

## COMPARAÇÃO DE ESPAÇAMENTOS ENTRE ESTACAS E MÉTODOS DE CÁLCULOS NA SISTEMATIZAÇÃO DE TERRENOS PARA IRRIGAÇÃO\*

José Cláudio Tuler  
Salassier Bernardo  
Manoel Vieira  
Gilberto Chohaku Sediyama\*\*

### 1. INTRODUÇÃO

Sistematizar um terreno para irrigação consiste em colocar a superfície desse terreno em planos uniformes, com declividades adequadas, para que se possa obter boa distribuição da água.

De modo geral, a conformação das terras agricultáveis com potencial para irrigação é irregular. Quando se faz irrigação por sulco ou por faixa sem sistematização, a água tende a acumular-se nos pontos mais baixos, causando baixa uniformidade de distribuição. O rendimento das culturas diminui, em razão da deficiência de umidade no solo nas partes mais altas e excesso dessa umidade nas mais baixas, o que dificulta o cultivo.

Para a consecução de melhores resultados, deve-se fazer, prioritariamente, a sistematização do terreno, o que permitirá irrigações mais uniformes, drenagem superficial, controle mais eficiente da erosão e maior eficiência na operação de cultivos mecânicos.

Antes de sistematizar um terreno, deve-se levar em consideração uma série de fatores, que irão limitar ou não a execução do projeto. Os principais fatores são: solo, topografia, clima, método de irrigação e práticas agrícolas.

\* Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, como uma das exigências do Curso de Engenharia Agrícola para a obtenção do título de «Magister Scientiae».

\*\* Recebido para publicação em 28/12/1977.

Respectivamente, Auxiliar de Ensino, Professor Titular, Professor Assistente e Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa.

Os trabalhos de campo e de escritório, necessários aos cálculos do volume de cortes e aterros, somente serão realizados após estudos detalhados de todos esses fatores, uma vez determinado que o terreno permite uma sistematização. No cálculo dos volumes de cortes e aterros procura-se minimizar ao máximo as profundidades de cortes e aterros, a fim de que os investimentos na sistematização do terreno sejam economicamente viáveis para a empresa agrícola. Para que não haja formação de áreas de baixa fertilidade, deve-se evitar, sempre que possível, a remoção total do horizonte A do solo.

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos de métodos de cálculos da sistematização e dos espaçamentos entre estacas sobre o volume de cortes e aterros calculados.

Dentre os fatores que devem ser considerados antes de se fazer uma sistematização, pode-se dizer que os dois mais importantes são o solo e a topografia, que devem ser bem estudados.

Vários trabalhos têm mostrado que a profundidade do solo é, muitas vezes, um fator limitante da sistematização (2, 4, 5, 6, 7, 10).

RODRIGUEZ (8) cita que, logo após uma sistematização, todos os terrenos, mesmo naqueles em que se observaram importantes fatores de solo, tais como textura, estrutura, profundidade, fertilidade, permeabilidade e erodibilidade, produzem rendimentos mais baixos, nos dois primeiros anos, que os não submetidos a essa técnica. A razão da baixa produção é a exposição do subsolo de baixa fertilidade. Segundo o U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (10), a profundidade do solo pode influenciar a sistematização, impedindo, algumas vezes, cortes profundos, ou mesmo limitar a sistematização do terreno (10, 6).

O segundo fator, a topografia, pode limitar, em grande parte, a sistematização. Quanto mais acidentado for o relevo, maior será a limitação para a sistematização, pois aumentará, proporcionalmente, o volume de cortes e aterros.

Entre estacas, o espaçamento recomendável deve ser tanto menor quanto maior for a irregularidade do relevo e a precisão (exatidão) desejada na sistematização. Espaçamentos de 10m x 10m a 30m x 30m têm sido recomendados por vários autores (8, 7, 10, 2, 1, 11).

Para determinações dos volumes de cortes e aterros necessários à sistematização utilizam-se métodos de cálculos. BERNARDO (2) cita a existência de vários métodos de cálculos para a sistematização. Apresenta o método do centróide como sendo básico, sem maiores informações com relação aos outros. Estudos realizados por RODRIGUEZ (8) não indicam qual deva ser o método utilizado, embora o autor tenha trabalhado com três deles, como exemplos de cálculos. Segundo MARR (7), a escolha do método de cálculo é função do sistema de irrigação que se vai usar e, de acordo com U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (10), cada método tem vantagens e desvantagens; se usados inteligentemente, porém, todos darão resultados satisfatórios. ZIMMERMAN (12) recomenda a escolha do método em função do domínio do operador.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

São vários os métodos utilizados no cálculo da sistematização. Dentre eles, os mais usados são os métodos dos quadrados mínimos, do centróide, dos momentos e do plano único. Este trabalho estuda o efeito desses quatro métodos e de diferentes espaçamentos entre estacas sobre o volume de cortes e aterros.

