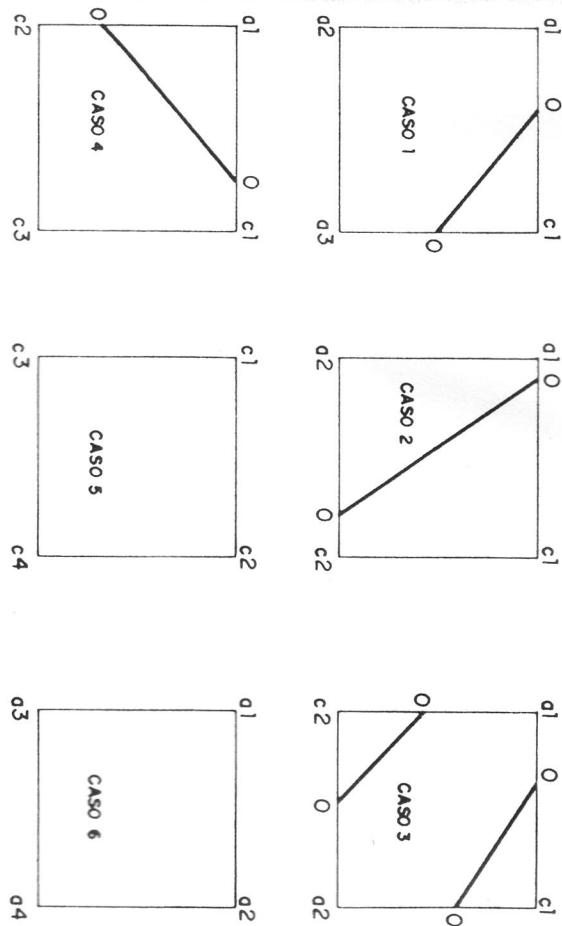


Figura 1 – Possibilidades de arranjo de alturas de corte e de aterro, na obtenção das alturas médias de corte ( $c_m$ , m).

No desenvolvimento do método dos quatro pontos, por simplicidade, adotou-se para o cálculo da altura média de corte ( $c_m$ , m) o denominador igual a quatro (SCS/USDA, 1961).

$$c_m = \frac{s_c}{4} \quad (9)$$

Com isto, toda vez que uma determinada quadricula se apresentar segundo os casos 1 ou 3, os volumes de corte serão subestimados, e quando ocorrer o caso 4, o volume será superestimado. Assume-se, portanto, que os volumes subestimados em algumas quadriculas serão compensados pelos superestimados em outras. O raciocínio é análogo para as estimativas de aterro. A rigor, a fórmula para cálculo do volume de corte ( $V_C$ ,  $m^3$ ) assumiria quatro situações distintas (Quadro 1).

**Quadro 1 – Cálculo do volume de corte ( $V_c$ , m<sup>3</sup>) por quadrícula conforme os diferentes casos.**

Caso	Expressão de cálculo
1 e 3	$V_c = \frac{Dx \cdot Dy \cdot Sc^2}{3 \cdot (Sc + Sa)}$
2 e 5	$V_c = \frac{Dx \cdot Dy \cdot Sc^2}{4 \cdot (Sc + Sa)}$
4	$V_c = \frac{Dx \cdot Dy \cdot Sc^2}{5 \cdot (Sc + Sa)}$
6	$V_c = 0$

Dessa forma, as estimativas dos volumes de corte e de aterro por quadrícula podem assim ser obtidas (SCS/USDA, 1961):

$$V_c = \frac{Dx \cdot Dy \cdot Sc^2}{4 \cdot (Sc + Sa)} \quad (10)$$

$$V_a = \frac{Dx \cdot Dy \cdot Sa^2}{4 \cdot (Sc + Sa)} \quad (11)$$

A estimativa dos volumes totais de corte ( $V_{tc}$ , m<sup>3</sup>) e de aterro ( $V_{ta}$ , m<sup>3</sup>) é feita somando os volumes de corte e de aterro das  $n$  quadridículas existentes (SCS/USDA, 1961):

