



EMBRAPA

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO

SISTEMATIZAÇÃO DO SOLO PARA IRRIGAÇÃO

ASPECTOS GERAIS E MÉTODOS

Arnóbio A. de Magalhães

Renato Jácome Manzan

Hamilton M. de Azevedo

1982

Petrolina, PE

Doação

I CURSO SOBRE MANEJO DE SOLO E ÁGUA
EM PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO

Período: 4 a 29 de outubro de 1982

SISTEMATIZAÇÃO DO SOLO PARA IRRIGAÇÃO
ASPECTOS GERAIS E MÉTODOS

Arnóbio A. de Magalhães
Renato Jácome Manzan
Hamilton M. de Azevedo

1982
Petrolina, PE

Sistematização do solo para
1982 LV - 1983.00317



CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO

CPATSA

SISTEMATIZAÇÃO DO SOLO PARA IRRIGAÇÃO
ASPECTOS GERAIS E MÉTODOS¹

Arnóbio A. de Magalhães

Renato Jácome Maizán

Hamilton M. de Azevedo

¹Trabalho reproduzido para o I Curso sobre Manejo de Solo e Água em Propriedades Agrícolas do Trópico Semi-Árido.

ÍNDICE

<u>ASSUNTOS:</u>	<u>PÁGINAS:</u>
I - Generalidades.....	1
II- Conceito.....	2
-Gráus de sistematização.....	2
-Tipos de sistematização.....	3
III- Benefícios e Limitações da Sistematização.....	4
IV - Fatores a serem considerados num Projeto de Sistematização do Solo para Irrigação.....	5
a -Características físicas do solo e seu perfil..	5
b -Topografia e Método de Irrigação.....	6
c -Culturas selecionadas e suas possibilidades Agro-econômicas.....	10
d -Conservação dos solos e drenagem.....	10
e -Mecanização.....	11
f -Disponibilidade de água para irrigação.....	11
V - Fases do Planejamento de Projetos de Sistematização.....	12
1 -Reconhecimento.....	12
2 -Desmatamento e Limpeza do Terreno.....	12
3 -Locação direta no terreno.....	13
4 -Levantamento Plani-altimétrico.....	13
- quadriculagem.....	13
5 -Desenho.....	16
- Posição do Centróide.....	18
- Altura do Centróide.....	21
- Área do terreno.....	21
6 -Projeto de Nivelamento.....	22
- Densidade do solo.....	22

- Expansão volumétrica ou Empolamento do solo	22
- Compactibilidade.....	22
6-1- Determinação das cotas do projeto.....	23
6-2- Planilha de corte-aterro.....	28
6-3- Correção de cortes e aterros.....	28
6-4- Cotas corrigidas finais.....	32
6-5- Notação em Planta.....	33
6-6- Cálculo do Volume de terra.....	35
VI - Demarcação do Projeto em Campo.....	36
VII- Execução do Projeto de Sistematização.....	37
VIII-Organização do Orçamento.....	40
-Tempo de Ciclo.....	41
-Tempo Fixo.....	42
-Tempo Variável.....	42
-Redução dos tempos fixo e variável.....	43
-Produção das máquinas.....	44
-Número de scrapers servidos por tratores empur radores.....	45
-Capacidade de transporte por lâminas.....	45
-Produção dos tratores em desmatamento.....	46
-Produção das máquinas de compactação.....	46
-Produção das Niveladoras.....	47
-Produção da Pá Carregadeira.....	48
-Produção de caminhões basculantes.....	48
-Exemplo proposto.....	48
IX - Métodos de Nivelamento de solos para irrigação..	49
1 -Método do Quadrado Mínimo.....	50
1-1-altura do centróide.....	51
1-2-localização do centróide.....	52
1-3-cálculo da declividade melhor adaptada...	52

1-4-determinação das cotas calculadas.....	54
1-5-ajuste de cortes e aterros.....	55
1-6-cálculo do movimento de terra.....	57
2- Método do Centróide.....	58
2-1-determinação das cotas calculadas.....	58
2-2-ajuste de cortes e aterros.....	59
2-3-cálculo do movimento de terra.....	60
3- Método dos Momentos.....	61
3-1-determinação das cotas calculadas.....	64
4- Método das teclas de Piano.....	65
4-1-cálculo das teclas.....	66
4-2-determinação da cota calculada.....	68
4-3-ajuste de cortes e aterros.....	69
4-4-cálculo do movimento de terra.....	72
5- Método Expedito.....	72

I - GENERALIDADES

A modernização da Agricultura, baseada principalmente na racionalização de práticas pertinentes á produção de bens de consumo, exige, entre outros, de uma alta eficiência no emprego de insumos, da preservação dos recursos naturais envolvidos e da mecanização, tanto quanto possível, das práticas agrícolas exigidas.

E do maior ou menor grau de regularização do terreno, dependerá uma maior ou menor possibilidade de atendermos às exigências da racionalização.

Em se tratando de agricultura irrigada, podemos admitir que somente os métodos de irrigação superficiais exigiriam uma uniformização do terreno.

Entretanto, em se tratando de agricultura irrigada e mecanizada, mesmo para métodos de irrigação não superficiais, a mecanização pode se tornar fator limitante, exigindo um grau mínimo de uniformização do terreno, para que as máquinas tenham um desempenho satisfatório.

Mas aqui o problema seria resolvido com uma simples suavização ou aplainamento do terreno, aliado a métodos de irrigação não superficiais.

O nivelamento do solo seria praticado somente quando o método de irrigação é que se tornasse fator limitante. E o seria nos métodos superficiais, onde, por ser a água aplicada ao longo da superfície do solo, seria exigida uma declividade uniforme e limitada, visando sua maior eficiência de aplicação e racionalização de sua distribuição e drenagem.

Mecanização e sistematização do solo para irrigação são dois itens contraditórios, e o método de sistematiz

zação selecionado deve conciliar as exigências em eficiência e técnica de ambas.

II - CONCEITO

Sistematização é a arte de escavar, transportar e compactar a terra, ou simplesmente move-la e aplainá-la, modificando a configuração do terreno, com o fim de tornar sua superfície com declividades uniformes, em uma ou duas direções, proporcionando uma eficiente aplicação da água de irrigação.

Simplificando (4), consiste em se preparar o terreno para o método de irrigação que se pretende implantar visando uma maior uniformização e eficiência na aplicação da água.