Para este estudo foram utilizadas quatro áreas, de 1,6200 ha cada uma. Duas delas fornecem dados de leituras de mira no nivelamento feitas diretamente no campo. As outras duas áreas são formadas pelo arranjoamento, ao acaso, de várias

subáreas das duas áreas de leituras diretas. Os trabalhos topográficos foram feitos utilizando-se processos convencionais de demarcação e nívelamento.

Todas as áreas foram retangulares, como recomenda MARR (7), o que facilita os trabalhos de campo e de escritório. Áreas não retangulares devem ser evitadas ao máximo, segundo eles. As áreas localizadas no Campus da Universidade Federal de Viçosa receberam estaqueamentos de 2m x 2m, 6m x 6m, 10m x 10m, 18m x 18m e 30m x 30m. O espaçamento 2m x 2m foi considerado padrão.

Obtidos os dados de leituras de mira no nívelamento, para cada espaçamento, passou-se aos cálculos das cotas do terreno em cada estaca. Um programa de computador (FORTRAN IV) que fornece diretamente volumes de cortes e aterros num espaçamento determinado foi desenvolvido para cada método.

Segue-se uma descrição dos métodos utilizados, com os respectivos formulários. Os títulos dos métodos de cálculos variam de autor para autor, porém aqui eles vêm colocados de acordo com a maioria dos trabalhos existentes sobre o assunto.

### 2.1. Método dos Quadros Mínimos

Este método fornece um plano de nívelamento que passa pelo centróide, plano este que determinará uma declividade uniforme, em direção longitudinal e transversal, que melhor se adapte à conformação topográfica do terreno, com menor movimento de terra. Todo terreno tem vários planos que passam pelo centróide e compensam os cortes e aterros; somente um deles tem a característica de que a soma dos quadrados das distâncias entre as cotas naturais do terreno e as cotas do plano sejam mínimas. Este plano é o que representa menor movimento de terra (2, 4, 7, 8, 9).

Os símbolos usados estão de acordo com uma coletânea geral, feita na literatura, relacionada com o assunto «sistematização de terrenos».

Este método é definido pelas seguintes fórmulas:

#### I. Cota do centróide:

$$H_C = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{ij}}{N} \quad (1)$$

em que

$H_C$  — cota do centróide (m),

$H_{ij}$  — cotas do terreno (m),

$i$  — coeficiente das linhas,

$n$  — número total de linhas,

$m$  — número total de colunas,

$N$  — número total de estacas.

#### II. Posição do centróide:

##### . Na direção das colunas:

$$P_Y = \frac{\sum_{i=1}^n (i \cdot m)}{N} \quad (2)$$

. Na direção das linhas:

$$p_X = \frac{\sum_{j=1}^m (j \cdot n)}{N} \quad (3)$$

em que

$P_Y$  — posição do centróide na direção das colunas,

$P_X$  — posição do centróide na direção das linhas.

### III. Declividades do terreno e cota da origem:

Para as determinações das declividades e da cota da origem, neste método, as fórmulas foram obtidas da solução clássica de regressão linear múltipla. Os parâmetros são obtidos por meio de cálculo matricial, segundo o seguinte esquema, em que

$[I]$  — matriz das declividades e cota da origem,

$a$  — cota da origem (m),

$I_Y$  — declividade do terreno na direção das colunas (m/m),

$I_X$  — declividade do terreno na direção das linhas (m/m),

$[X]$  — matriz dos coeficientes,

$[H]$  — matriz das cotas,

sendo

$$[I] = \begin{bmatrix} X' & \cdot & X \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X' & \cdot & H \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 1 & m \\ 1 & 2 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 2 & m \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & n & m \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & n & m \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x' & \dots & x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & m \cdot \sum_{i=1}^n i & n \cdot \sum_{j=1}^m j \\ m \cdot \sum_{i=1}^n i & m \cdot \sum_{i=1}^n i^2 & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i j \\ \sum_{j=1}^m j & \sum_{i=j}^n \sum_{j=1}^m i j & n \cdot \sum_{j=1}^m j^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x' & \dots & H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n & \sum_{j=1}^m H_{i,j} \\ \sum_{i=1}^n & \sum_{j=1}^m (i \cdot H_{i,j}) \\ \sum_{i=1}^n & \sum_{j=1}^m (j \cdot H_{i,j}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ I_Y \\ I_X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' & \dots & x \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x' & \dots & H \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$h_{ij} = a + (I_Y \cdot i) + (I_X \cdot j) \quad (9)$$