$$V_{ct} = \sum_{i=1}^n V_{ci} \quad (12)$$

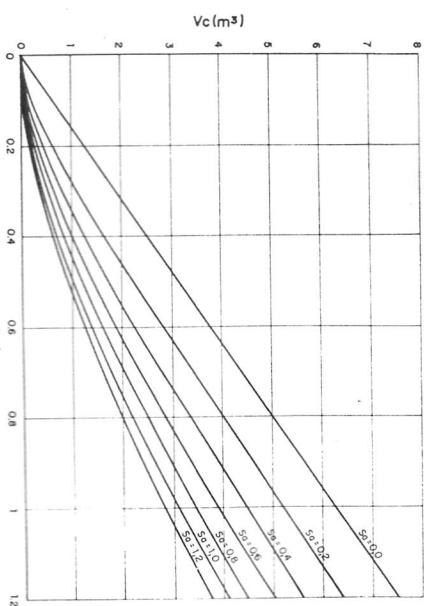
$$V_{at} = \sum_{i=1}^n V_{ai} \quad (13)$$

## 2. Solução gráfica

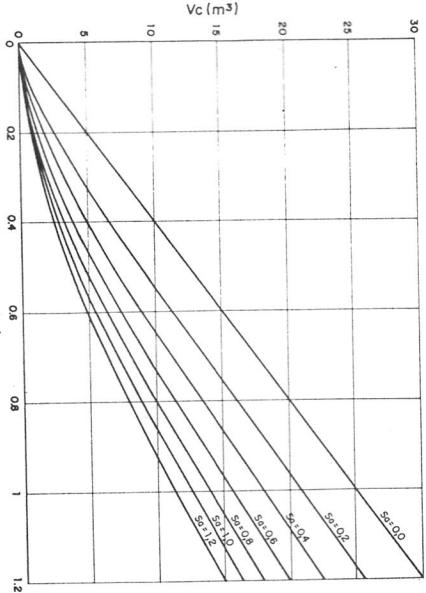
Foram estabelecidas quatro dimensões de quadridículas: 5x5m, 10x10m, 20x20m e 30x30m para elaboração dos gráficos, onde a somatória das alturas de corte e aterro variam de 0,0 a 1,2m.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as quadridículas mais usuais, para os espaçamentos tídos como padrões em função de situações práticas modais, foram obtidas soluções gráficas específicas (Figuras 2 a 5), que servirão de valiosas ferramenta para trabalho de campo.



**Figura 2 –** Estimativa pelo método dos quatro pontos, utilizando procedimento gráfico, do volume de corte ( $V_c$ , m<sup>3</sup>), em função da soma das alturas de corte ( $Sc$ , m) e de aterro ( $Sa$ , m), para espaçamentos nas direções x e y de 5 metros.



**Figura 3 –** Estimativa pelo método dos quatro pontos, utilizando procedimento gráfico, do volume de corte ( $V_c$ , m<sup>3</sup>) em função da soma das alturas de corte ( $Sc$ , m) e de aterro ( $Sa$ , m), para espaçamentos nas direções x e y de 10 metros.