Conforme a regularização e uniformização original do terreno, podemos distinguir os trabalhos necessários, à sistematização, em (2) (4) (5):

a- Aplainamento ou Alisamento do Solo - Usado quando a topografia original é regular, exigindo apenas sua uniformização, o que se consegue apenas com o auxílio de escarificações (Tratores de esteira ou Patrol, adaptados com escarificadores, gradagens, etc), e passadas, sempre em sentido cruzado à passada anterior, de Patrol (Motoniveladora), ou de Niveladoras Mecânicas (Marvin, Land-Leveler, etc.).

b- Desmonte e/ou Aterro - Usado quando a topografia original é regular, mas apresentando pequenas elevações ou depressões, esparsas, exigindo apenas o desmonte das elevações e/ou aterro das depressões, o que se faz com o auxílio de tratores de esteira (bulldozer), e o acabamento dado com Patrol ou Niveladoras.

c- Nivelamento ou Terraplenagem - Usada quando a topografia original é irregular e desuniforme, exigindo o movimento de terra, o que se consegue com o auxílio de tratores de esteira, Scraper (Tournapull) e/ou Madal e/ou Pá Carregadeira e Caminhão Basculante, e o acabamento dado com Patrol ou Niveladoras.

Conforme os resultados obtidos da sistematização, poderíamos agrupá-los nos seguintes tipos de Sistematização (1):

Tipo A - Declividade longitudinal inferior a 0,2% e transversal nula, prestando-se o terreno para irrigação por qualquer método.

Tipo B - Declividade longitudinal inferior a 1% e transversal inferior a 0,3%, prestando-se também para a irrigação por qualquer método, observando-se e atendendo os requisitos de cada um.

Tipo C - Declividade longitudinal razoavelmente uniforme, inferior a 5%, e declividade transversal uniforme, variável, inferior a 0,5%. São irrigáveis por sulcos retos ou em contorno, corrugação ou faixas de escoamento estreitas e plantadas com forrageiras.

Tipo D - Declividade longitudinal variável, inferior a 8%, sem aclives ou trechos horizontais, e transversal uniforme ou variável, inferior a 0,5%. São irrigáveis somente por sulcos em contorno ou corrugação.

Tipo E - Declividade longitudinal variável, inferior a 8%, e declividade transversal uniforme ou variável, superior a 0,5%. Também irrigável somente por sulcos em contorno ou corrugação.

Obs. -As declividades longitudinais se referem ao sentido da irrigação, e as transversais em sentido perpendicular a ele.

III - BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DA SISTEMATIZAÇÃO

Como benefícios da sistematização do solo, podemos citar (2) (4) :

- Possibilidade de irrigação por métodos superficiais, com maior eficiência no controle e aplicação da água;
- Melhora a drenagem superficial do solo;
- Diminui a erosão do solo e proporciona uma menor lixiviação de fertilizantes;
- Proporciona uma maior economia de mão-de-obra;
- Melhor eficiência de irrigação, proporcionando uma economia de água ou ampliação da área irrigada;
- Desde que bem planejada, favorecerá a mecanização ou tornará sua operação mais eficiente;
- Proporciona uma densidade mais uniforme no plantio e aumento na produção;

Como fatores que poderão limitar a sistematização do solo, podemos citar: (7) (12) :

- Alto custo inicial;
- Possibilidade de expor o sub-solo infértil;
- Mesmo não expondo o sub-solo, haverá queda temporária de produção nas zonas de cortes.

IV - FATORES A SEREM CONSIDERADOS NUM PROJETO DE SISTEMATIZAÇÃO DO SOLO PARA IRRIGAÇÃO.

Antecedendo o planejamento de um projeto de Sistematização, devemos ter em mente os fatores que poderão limitar a Sistematização ou que nos indicarão tanto o grau de Sistematização possível como de suas possibilidades técnicas e econômicas.

Podemos resumir estes fatores em (5):

- a- características físicas do solo e seu perfil;
- b- culturas selecionadas e suas possibilidades agro-econômicas;
- b- topografia e método de irrigação;
- d- conservação dos solos e drenagem;
- e- mecanização;
- f- Disponibilidade de água para irrigação.

Quanto ao solo, devemos determinar sua fertilidade, textura, estrutura e velocidade de infiltração.

As características do perfil do solo nos indicará o grau de sistematização permitido, sem expor o sub-solo infértil.

Em solos profundos e homogêneos, podemos proceder qualquer grau de Sistematização, desde que não se exponha o sub-solo. Mesmo não expondo, as zonas de cortes necessitarão de adubações corretivas, pelo menos nos primeiros anos de exploração.

Em solos rasos ou heterogêneos, somente o aplainamento e o desmorte seriam aconselhados.

Neste caso, para se proceder o nivelamento, tor

na-se necessário que todo o solo seja retirado e armazenado fora da área, feita a terraplenagem no sub-solo e posteriormente voltamos com o solo para sua posição original (4).

Esta operação seria extremamente cara e só justificada em condições especiais.

Em solos salinos ou o emprego de águas salinas poderá impor um maior grau de sistematização, pois a lixiviação dos sais requer alta eficiência de aplicação da água.

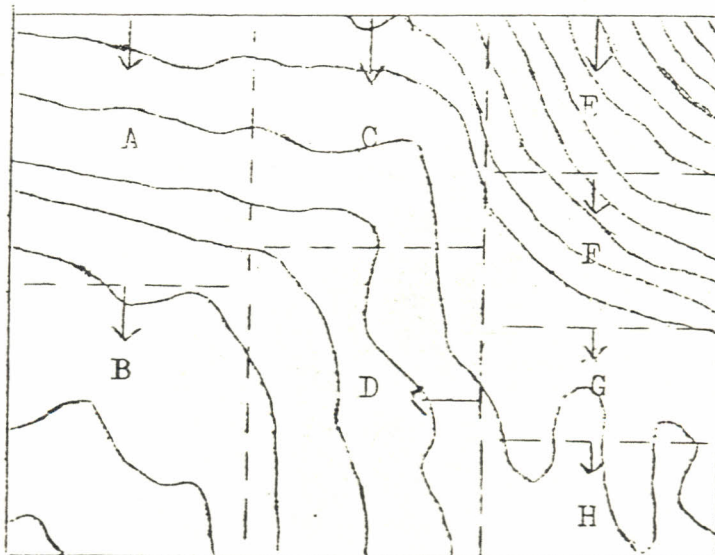
A topografia, aliada ao método de irrigação selecionado, nos indicará o grau de sistematização requerido, bem como das possibilidades econômicas da execução dos trabalhos.

Em terrenos de grande área e topografia desuniforme, seria aconselhado a sub-divisão do terreno em parcelas menores, de topografia mais uniforme, para reduzir o movimento de terra.

A figura I mostra, segundo Marr, 1957 - pág. 16 (4), a divisão de uma área, de acordo com as características topográficas do terreno, a fim de diminuir o movimento de terra e permitir uma melhor distribuição da água, considerando-se a irrigação por infiltração, inundação ou por escoamento superficial.

FIGURA I

Ponto mais alto



ponto mais baixo

Em A e B, para separar mudanças bruscas de declive, cada parcela é preparada com a declividade mais próxima da do terreno. A área A se presta para a irrigação por sulcos retos e a B por melgas retas.

Em C e D, para conseguir declives mais uniformes em cada parcela e para mudar o sentido da irrigação. Prestan-se também para a irrigação por sulcos e melgas retas, respectivamente.