IV. Cotas calculadas para sistematização:

$$h_{ij} = a + (I_Y \cdot i) + (I_X \cdot j)$$

em que

$h_{ij}$  — cotas calculadas para sistematização (m).

V. Cálculo das alturas dos cortes e aterros:

$$b = H_{ij} - h_{ij} \quad \begin{cases} + & \text{(positivo)} \\ - & \text{(negativo)} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Cortes (C)} \\ \text{Aterros (A)} \end{array} \quad (10)$$

em que

$b$  = alturas de cortes ou aterros calculados (m).

## VI. Relação entre cortes e aterros:

$$R = \frac{\sum_{t=1}^k C_t}{\sum_{z=1}^w A_z} \quad (11)$$

em que

R — relação entre corte e aterros,  
 t — número de ordem das estacas de cortes,  
 k — total de estacas de cortes,  
 C<sub>t</sub> — altura de corte em cada estaca (m),  
 z — número de ordem das estacas de aterros,  
 w — total de estacas de aterros,  
 A<sub>z</sub> — altura de aterro em cada estaca (m).

## VII. Reajuste dos cortes e aterros:

Este reajuste é necessário quando a relação entre cortes e aterros não se aproxima do valor escolhido, que, em geral, está entre 1,30 e 1,60. O volume de cortes deve ser superior ao volume de aterros, por causa da compactação do solo logo após uma sistematização.

O reajuste para uma relação de 1,30 é obtido por

$$\Delta = \left| \frac{(1,30 \cdot \sum_{z=1}^w A_z) - \sum_{t=1}^k C_t}{k + (1,30 \cdot w)} \right| \quad (12)$$

Se a relação R foi maior que 1,30, todas as cotas calculadas devem ser somadas à correção  $\Delta$ . Se R foi menor que 1,30, deve-se subtrair de todas as cotas calculadas a correção  $\Delta$ .

Então:

$$K_{ij} = h_{ij} \pm \Delta \quad (13)$$

em que

$\Delta$  — reajuste devido aos cortes e aterros (m) e  
 K<sub>ij</sub> — cotas calculadas compensadas (m).

## VIII. Cálculo dos cortes e aterros reajustados:

$$d = h_{ij} - K_{ij} \begin{cases} +(\text{positivo}) \rightarrow C \text{ (cortes corrigidos)} \\ -(\text{negativo}) \rightarrow A \text{ (aterros corrigidos)} \end{cases} \quad (14)$$

em que

d — altura dos cortes ou aterros reajustados (m).

## IX. Cálculo do volume de cortes:

$$S = s \cdot N \quad (15)$$

$$s = L \cdot L \quad (16)$$

$$v = \left( \sum_{t=1}^r C_t \right) \cdot s \quad (17)$$

$$V = \frac{v}{S} \cdot 10.000 \quad (18)$$

em que

$S$  — área total do terreno ( $m^2$ ),

$s$  — área da quadrícula ( $m^2$ ),

$L$  — espaçamento entre estacas (m),

$v$  — volume de cortes ( $m^3$ ),

$r$  — total de estacas de cortes reajustados,

$V$  — volume de corte por hectare ( $m^3/ha$ ).

## 2.2. Método dos Momentos

O método dos momentos é baseado no cálculo dos momentos na direção das colunas e na direção das linhas, fornecendo um plano com declividades longitudinal e transversal que corresponde ao menor movimento possível da camada agrícola (3, 4).

Este método é definido pelas fórmulas:

Para os cálculos da cota e das posições do centróide, utilizam-se, respectivamente, as expressões 1, 2 e 3, de maneira análoga à anterior.