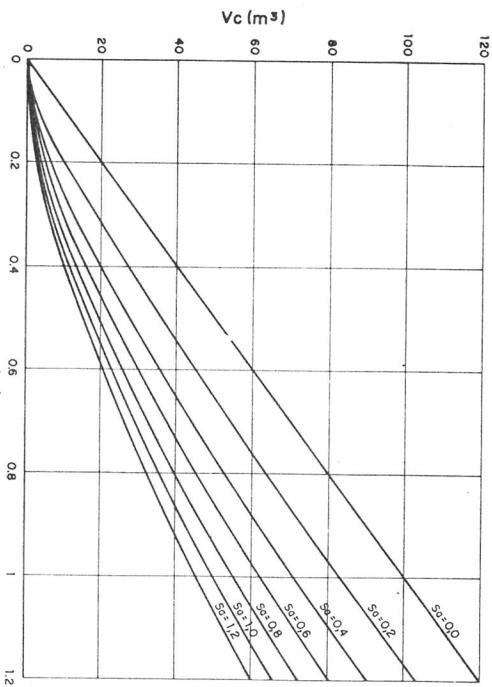


Figura 4 — Estimativa pelo método dos quatro pontos, utilizando procedimento gráfico, do volume de corte ( $V_c$ ,  $m^3$ ), em função da soma das alturas de corte ( $S_c$ , m) e de aterro ( $S_a$ , m), para espaçamentos nas direções x e y de 20 metros.

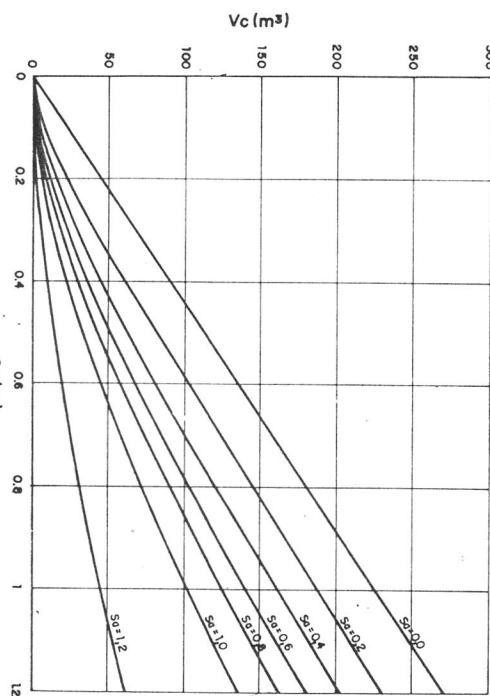


Figura 5 — Estimativa pelo método dos quatro pontos, utilizando procedimento gráfico, do volume de corte ( $V_c$ ,  $m^3$ ), em função da soma das alturas de corte ( $S_c$ , m) e de aterro ( $S_a$ , m), para espaçamentos nas direções x e y de 30 metros.

Objetivando expressar a estimativa dos volumes de corte e de aterro pelo método dos quatro pontos em forma gráfica, constata-se que o termo  $Dx.Dy/4$  varia conforme o espaçamento utilizado, tornando-se, portanto, inviável abranger todos os casos.

Na maioria das situações, em função das condições do terreno, na concepção do método dos quatro pontos, assume-se que os volumes de corte subestimados (casos 2 e 3) sejam compensados pelos volumes superestimados (caso 4).

O método dos quatro pontos é uma boa ferramenta para estimar o volume de corte (SCS/USDA, 1961; BERNARDO, 1982), devido à sua facilidade de utilização. O método gráfico proposto auxilia a determinação do volume de corte por quadricula viabilizando o acompanhamento *in loco*, na fase de execução, por técnicos de campo.

#### LITERATURA CITADA

- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa: Imprensa Universitária da U.F.V., 1982. 463p.
- HAMAD, S.N. & ALI, A.M. Land-graing design by using nonlinear programming. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 116(2):219-26, 1990.
- PIEDEDE, G.C.R.; BENEZ, S.H.; FURLANI JÚNIOR, J.A. & GAMERO, C.A. Sistematização de terras e aspectos de operação e manutenção. Brasília, 1987. 65p. (ABEAS, Curso de Engenharia da Irrigação, Módulo VIII).
- SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS/USDA). Land leveling. Washington: United States Department of Agriculture, 1961. 59p. (Section 15, Chapter 12).
- TULER, J. C. Comparação de espaçamentos entre estacas e métodos de cálculo na sistematização de terrenos para irrigação. Viçosa: 1977. 33p. (Tese — M.S.).
- ZAGGO, S.P. Eficiência de irrigação permanente, em tabuleiros de encosta, e efeitos de sistematização do terreno e de lâmina d'água na cultura de arroz. Viçosa: 1986. 57p. (Tese — M.S.).