Em E e F, por ser a declividade muito forte, é conveniente ter pequenas parcelas a fim de diminuir o movimento de terra necessário á redução de declive. Poderiam ser irrigadas por sulcos em contorno, melgas em contorno ou corrugação.

Em G e H, por ser a declividade muito pequena, é também conveniente reduzir as parcelas, para diminuir o movimento de terra necessário ao aumento do declive. São irrigáveis por melgas retas ou submersão.

Estas parcelas devem ser, preferivelmente, quadradas ou retangulares, para facilitar as irrigações e o manejo de máquinas.

É uma das observações mais importantes num projeto de sistematização do solo.

A observação das curvas de nível no terreno nos indicará: (1) (4) e (5).

- Diferenças entre o espaçamento das curvas indica mudanças de declive, que pode marcar um limite de sub-áreas, (A e B);

- Mudanças bruscas de direção das curvas de nível indicam troca da direção do declive (C e D);

- Curvas de nível muito pertos ou afastadas uma

das outras indicam altas ou baixas declividades, respectivamente. Neste caso é conveniente reduzir o comprimento longitudinal das parcelas (E, F, G e H);

- Irregularidades em espaçamento e direção das curvas de nível impossibilitam uma correta subdivisão da área. Neste caso deve a área ser nivelada em um plano único.

- Curvas de nível muito perto uma das outras ou excessivamente irregulares, podem indicar a não conveniência do nivelamento. Seria mais aconselhado o aplainamento da área, e a adoção da irrigação por sulcos em contorno, corrugação ou outro método mais adequado.

Nos métodos superficiais de irrigação, os testes de comprimento e largura de sulcos e faixas, em função da declividade do terreno e tipo de solo, além de nos oferecer as declividades uniformes a se dar ao nivelamento, nos indicará ainda as possibilidades de divisão da área em parcelas de nivelamento, conforme exemplificado na figura I.

A seguir, apresentamos algumas condições limites a serem respeitadas nos projetos de sistematização (4), levando-se em conta as exigências do método de irrigação superficial, e a viabilidade de execução dos trabalhos de sistematização.

Em outras palavras, a sistematização só seria economicamente viável, para cada método de irrigação, se as declividades resultantes estiverem dentro dos seguintes limites:

INFILTRAÇÃO:

- Sulcos retos: Devem ter um declive longitudinal menor que 1,5%, com ideal entre 0,2 e 0,3%. No sentido transversal deve ser menor

que 1%, devendo estar entre 0,2 e 0,3%. Presta-se a qualquer tipo de solo irrigável, devendo ser evitados os extremamente permeáveis, o que é característica da irrigação superficial. É empregado para a irrigação de culturas em fileira, hortaliças e pomares.

- **Corrugação:** Declive longitudinal entre 0,5 e 20%, com ideal entre 1 e 2%. O declive transversal deve estar abaixo de 0,5%. Prestam-se para qualquer solo irrigável superficialmente. É empregado na irrigação de cereais e pastagens.
- **Sulcos em Contorno:** Declive longitudinal inferior a 1,5%, com ideal entre 0,2 e 0,3%. O declive transversal deve ser inferior a 8%, adotando-se práticas de defesa à erosão nos canais de distribuição. Pode ser usado em qualquer tipo de solo irrigável superficialmente. É empregado para a irrigação de culturas plantadas em fileira e pomares.
- **Infiltração Inundação:** Declive longitudinal inferior a 2,5% e declive transversal ideal inferior a 0,5%. Também usado em qualquer tipo de solo irrigável por métodos superficiais. É empregado na irrigação de pomares.

INUNDAÇÃO:

- **Transbordamento de canais em Contorno:** Declive longitudinal inferior a 12% e transversal obedecendo a topografia natural do terreno, devendo ser a mais uniforme possível. Presta-se à irri

gação em qualquer tipo de solo irrigável superficialmente. É empregado para a irrigação de pastagens e cereais.

- Escoamento Superficial: Declive longitudinal inferior a 1,5%, devendo estar entre 0,2 e 0,4%. O declive transversal pode ter uma ligeira inclinação, normalmente inferior a 0,2%, mas o ideal é que seja nula. É empregado na irrigação de pastagens, cereais e cana.
- Submersão: Declive longitudinal inferior a 1%. O declive transversal pode ser ligeiramente inclinado, mas isto acarretaria na construção de tabuleiros pequenos e de difícil manejo. O ideal é que seja nula. Só usada para solos com baixa infiltração básica, inferior a 3 cm/h. Normalmente são solos que apresentam sub-solo impermeável a menos de 1m de profundidade. A única cultura comercial que suporta a inundação permanente é o arroz. É também muito empregado para a irrigação de pastagens, em inundações periódicas, em rotação com a cultura do arroz.

As culturas selecionadas podem ser encaradas sob três aspectos.

O primeiro se relaciona com a época que se pretende explorar a cultura. Se no período chuvoso, com irrigações complementares, as poucas irrigações necessárias não justificariam os gastos com rívelamento. Se em período seco, onde as irrigações seriam totais, a alta eficiência de aplicação, advin

da da sistematização, poderia justificar os gastos com o nivelamento.

O segundo aspecto se relaciona com as possibilidades agro-econômicas da cultura selecionada. Se culturas intensivas, de alto valor econômico, poderíamos proceder ao nivelamento. Caso contrário, deveríamos atentar para outros graus de sistematização, ou simplesmente adotar outros métodos de irrigação, adaptáveis às condições adversas do solo.

O terceiro aspecto se relaciona com os métodos de irrigação susceptíveis de se empregar na cultura selecionada e dentre eles selecionarmos o que melhor conciliar "eficiência de rega" versus "menor movimento de terra".

A sistematização pode ainda ser executada visando-se um melhor manejo do solo, principalmente para se evitar erosões ou lixiviações excessivas de fertilizantes, bem como a de melhorar as condições de drenagem superficial.

A mecanização poderá se tornar possível na área sistematizada, ou termos sua eficiência de operação bastante aumentada, desde que a sistematização tenha sido projetada prevendo-se este fator.

Se há pouca disponibilidade de água para irrigação, o nivelamento é justificado, uma vez que, quanto mais uniforme estiver a área, maior eficiência de aplicação da água será conseguida, e conseqüentemente menores perdas de água por escoamento superficial ou lixiviação se verificarão.

Se as condições analisadas são adversas, seria mais aconselhado adotar outro método de irrigação e/ou uma cultura menos exigente ao preparo do terreno.

V - FASES DO PLANEJAMENTO DE PROJETOS DE SISTEMATIZAÇÃO

1 - RECONHECIMENTO - É sempre aconselhável se fazer um reconhecimento do terreno a sistematizar, antes mesmo da escolha do método de irrigação ou da cultura a explorar.

Neste reconhecimento, além dos dados necessários à irrigação, bem como da definição do método a adotar, já observaríamos a necessidade de sistematização e em que grau ela deveria se processar.

A seleção do método de irrigação deve levar em conta, entre outros, fatores relacionados à cultura a ser irrigada, textura e perfil do solo, agro-economia, clima, disponibilidade de mão-de-obra, etc., sendo função direta da topografia e, por que não dizer, do grau de sistematização necessário para acondicionar o solo a cada método.