Para as declividades do terreno:

. Na direção das colunas:

$$I_Y = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i \cdot \bar{H}_i) - \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot \sum_{i=1}^n \bar{H}_i}{n}}{\sum_{i=1}^n (i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n i)^2}{n}}}{(19)}$$

. Na direção das linhas:

$$I_X = \frac{\frac{\sum_{j=1}^m (j \cdot \bar{H}_j) - \frac{\sum_{j=1}^m j \cdot \sum_{j=1}^m \bar{H}_j}{m}}{\sum_{j=1}^m (j)^2 - \frac{(\sum_{j=1}^m j)^2}{m}}}{(20)}$$

em que

$\bar{H}_j$  — média das cotas das colunas (m) e  
 $\bar{H}_i$  — média das cotas das linhas (m),  
dadas por

$$\bar{H}_j = \frac{\sum_{i=1}^n H_{ij}}{n} \quad (21)$$

$$\bar{H}_i = \frac{\sum_{j=1}^m H_{ij}}{m} \quad (22)$$

Para a cota da origem:

$$a = H_C - (I_Y + P_Y) - (I_X + P_X) \quad (23)$$

Para as cotas calculadas:

$$h_{ij} = a + (I_Y + j) + (I_X + i) \quad (24)$$

Para cálculo das alturas de cortes e de aterros, da relação entre cortes e aterros, do reajuste dos cortes e aterros, dos cortes e aterros reajustados e dos volumes dos cortes, utilizam-se, respectivamente, as expressões 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, e 18, dos mesmo modo que foram usadas anteriormente.

### 2.3. Método do Plano Único

Este método é baseado num plano único que passa pelo centróide da área e reduz o terreno a ser nivelado a uma superfície plana, com declives uniformes, com um volume de cortes mínimo. Para definí-lo, utilizam-se as fórmulas que se vêem abaixo:

Quanto ao cálculo da cota e posições do centróide, utilizam-se, respectivamente, as expressões 1, 2 e 3, como nos métodos anteriores.

Para as declividades do terreno, as fórmulas utilizadas são:

. Na direção das colunas:

$$I_Y = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n (i \cdot \bar{H}_i) - 6 \cdot (n + 1) \cdot \sum_{i=1}^n \bar{H}_i}{(n - 1) \cdot n \cdot (n + 1)} \quad (25)$$

. Na direção das linhas:

$$I_X = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^m (j - \bar{H}_j) - 6 \cdot (m + 1) \cdot \sum_{j=1}^m \bar{H}_j}{(m - 1) \cdot m \cdot (m + 1)} \quad (26)$$

Para cota de origem, cotas calculadas para sistematização, cálculo dos cortes e aterros, relação entre cortes e aterros, reajuste dos cortes e aterros, cálculo dos cortes e aterros reajustados e volumes de cortes, utilizam-se, respectivamente, as expressões 23, 24, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, de maneira análoga aos métodos anteriores.

#### 2.4. Método do Centróide

O método do centróide é uma adaptação do método dos momentos e utiliza somente as médias da primeira e última colunas e primeira e última linhas para determinação das declividades na direção das colunas e das linhas. É dispensável, portanto, o estaqueamento de toda a área.

Define-se melhor com as seguintes fórmulas:

Para a cota e as posições do centróide utilizam-se as expressões 1, 2 e 3, da mesma maneira que foram utilizadas nos métodos anteriores.

Quanto às declividades do terreno:

. Na direção das colunas:

$$I_Y = \frac{\frac{\sum_{j=1}^m H_{nj}}{m} - \frac{\sum_{j=1}^m H_{1j}}{m}}{n - 1} \quad (27)$$

em que

$H_{nj}$  — cotas do terreno na última linha (m),

$H_{1j}$  — cotas do terreno na primeira linha (m).

. Na direção das linhas:

$$I_X = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n H_{im}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n H_{i1}}{n}}{m - 1} \quad (28)$$

em que

$H_{im}$  — cotas do terreno na última coluna (m),

$H_{i1}$  — cotas do terreno na primeira coluna (m).

Para as cotas calculadas para sistematização:

$$h_{ij} = H_c + I_Y \cdot (j - P_Y) + I_X \cdot (i - P_X) \quad (29)$$

No cálculo dos cortes e aterros, da relação entre cortes e aterros, do reajuste dos cortes e aterros, dos cortes e aterros reajustados e dos volumes de cortes, utilizam-se, respectivamente, as expressões 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, como nos métodos anteriores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, estudaram-se quatro métodos de cálculos para a sistematização,

apresentados na literatura como métodos distintos, com fórmulas diferentes para determinação das declividades dos terrenos. Efetuados os cálculos, verificou-se que os resultados finais apresentaram valores iguais para os métodos dos quadrados mínimos, dos momentos e do plano único. O método do centróide apresentou valores numéricos diferentes (Quadro 1).

QUADRO 1 - Resultados dos cálculos feitos para volume de cortes para todos os métodos de cálculos, em  $m^3$  por hectare

Terre- nos	Métodos de Cálculos	Espaçamentos entre estacas (m x m)				
		2 x 2	6 x 6	10x10	18x18	30x30
Quadrados mí- nímos						
1	Momentos	2290	2305	2272	2447	2156
	Plano único	2290	2305	2272	2447	2156
	Centróide	2415	2394	2398	2544	2156
Quadrados mí- nímos						
2	Momentos	1677	1568	1583	1389	919
	Plano único	1677	1568	1583	1389	919
	Centróide	2095	1819	1729	1384	914
Quadrados mí- nímos						
3	Momentos	3203	3185	3082	3053	3042
	Plano único	3203	3185	3082	3053	3042
	Centróide	3272	3245	3088	3060	3042
Quadrados mí- nímos						
4	Momentos	2609	2577	2679	2299	1958
	Plano único	2609	2577	2679	2299	1958
	Centróide	2831	2830	2838	2319	1949

Baseando-se nos resultados observados, fez-se uma análise matemática dos três métodos que apresentaram valores iguais. Nessa análise foram utilizadas as expressões 4, 19 e 25, já que as diferenças aparentes verificadas entre os três métodos estão nas determinações das declividades do terreno. A análise foi feita para a

declividade na direção de  $Y$ , mas na direção de  $X$  a análise é análoga.

Para a demonstração, partiu-se da expressão

$$H_{ij} - \bar{H}_{ij} = I_X \cdot (i - \bar{i}) + I_Y \cdot (j - \bar{j}) + e_{ij} \quad (30)$$

$e_{ij}$  — erro (m),

$\bar{i}$  — média dos coeficientes das linhas,

$\bar{j}$  — média dos coeficientes das colunas.

sendo

$$H_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot (i - \bar{i}) + \alpha_2 \cdot (j - \bar{j}) + e_{ij} \quad (31)$$

em que

$$H_c = \alpha_0$$

$$I_Y = \alpha_1$$

$$I_X = \alpha_2$$

A solução que minimiza a soma dos quadrados dos desvios será

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X' & X \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X' & H \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & (1 - \bar{i}) & (1 - \bar{j}) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & (1 - \bar{i}) & (m - \bar{j}) \\ 1 & (2 - \bar{i}) & (1 - \bar{j}) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & (2 - \bar{i}) & (m - \bar{j}) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & (n - \bar{i}) & (1 - \bar{j}) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & (n - \bar{i}) & (m - \bar{j}) \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$\left[ \begin{matrix} X' \cdot X \end{matrix} \right] = \left[ \begin{matrix} n \cdot m & m \cdot \sum_{i=1}^n (i - \bar{i}) & n \cdot \sum_{j=1}^m (j - \bar{j}) \\ m \cdot \sum_{i=1}^n (i - \bar{i}) & m \cdot \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2 & n \cdot \sum_{i=1}^n (i - \bar{i}) \cdot \sum_{j=1}^m (j - \bar{j}) \\ n \cdot \sum_{j=1}^m (j - \bar{j}) & \sum_{i=1}^n (i - \bar{i}) \cdot \sum_{j=1}^m (j - \bar{j}) & n \cdot \sum_{j=1}^m (j - \bar{j})^2 \end{matrix} \right] \quad (34)$$

Como a soma dos desvios em relação à média é zero, ter-se-á

$$\left[ \begin{matrix} X' \cdot X \end{matrix} \right] = \left[ \begin{matrix} n \cdot m & 0 & 0 \\ 0 & m \cdot \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2 & 0 \\ 0 & 0 & n \cdot \sum_{j=1}^m (j - \bar{j})^2 \end{matrix} \right] \quad (35)$$

$$\left[ \begin{matrix} X' \cdot X \end{matrix} \right]^{-1} = \left[ \begin{matrix} \frac{1}{n \cdot m} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m \cdot \sum_{i=1}^n i^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n i}{n}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{n \cdot \sum_{j=1}^m j^2 \cdot \frac{\sum_{j=1}^m j}{m}} \end{matrix} \right] \quad (36)$$