Sem nenhuma dúvida, a cultura a se explorar deve ser o primeiro fator a se considerar, e, a seguir, uma análise conjunta dos demais fatores nos dará o método mais aconselhado para irrigação.

A topografia original do terreno influirá diretamente nesta seleção, pois, da eficiência de irrigação pretendida e do grau de sistematização necessário ao acondicionamento do solo, é que se poderá executar a análise econômica da exploração.

Entretanto, são todos fatores importantes e devem ser analisados cuidadosamente e em conjunto.

2 - DESMATAAMENTO E LIMPEZA DO TERRENO - Quando o terreno a sofrer terraplenagem estiver coberto por vegetação, faz-se necessário o desmatamento da área. Este deverá ser feito anteri

ormente e não durante a sistematização, para facilitar os serviços de topografia e melhor orientação do operador.

Este desmatamento deve ser seguido de uma limpeza geral do terreno, incluindo-se a destoca, desenraizamento, pequenos troncos desmontes, etc.

É aconselhável que, após o desmatamento e limpeza, o terreno seja gradeado e sofra algumas passadas da niveladora, antes de se proceder a demarcação ou o levantamento topográfico.

Isto facilitaria as locações ou levantamentos topográficos e aumentaria o rendimento das máquinas necessárias à execução do nivelamento.

O reconhecimento e escolha do método de irrigação deveriam ser reconfirmados após o desmatamento e limpeza.

3 - LOCAÇÃO DIRETA NO TERRENO - Caso a necessidade de sistematização seja somente de Aplainamento ou Desmonte e/ou Aterro, a infraestrutura de irrigação poderá ser locada diretamente no terreno e os trabalhos de sistematização orientados na execução, sem necessidade de projeto prévio com maiores detalhes.

4 - LEVANTAMENTO PLANI-ALTIMÉTRICO - Caso o terreno seja muito desuniforme, exigindo um nivelamento prévio para adaptá-lo ao método de irrigação selecionado, ou sendo a área a irrigar muito grande, mesmo exigindo apenas simples aplainamentos ou Desmontes e/ou aterros, é de toda conveniência que se proceda um levantamento plani-altimétrico da área e se projete em planta a irrigação e a sistematização.

Este nivelamento é executado sobre um estaqueamento prévio (quadriculagem), com estacas distantes de 10, 20 30 ou 40 metros umas das outras, conforme a configuração e de

clive da área e da exatidão que se deseja nos trabalhos.

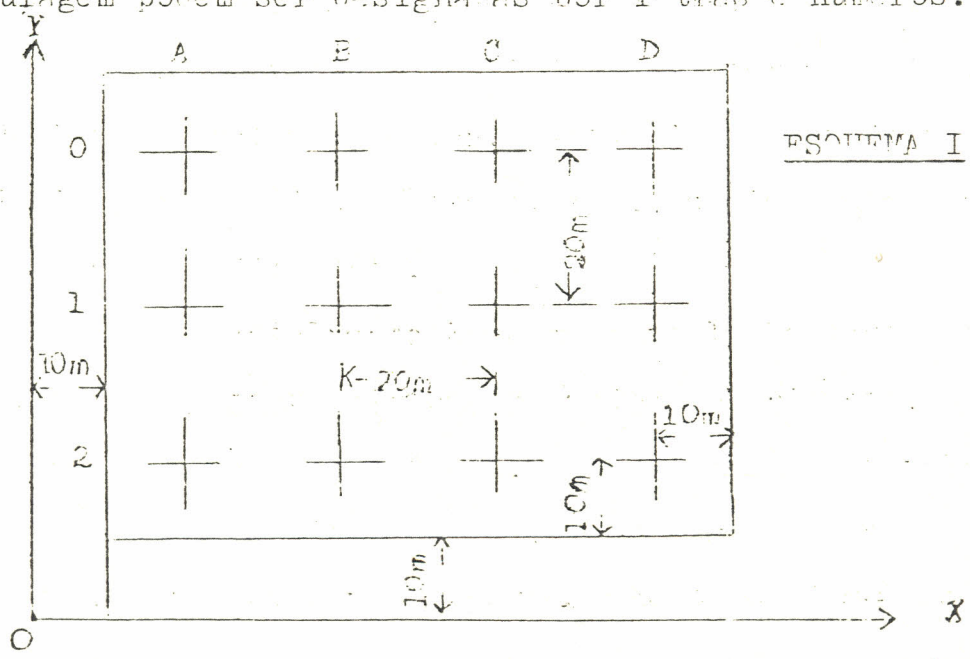
Os pontos da quadriculagem devem ser fixados com piquete, colocando-se uma estaca de referência ao lado, a qual traz o número do piquete (A-0, B-2, etc), e outras informações que se fizerem necessárias.

O mais comum nestes levantamentos é o espaçamento de 20 em 20 metros, com leituras intermediárias, caso algum declive ou relevo o exija. Inclusive, dependendo das declividades longitudinal e transversal, a distância nas duas direções pode ser diferente.

Inicialmente lançamos uma linha mestra ou principal, normalmente na direção do maior comprimento, com a distância entre estacas desejadas, e procedemos ao nivelamento.

A seguir lançamos, a partir de cada estaca da linha principal, secções transversais, perpendiculares a esta, e nivelamos.

As estacas periféricas devem ter, até a periferia do terreno, a metade da distância usada na quadriculagem, conforme mostrado no esquema I. As linhas e colunas da quadriculagem podem ser designadas por letras e números.



No nivelamento devemos tomar o cuidado de colocar a mira no pé da estaca (sobre o piquete), bem como deve-se evitar o nivelamento em terrenos arados e mal gradeados.

As leituras do nivelamento são anotadas em cadernetas de campo especiais e calculadas em escritório, conforme mostra a tabela I.

TABELA I

Linha Básica

ESTACA	LEITURA		PREFÉRÊNCIA	COTA	OBSERVAÇÕES
	RE	VANTE			
A	3,36	-	100,36	100,00	
B	3,1	3,14	"	100,22	Estaqueamento
C	-	2,89	"	100,47	de 20 em 20
D	-	2,54	"	100,82	metros
Seção transversal A:					
A-0	2,86	-	102,86	100,00	Estaqueamento
A-1	-	2,44	"	100,42	de 20 em 20
A-2	-	2,13	"	100,73	metros.
Seção transversal B:					
B-0	2,62	-	102,84	100,22	" "
B-1	-	2,41	"	100,43	
B-2	-	2,16	"	100,68	

continua...