$$\left[ \begin{matrix} X' \cdot H \end{matrix} \right] = \left[ \begin{matrix} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{ij} & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (i - \bar{i}) \cdot H_{ij} \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (i - \bar{i}) \cdot H_{ij} & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (j - \bar{j}) \cdot H_{ij} \end{matrix} \right] \quad (37)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_0 &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{ij}}{n \cdot m} \\
 \alpha_1 &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (i - \bar{i}) \cdot H_{ij}}{m \cdot \sum_{i=1}^n i^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n i^2}{n}} \\
 \alpha_2 &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (j - \bar{j}) \cdot H_{ij}}{n \cdot \sum_{j=1}^m j^2 \cdot \frac{\sum_{j=1}^m j^2}{m}}
 \end{aligned} \tag{38}$$

então:

$$I_Y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i \cdot H_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \bar{i} \cdot H_{ij}}{m \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (i)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n i \right)^2}{n} \right]} \tag{39}$$

Substituindo-se, nessa equação, a expressão 22, obtém-se a expressão 19, que é utilizada no cálculo da declividade na direção das colunas no método dos momentos.

Tomando-se essa última forma da expressão 39, e sabendo-se que

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n i &= \frac{n \cdot (n + 1)}{2}, \quad \sum_{i=1}^n (i)^2 = \frac{n \cdot (n+1) \cdot (2n+1)}{6}, \quad \left( \sum_{i=1}^n i \right)^2 = \\
 &\quad \sum_{i=1}^n i \cdot \bar{H}_i \cdot \frac{(n+1) \cdot \sum_{i=1}^n \bar{H}_i}{6} \\
 \frac{n^2 \cdot (n+1)^2}{4}, \quad I_Y &= \frac{2}{\frac{n \cdot (n + 1) \cdot (2n + 1)}{6} \cdot \frac{n \cdot (n + 1)^2}{4}}
 \end{aligned} \tag{40}$$

Da resolução da expressão 40 chegou-se à expressão 25, utilizada no cálculo da declividade na direção das colunas no método do plano único, comprovando-se, assim, a igualdade dos três métodos, que, logicamente, fornecerão resultados iguais de volumes de cortes. Apenas utilizam diferentes formulações para a equação do cálculo da declividade.

*Comparação dos Métodos:* Para análises posteriores serão utilizados somente valores de um dos três métodos que são iguais e do método do centróide, que apresenta valores numéricos diferentes (Quadro 2).

QUADRO 2 - Resultados dos cálculos feitos para volume de cortes, em  $m^3$

Terre- nos	Métodos para cálculos	Espaçamentos entre estacas (m x m)				
		2 x 2	6 x 6	10x10	18x18	30x30
1	Quadrados míni- mos, Momentos e Plano único	2290	2305	2272	2447	2156
	Centróide	2415	2394	2398	2544	2156
2	Quadrados míni- mos, Momentos e Plano único	1677	1568	1583	1389	919
	Centróide	2095	1819	1729	1384	914
3	Quadrados míni- mos, Momentos e Plano único	3203	3185	3082	3053	3042
	Centróide	3272	3245	3088	3060	3042
4	Quadrados míni- mos, Momentos e Plano único	2609	2577	2679	2299	1958
	Centróide	2831	2830	2838	2319	1949

Observou-se que, para cada espaçamento, o volume de cortes foi diferente. A razão desse resultado é o tamanho da quadrícula. Normalmente, há depressões e/ou elevações dentro da área da quadrícula representada pela estaca. Se a estaca for colocada numa depressão ou numa elevação do terreno, a cota não representará a altura média da quadrícula, mas um valor que tende para o irreal.

Feita a análise de variância, verificou-se que o fator espaçamento foi significativo, ao nível de 1% de probabilidade, e que o fator método não apresentou significância. Observou-se também que não houve interação significativa entre esses dois fatores (método-espaçamento).

Pela análise estatística dos dados verificou-se que, para as áreas estudadas, embora os valores numéricos provenientes dos cálculos pelo método de centróide

fossem diferentes, os quatro métodos são estatisticamente iguais, para determinado espaçamento.

Para espaçamento, foi feito um teste de médias (teste de Duncan), cujos resultados mostraram-se, todos, significativos, ao nível de 1% de probabilidade.

Observada essa significância e uma tendência dos resultados para uma reta, fez-se uma regressão linear entre as médias dos volumes de cortes encontrados e as médias dos respectivos espaçamentos, chegando-se à seguinte equação de regressão e coeficiente de determinação:

$$V = 2.616 - 19.L$$

$$r^2 = 0,97$$

Substituindo os valores dos espaçamentos usados na equação de regressão, obteve-se o gráfico da Figura 1. Com esse gráfico pode-se determinar qual o volume de cortes esperado para qualquer espaçamento entre 2m x 2m e 30m x 30m ou mesmo determinar qual foi o erro cometido, relacionando-se um valor encontrado em determinado espaçamento com o valor encontrado no espaçamento 2m x 2m (padrão).

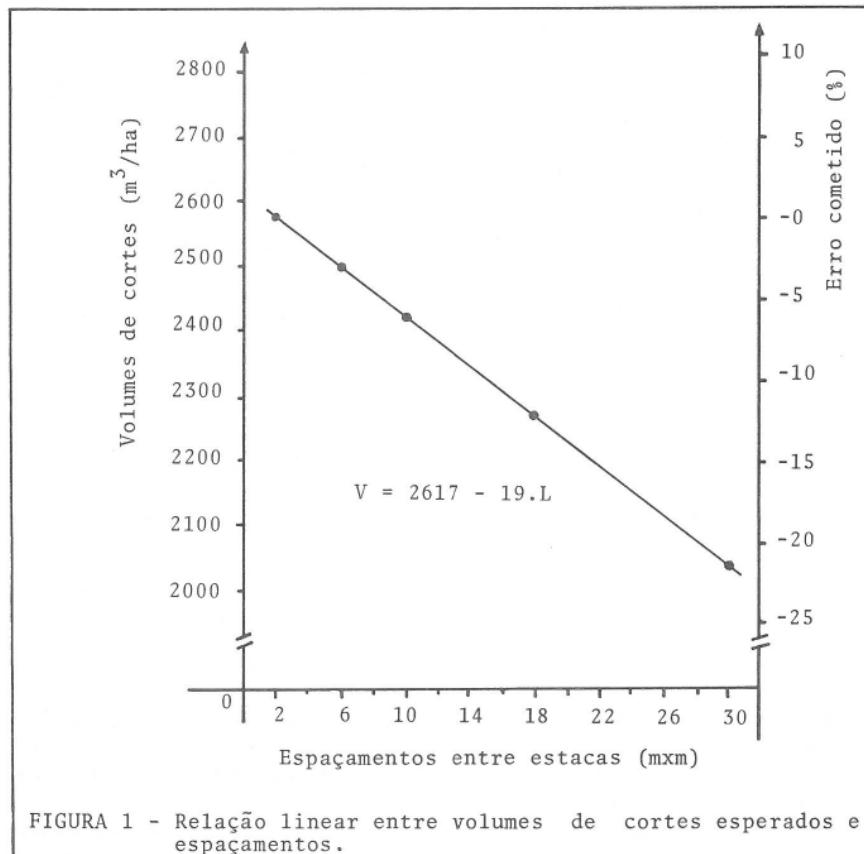


FIGURA 1 - Relação linear entre volumes de cortes esperados e espaçamentos.

Pelo coeficiente de determinação  $r^2$ , verifica-se que 97% das variações em volume de cortes são explicados pela variação no espaçamento.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Cálculos dos volumes de cortes são comuns quando se quer sistematizar um terreno para obter melhores resultados na irrigação por superfície. O preço da sistematização é quase sempre calculado em função dos volumes de cortes.

Neste trabalho, procurou-se estudar o efeito de métodos de cálculos da sistematização e do espaçamento entre estacas sobre os volumes dos cortes e aterros calculados.

Para tal, utilizaram-se quatro áreas, de 1,6200 ha cada uma. Duas delas forneceram dados de leituras de mira feitas diretamente no campo e as outras duas foram formadas com dados, tomados ao acaso, das duas anteriores. Cada área foi estakeada de 2m x 2m, 6m x 6m, 10m x 10m, 18m x 18m e 30m x 30m. O estakeamento de 2m x 2m foi considerado padrão. Para quatro métodos de cálculos da sistematização, isto é, o método dos quadrados mínimos, o método dos momentos, o método do plano único e o método do centróide, foi elaborado um programa para computador.

Os resultados obtidos mostraram que três dos quatro métodos (quadrados mínimos, plano único e momentos) forneciam diferentes valores numéricos iguais e apenas um (centróide) fornecia valores diferentes. A análise matemática dos três métodos provou a identidade deles.