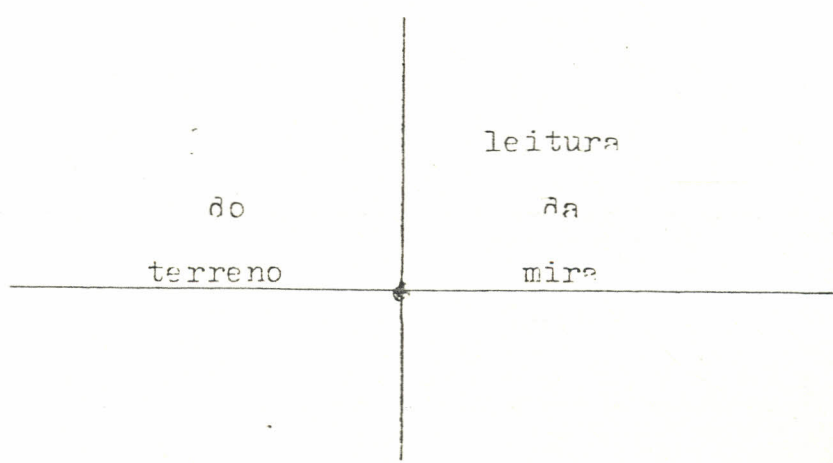
Secção transversal C:

ESTACA	LEITURA		REFERÊNCIA	COTA	OBSERVAÇÕES
	RÉ	VANTE			
C-0	2,96	-	103,43	100,47	Estaqueamento de 20 em 20m.
C-1	-	2,91	-	100,52	
C-2	-	2,67	-	100,76	
Secção transversal D:					
D-0	2,26	-	103,08	100,08	" "
D-1	-	1,82	-	101,26	
D-2	-	1,55	-	101,53	

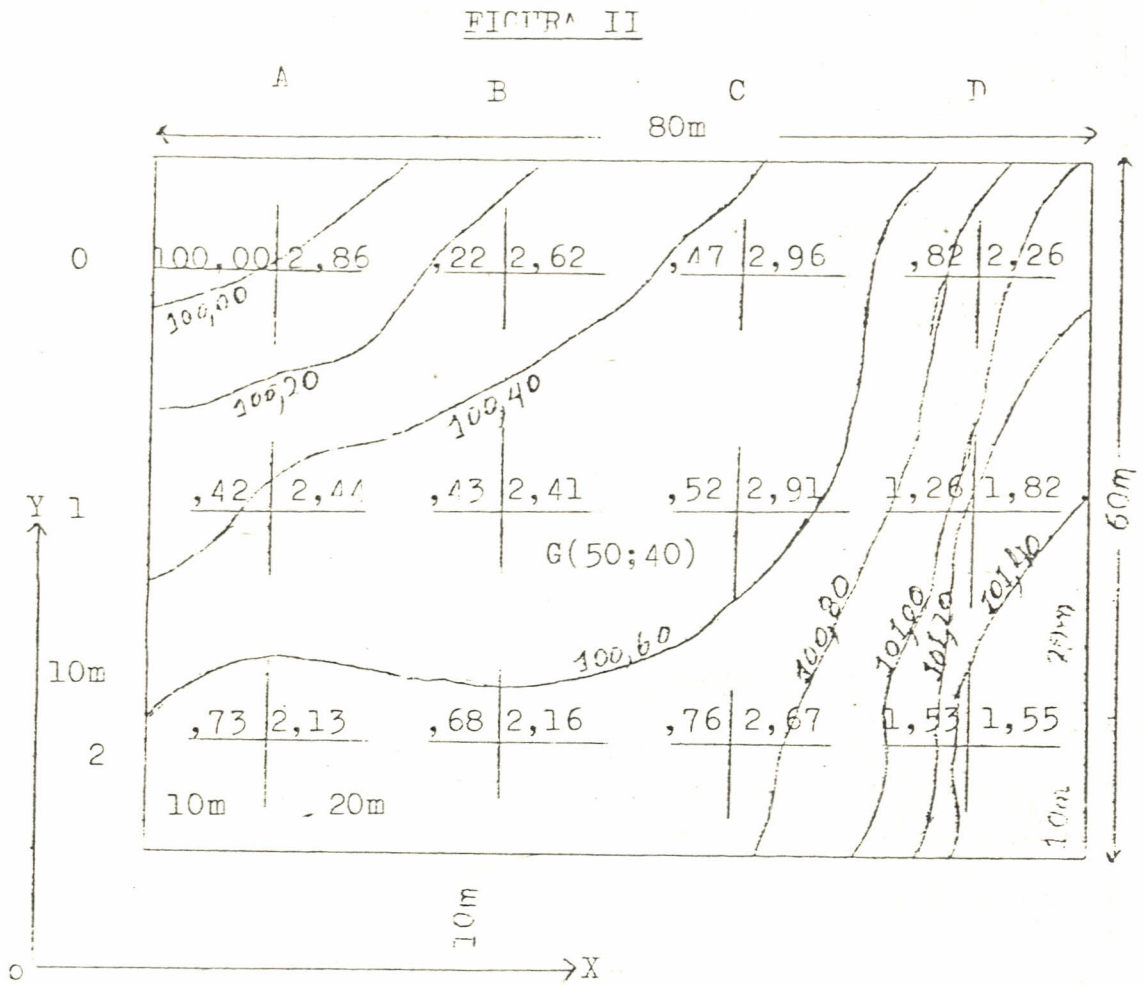
5 - DESENHO - De posse das cadernetas de campo calculadas, procedemos ao desenho da área, em uma escala conveniente à sua finalidade e de acordo com a precisão desejada. Nesta planta devem constar a posição de estradas, cercas, benfeitorias, etc., bem como a posição do estaqueamento estabelecido pela quadriculagem (esquema I).

Sobre cada estaca da quadriculagem anotamos a leitura de mira verificada no levantamento topografico (tabela I), e a respectiva cota determinada para cada estaca, conformemostrado no esquema II.

ESQUEMA II



Após, interpolamos as curvas de nível e obtemos a planta plani-altimétrica da área, conforme mostrado na figura II.



Aqui, se houver conveniência, fazemos a divisão da área em parcelas de nivelamento, conforme discutido anteriormente.

As curvas de nível, para uma melhor visualização, devem ter os seguintes espaçamentos verticais, em função das declividades do terreno (4):

Declividade do Terreno (%)	Espacamento Vertical (cm)
0 - 1	5 - 15
1 - 2	15 - 30
2 - 5	30 - 50
5 - 10	50 - 150

Para a irrigação por submersão seria conveniente que o espaçamento das curvas de nível fosse o mesmo que se pretende dar entre talhas.

Os dados referentes a esta área e que nos serão úteis nos projetos de nivelamento, são:

POSICÃO DO CENTRÓIDE: Se refere ao centro de gravidade ou centro geométrico da área.

Em áreas quadradas ou retangulares ele coincide com o cruzamento das diagonais. Em áreas triangulares, com o cruzamento das medianas.

Em áreas geométricas compostas, seria determinado a partir das fórmulas:

Coordenadas do centróide $G(X;Y)$

$$X = \frac{\sum (X_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

$$Y = \frac{\sum (Y_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

Em que:

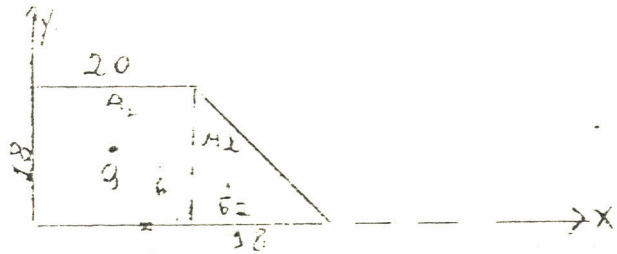
X = abcissa do centróide;

Y_i = ordenada dos centróides das parcelas;

X_i = abcissas dos centróides das parcelas que compõem a área;

A_i = Áreas das parcelas, para as quais se tomou as abcissas ou ordenadas;

Exemplo:



$$A1 = 20 \cdot 18 = 360$$

$$A2 = 18 \cdot 18/2 = 162$$

$$C1(X1;Y1) ; C2(X2;Y2) : C(X;Y)$$

$$X1 = 10; Y1 = 9$$

$$X2 = 20 + 18/3 = 26; Y2 = 18/3 = 6$$

$$X = (X1 \cdot A1 + X2 \cdot A2) / (A1 + A2)$$

$$X = (10 \cdot 360 + 26 \cdot 162) / (360 + 162)$$

$$X = 14,97$$

$$Y = (Y1 \cdot A1 + Y2 \cdot A2) / (A1 + A2)$$

$$Y = (9 \cdot 360 + 6 \cdot 162) / (360 + 162)$$

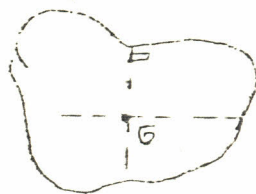
$$Y = 8,07$$

Logo, temos o centróide de coordenadas.....

$$G (14,97 ; 8,07)$$

Para áreas irregulares, poderia ser determinada como se segue: Desenhamos a área em papelão e recortamos. Com o auxílio de um estilete e um barbante (linha fina), este com um pequeno peso na extremidade, fincamos o estilete em uma extremidade do papelão e, a linha anteriormente dependurada pelo estilete, passará pelo centróide da área. Marcamos a passagem da linha pela área e fazemos nova determinação com o estilete fincado em outra extremidade, e nova reta será marcada sobre a área, também contendo o centróide. O cruzamento destas duas linhas nos dará o centróide da área (7).

No nosso caso seria o cruzamento das diagonais, e teríamos $G(50;40)$, que coincide com a linha 1 e se situa entre as colunas B e C. (figura II).



ALTURA DO CENTROÍDE: Refere-se à média ponderada das cotas do terreno, em que o fator de ponderação é a área de influência de cada estaca. Assim:

$$H_c = \frac{\sum (\text{cotas} \cdot \text{área de influência})}{\sum \text{áreas de influên.}}$$

Quando as áreas de influência são iguais, como no nosso caso, em que a distância das estacas periféricas à periferia do terreno é igual à metade da distância entre estacas, temos a fórmula simplificada:

$$\sum a_i = N \cdot a_i$$

$$\sum (\text{cotas} \cdot a_i) = a_i \cdot \sum \text{cotas}$$

Logo,

$$H_c = a_i \cdot \frac{\sum \text{cotas}}{N} \cdot \frac{1}{a_i}$$

$$\therefore H_c = \frac{\sum \text{cotas}}{N}$$

Em que,

a_i = áreas de influência;

N = número de estacas;

$\sum \text{cotas}$ = soma de todas as cotas do terreno.

No nosso caso, como todas as áreas são iguais, temos:

$$H_c = \frac{\sum \text{cotas}}{N} = \frac{1.207,84}{12}$$

$$\therefore H_c = 100,65 \text{ m}$$

ÁREA DO TERRENO: Se áreas geométricas, determina-se por fórmulas geométricas (matemáticas). Se irregulares, com o auxílio do planímetro ou emprego de métodos expeditos.

No nosso caso (área retangular), seria:

$$A = b \cdot h = 80\text{m} \cdot 60\text{m}$$

$$\therefore A = 4.800 \text{ m}^2 = 0,48 \text{ Ha}$$

6 - PROJETO DE NIVELAMENTO - Com a melhor visualização da área e com o já definido método de irrigação a se empregar, selecionamos o grau de sistematização ou método de nivelamento que melhor se adapta às condições naturais do terreno e melhor atenda as exigências em eficiência de irrigação. A discussão sobre a viabilidade do emprego de cada método de nivelamento será feita no final deste trabalho.

Quando se trata de nivelamento, além das características físicas do solo anteriormente mencionadas (mapa de solos), devemos conhecer outras, que são:

DENSIDADE: Importante para determinarmos a capacidade das máquinas transportadoras do solo.

Aqui é importante observar que nos períodos chuvosos, esta densidade poderá ser grandemente aumentada, dificultando e encarecendo o transporte, podendo limitar a execução deste grau de sistematização nestas épocas do ano.

Além disto, as máquinas tem sua eficiência reduzida quando se trabalha em terrenos úmidos.

EXPANSÃO VOLUMÉTRICA OU EMPOLAMENTO: Quando removemos o solo de seu estado natural (corte), este se esgarifica aumentando de volume, embora conserve o peso anterior.

Este aumento de volume, proporcional ao volume ao natural, é denominado expansão volumétrica ou empolamento, e é uma característica de cada tipo de solo.

Por exemplo, um empolamento de 25%, significa que um $(1) \text{ m}^3$ de solo ao natural, após esgarificação (cortado para transporte), passará ao volume de um e vinte e cinco décimos $(1,25) \text{ m}^3$.

Esta característica é importante, pois todo o

solo será trazer estado no forno empolada.

A relação entre as densidades do material solto pela densidade do material natural é chamada da "fator de correção".

$$F_c = \text{Kg/m}^3(\text{solto}) / \text{Kg/m}^3(\text{natural})$$

W a percentagem de empolamento dada por;

$$\% \text{ Emp.} = (1/F_c - 1) \cdot 100$$

COMPACTABILIDADE: Representa a máxima densidade que se pode obter, através de métodos normais de compactação.

Quando colocamos o material solto em um local (zona) de aterro, este deverá sofrer uma compactação, evitando-se posteriores recalques.

Nos trabalhos de terraplenagem, normalmente expressa-se a percentagem da compactabilidade que se deseja.

Nas terraplenagens para fins industriais normalmente se deseja 100% da compactabilidade.

Para fins de aproveitamento agrícola, compactamos o solo nas zonas de aterro, somente para evitarmos futuros acamamentos, o que se consegue adotando apenas uma percentagem menor da compactabilidade máxima.

Esta característica é importante no balanço corte/aterro, comumente tomado, para solos normais, entre 1,2 e 1,3, como veremos quando descrevermos os métodos de nivelamento e cálculo dos volumes de terra.