Para análise de variância foram elaborados somente os resultados de um dos três métodos iguais e do método do centróide. Foi feito um teste de médias (Duncan) entre as médias dos volumes de cortes, e os resultados se mostraram significativos, ao nível de 1% de probabilidade.

A análise de regressão linear entre as médias dos volumes de cortes encontrados e os respectivos espaçamentos permitiu determinar o volume de corte esperado para espaçamentos de 2m x 2m a 30m x 30m. Em função da equação de regressão linear, pode-se determinar qual o erro cometido quando se usa determinado espaçamento, relacionado com o espaçamento 2m x 2m.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

Não houve diferença significativa entre a utilização de qualquer um dos métodos de cálculos.

Não houve interação significativa entre os fatores espaçamentos e métodos.

O erro cometido nas determinações de volumes de cortes foi tanto maior quanto maior foi o espaçamento entre estacas.

O volume de cortes decresceu com o aumento de espaçamentos entre estacas.

A análise matemática mostrou que os métodos dos quadrados mínimos, dos momentos e do plano único são idênticos.

#### 5. SUMMARY

A study was made of the effect of land grading computation methods and staking intervals on the calculated volumes of cutting and land filling. Methods compared were the least square method, method of moments, the unique plane method and the centroid method.

Calculations were based on four areas of 1,62 ha each, two used for reading taken directly in the field and the others composed of data taken randomly from the first two. Each area had staking of 2m x 2m, 6m x 6m, 10m x 10m, 18m x 18m and 30m x 30m.

Comparison of the computed volumes of cutting and the mathematical analysis of the methods showed that three of them the least square method, the method of moments and the unique plane method were identical, although these three used different equations to calculate the land grade. When compared by the Duncan means test, the mean volumes of cutting for the four methods differed significantly at the 1% level.

Linear regression analysis showed that the error in the determination of the volumes of the cuts increased as the staking interval increased. The volume of cuts decreased as staking interval increased. There was no significant method-staking interval interaction.

#### 6. LITERATURA CITADA

1. BARRIOS, J. *Sistematização de terras para irrigação*. Petrolina, MINTER-OEAGEIDA — SUDENE — IICA, 1973. 29 p.
2. BERNARDO, S. *Sistematização de terrenos para irrigação superficial*. Viçosa, Universidade Federal, 1976. 17 p. (Série Técnica — Boletim 48).
3. BRANDÃO, J.C. *Sistematização do Solo*. Programa de Treinamento em Irrigação. Petrolina, MINTER-OEA, 1975. 36 p.
4. GATTIS, J., KOCH, K.A. & McVEY, J.L. *Land grading for surface irrigation*. Agricultural Extension Service, University of Arkansas College of Agriculture and Home Economics, 1959. 29 p. (Circular 491).
5. HAGAN, R.M., HOUSTON, C.E. & ALLISON, S.V. *A irrigação bem sucedida*. Rio de Janeiro, SUVALE-ABCAR, 1973. 55 p.
6. LOMA, J.L. de la. *Nivelación de las tierras para el riego*. México, Secretaria de Recursos Hídricos, 1960. 8 p. (Memorandum Técnico n.º 160).
7. MARR, J.C. *Grading land for surface irrigation*. Division of Agricultural Sciences, University of California, 1957. 25 p. (Circular 438).
8. RODRIGUEZ, F.A. Preparo de solos para irrigação por métodos de superfície. In: *Curso de Especialização em Irrigação*. Belo Horizonte, D.E.H., UFMG, 1973. 1.º vol., p. 295-382.
9. SCARDUA, R. Sistematização do terreno. In: *Irrigação*. 2.ª ed. Piracicaba, Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, 1974. p. 153-193.
10. U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. Land Leveling. In: *Irrigation*. Washington, United States Department of Agriculture, 1961. 59 p.
11. VIEIRA FILHO, J.O., PINTO, E.M., CORDEIRO, G.G., BEZERRA, E., CABRAL, F.F.C.O., SOUZA, C.M. & ALBUQUERQUE, J.A.S. *Estudo Comparativo de três métodos de nivelamento de terras para irrigação*. Petrolina, GEIDA-SUDENE-OEA-IICA, 1973. 20 p.
12. ZIMMERMAN, J.D. Nivelación de tierras. In: *El Riego*. México, Compañía Editorial Continental S.A., 1970. pp. 241-251.