O ciclo do solo em uma terraplanagem pode ser representado: (terra comum seca): 1.550 Kg

CORTE	SOLTO	ATERRO
	25% Emp.	30% de Comp.
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">1 m³</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">1,25 m³</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">0,70 Kg</div>

O índice de compactabilidade é também expresso em relação ao solo ao natural.

Nas tabelas II e III apresentamos estas características para alguns tipos de solo (7) (15):

TABELA II

TIPO DE SOLO	Kg/m ³	EMPOLAMENTO %	Fc	Kg/m ³
	Natural			Solto
Argila.....	1.720	40	0,72	1.240
Terra comum seca	1.550	25	0,80	1.250
Terra comum molhada.....	2.000	25	0,80	1.600
Argila com pedregulho, seca.....	1.780	40	0,72	1.300
Idem, molhada...	2.200	40	0,72	1.580
Areia (seca)....	1.780	12	0,89	1.580
Areia molhada...	2.100	12	0,89	1.870
Arenito.....	2.420	54	0,65	1.570

TABELA III

COMPACTABILIDADE EM % (a adotar para sistematização)

ESPESURA DO ATERRO (cm)	TEXTURA		
	Arenosa	média	Argilosa
0 - 50	15 - 20	20 - 25	30 - 40
50 - 100	20 - 30	25 - 35	40 - 50

Relacionando o método de nivelamento, teremos o plano de projeto, com declividades em uma ou duas direções ou estas declividades devem ser obedecidas de acordo com o método de irrigação superficial selecionado, e neste caso adotamos um método de nivelamento que estabeleça o plano em função de declividades pré-estabelecidas (método do centróide).

A partir daí, a seguinte a sequência do projeto:

6-1 - DETERMINAÇÃO DAS COTAS DO PROJETO - Após estabelecido o plano do projeto, com as declividades em uma ou duas direções, e conhecendo-se a posição e altura do centróide, podemos determinar as cotas do projeto, ou seja, as cotas que cada estaca deverá ficar para que o plano do terreno seja o estabelecido.

Para a determinação destas cotas calculadas, podemos proceder de duas maneiras.

Se o centróide da área coincidir com alguma estaca da quadriculagem, basta que somemos ou diminuamos os incrementos para colunas e para linhas, conforme estejamos caminhando contra ou a favor das declividades, no sentido das colunas ou linhas, respectivamente.

Exemplificando, se o plano determinado tem declividade no sentido das colunas de 2% e no sentido das linhas de 1%, com estaqueamento de 20 em 20 metros, os incrementos no sentido das colunas e das linhas seria respectivamente de:

$$I_c = 20 \cdot 2/100 = \pm 0,40 \text{ m}$$

$$I_l = 20 \cdot 1/100 = \pm 0,20 \text{ m}$$

Se o centróide da área não coincidir com estacas da quadriculagem, podemos transportar sua cota para a origem do sistema coordenado ou para a estaca mais próxima, e a partir daí determinarmos as cotas de projeto de todas as estacas.

Exemplificando, pela figura II temos G(50;40), com eixos de coordenadas situado dez (10) metros da periferia da área. Admitindo que a declividade no sentido das colunas seja de 2% e positiva a partir da origem (sentido dos X), e que a declividade no sentido das linhas seja de 1% e negativa a partir da origem, e sabendo-se que a altura do centróide é de 100,65 m, a altura da origem será dada por:

Fórmula Geral:

$$H_o = H_c \pm (X \cdot D_x)/100 \pm (Y \cdot D_y)/100$$

Onde,

H_o = altura da origem;

H_c = altura do centróide;

X = abscissa do centróide;

Y = ordenada do centróide;

D_x = declividade no sentido dos X, negativa ou positiva a partir da origem, respectivamente, em percentagem.

D_y = declividade no sentido dos Y, negativa ou positiva a partir da origem, respectivamente, em percentagem.

No nosso caso,

$$H_o = 100,65 - (50 \cdot 2)/100 + (40 \cdot 1)/100m$$

$$H_o = 100,05 \text{ m}$$

E a cota de qualquer estaca da quadriculagem, será dada pela mesma fórmula, lembrando que agora, a partir da origem, estamos caminhando em sentido de declividade contrário

X = abcissa da estaca;

Y = ordenada da estaca;

Dx = declividade no sentido dos X, positiva ou negativa a partir da origem, respectivamente, em percentagem;

Dy = declividade no sentido dos Y, positiva ou negativa a partir da origem, respectivamente, em percentagem.

A altura da estaca B-1, por exemplo, seria:

$$H_{B-1} = 100,05 + (40 \cdot 2)/100 - (40 \cdot 1)/100 \text{ (m)}$$

$$\therefore H_{B-1} = 100,05 + 0,8 - 0,4 \text{ (m)}$$

$$H_{B-1} = 100,45 \text{ m}$$

Se desejássemos transportar a cota do centróide diretamente para a estaca B-1, e sabendo que G(50;40) e B-1 (40;40), vemos que não haverá incremento no sentido dos Y e que a estaca B-1 dista, dentro da linha 2, dez(10) metros do centróide. Como a declividade neste sentido é de 2% e estamos caminhando no sentido da declividade, a altura da estaca B-1 será:

$$H_{B-1} = 100,65 - (10 \cdot 2) / 100 \text{ (m)}$$

$$\therefore H_{B-1} = 100,45 \text{ m}$$

A partir deste ponto, e conhecendo-se os incrementos de coluna e linha anteriormente determinados, calculamos a altura de todas as estacas da quadriculagem, que são as cotas de projeto ou cotas calculadas.

6-2 - PLANILHA DE CORTE E ATERRO - Após determinadas as cotas do projeto, já temos condição de saber, para o plano de nivelamento estabelecido, se uma determinada estaca deverá sofrer corte ou aterro.

Para tal, diminuímos a cota original do terreno pela cota calculada. O resultado, se positivo, será a altura de corte que devemos dar naquela estaca, para obtenção do plano desejado; se negativo, será a altura que devemos aterrar para obtenção do plano.

Para a estaca B-1, teríamos:

$$100,43 - 100,45 = -0,02\text{m} = -2\text{cm}$$

Logo, a estaca B-1 deverá sofrer um aterro de dois (2) centímetros.

As alturas de cortes e aterros para todas as estacas da área da figura II, e objetivando-se a obtenção do plano anteriormente estipulado, são mostrados na tabela IV.

6-3 - CORREÇÃO DE CORTES E ATERROS - Como vimos, prevendo-se possíveis assentamentos excessivos nas zonas de aterros, estas deverão sofrer uma compactação.

Além disto, nem toda a terra cortada chegará à zona de aterro, existindo perdas no transporte.

Devemos levar em conta ainda, que o movimento de terra deverá ser feito dentro da área, ou seja, deverá haver perfeito equilíbrio entre cortes e aterros, não se admitindo os empréstimos.

Vimos anteriormente que cada volume de terra ao natural (corte), sofrerá um decréscimo de volume proporcional à compactabilidade do solo, quando compactado, obedecendo a seguinte relação:

TABELA IV

PLANILHA DE CORTE - ATERRO

ESTACA	COTA NATURAL	COTA DE PROJETO	ALTURA (cm)	
			CORTE	ATERRO
A-0	100,00	99,85	15	-
A-1	100,42	100,05	37	-
A-2	100,73	100,25	48	-
B-0	100,22	100,25	-	3
B-1	100,43	100,45	-	2
B-2	100,68	100,65	3	-
C-0	100,47	100,65	-	18
C-1	100,52	100,85	-	33
C-2	100,76	101,05	-	29
D-0	100,82	101,05	-	23
D-1	101,26	101,25	1	-
D-2	101,53	101,45	8	-
TOTAL			112	108

OBS. CORTE + COTA DO PROJETO = COTA NATURAL

ATERRO + COTA NATURAL = COTA DO PROJETO

CORTE / ATERRO = 112/108 = 1,04

CORTE = ATERRO / (1 - COMPACTABILIDADE)

compactabilidade de 20%, teríamos:

CORTE = ATERRO / (1 - 0,2)

= 1,25 . ATERRO

CORTE / ATERRO = 1,25

Para fins práticos esta relação está entre 1,25

$$ATERRO = CORTE (1 - COMPACTABILIDADE)$$

Para que seja possível a igualdade corte-aterro, faz-se necessário então que a quantidade de corte seja maior, segundo a relação:

$$CORTE = ATERRO / (1 - COMPACTABILIDADE)$$

Supondo uma compactabilidade de 20%, teríamos:

$$CORTE = ATERRO / (1 - 0,2)$$

$$CORTE = 1,25 \cdot ATERRO$$

$$CORTE / ATERRO = 1,25$$

Para fins práticos esta relação está entre 1,25 a 1,30.

É bom salientar aqui, que quando nos referimos à compactabilidade, não é a compactabilidade máxima de um determinado tipo de solo, e sim, à uma percentagem desta, suficiente apenas para evitar assentamentos excessivos.

Supondo uma compactação máxima de 50%, e que para evitar assentamentos fosse necessária somente 60% desta compactação, teríamos que a compactação a se dar, visando a sistematização de terras para irrigação, seria de:

$$60\% \cdot 50\% = 30\%$$

Os fatores anteriormente expostos nos indicam que as quantidades de cortes e aterros (tabela IV), não devem ser iguais, e sim, a quantidade de corte deverá ser maior, de acordo com a compactabilidade do solo.

Admitindo-se que a relação corte/aterro seja de 1,30, e considerando-se que a obtida pela tabela IV foi de 1,04, vemos que para obtermos a relação desejada é necessário que estas alturas sejam corrigidas.

Para não alterarmos o plano único, a mesma quan

tidade que adicionarmos em uma destas alturas deverá ser diminuída na outra. A esta quantidade chamamos "correção".

Esta correção pode ser encontrada pela fórmula:

$$K = \frac{\sum c + Nc \cdot z}{\sum a - Na \cdot z}$$

Em que,

K = relação corte aterra desejada;

$\sum c$ = soma das alturas de corte (cm);

$\sum a$ = soma das alturas de aterra (cm);

Nc = número de estacas que sofrerão corte;

Na = número de estacas que sofrerão aterra;

z = correção por estaca (cm)

No nosso exemplo teríamos:

$$1,3 = (112 + 6 \cdot z) / (108 - 6 \cdot z)$$

$$\therefore z = 2,06 \cong 2 \text{ cm}$$

Organizamos então a tabela V, de alturas de cortes e aterros corrigidas.

Devemos observar que, se a relação corte/aterro obtida na tabela IV fosse maior que a desejada (1,30), os sinais de numerador e denominador da fórmula acima seriam trocados.

Devemos ainda observar que, se com a correção encontrada, estacas de aterra se transformarem em corte, o valor de z encontrado anteriormente poderá não satisfazer, nas alturas corrigidas, a relação corte/aterro desejada. Nestes casos o valor de z servirá como aproximação, devendo ser ajustado.

TABELA V

ALTURAS DE CORTES E ATERROS CORRIGIDAS

ESTACA	ALTURAS (cm)		CORREÇÃO	
	CORTE	ATERRO	CORTE +2 cm	ATERRO -2 cm
A-0	15	-	17	-
A-1	37	-	39	-
A-2	48	-	50	-
B-0	-	3	-	1
B-1	-	2	-	-
B-2	3	-	5	-
C-0	-	18	-	16
C-1	-	33	-	31
C-2	-	29	-	27
D-0	-	23	-	21
D-1	1	-	3	-
D-2	8	-	10	-
TOTAL	112	108	124	96

$$C/a = 1,04$$

$$C/a = 1,29$$

6-4 - COTAS CORRIGIDAS FINAIS - Satisfeita a relação corte/aterro desejada, calculamos as cotas corrigidas, as quais fornecerão o plano desejado e o equilíbrio corte/aterro.

Como, ao aumentarmos o corte de dois (2) centímetros e reduzirmos o aterro de dois (2) centímetros, todo o nosso plano anteriormente calculado foi rebaixado em dois (2)

centímetros, para estabelecer as cotas corrigidas basta que a cota de projeto anteriormente determinada seja reduzida de dois(2) centímetros.

O inverso deveria ocorrer quando a correção de cortes fosse negativa e a de aterro fosse positiva.

As cotas corrigidas finais são mostradas na tabela VI.

TABELA VI

COTAS CORRIGIDAS FINAIS

ESTACA	COTA DO TERRENO	COTA CALCULADA	COTA CORRIGIDA
A-0	100,00	99,85	99,83
A-1	100,42	100,05	100,03
A-2	100,73	100,25	100,23
B-0	100,22	100,25	100,23
B-1	100,43	100,45	100,43
B-2	100,68	100,65	100,63
C-0	100,47	100,65	100,63
C-1	100,52	100,85	100,83
C-2	100,76	101,05	101,03
D-0	100,82	101,05	101,03
D-1	101,26	101,25	101,23
D-2	101,53	101,45	101,43

6-5 - NOTAÇÃO EM PLANTA - Após determinadas as alturas de corte e aterro e as cotas de projeto corrigidas, sequência esta que poderia ter se desenvolvido em uma única planilha de cortes e aterros, procedemos à notação em planta, a qual, acompanhada da planilha de cortes e aterros, orientarão e acompanhará

Esta notação se faz por estacas e por zonas de cortes e aterros.

Por estaca, cada uma deverá conter a leitura de mira observada por ocasião do levantamento altimétrico, a cota natural do terreno, a cota de projeto corrigida e a correspondente altura de corte ou aterro, conforme mostrado no esquema III.

ESQUEMA III

NOTAÇÃO POR ESTACAS

Cota Natural do Terreno	Leitura de Mira
Cota Corrigida Final	Corte ou Aterro

A notação por zonas de corte ou aterro se faz interpolando-se pontos que dividem cortes e aterros e, com sua posterior união, teremos caracterizadas estas zonas.

As zonas de aterro serão achuriadas e as de corte não achuriadas.

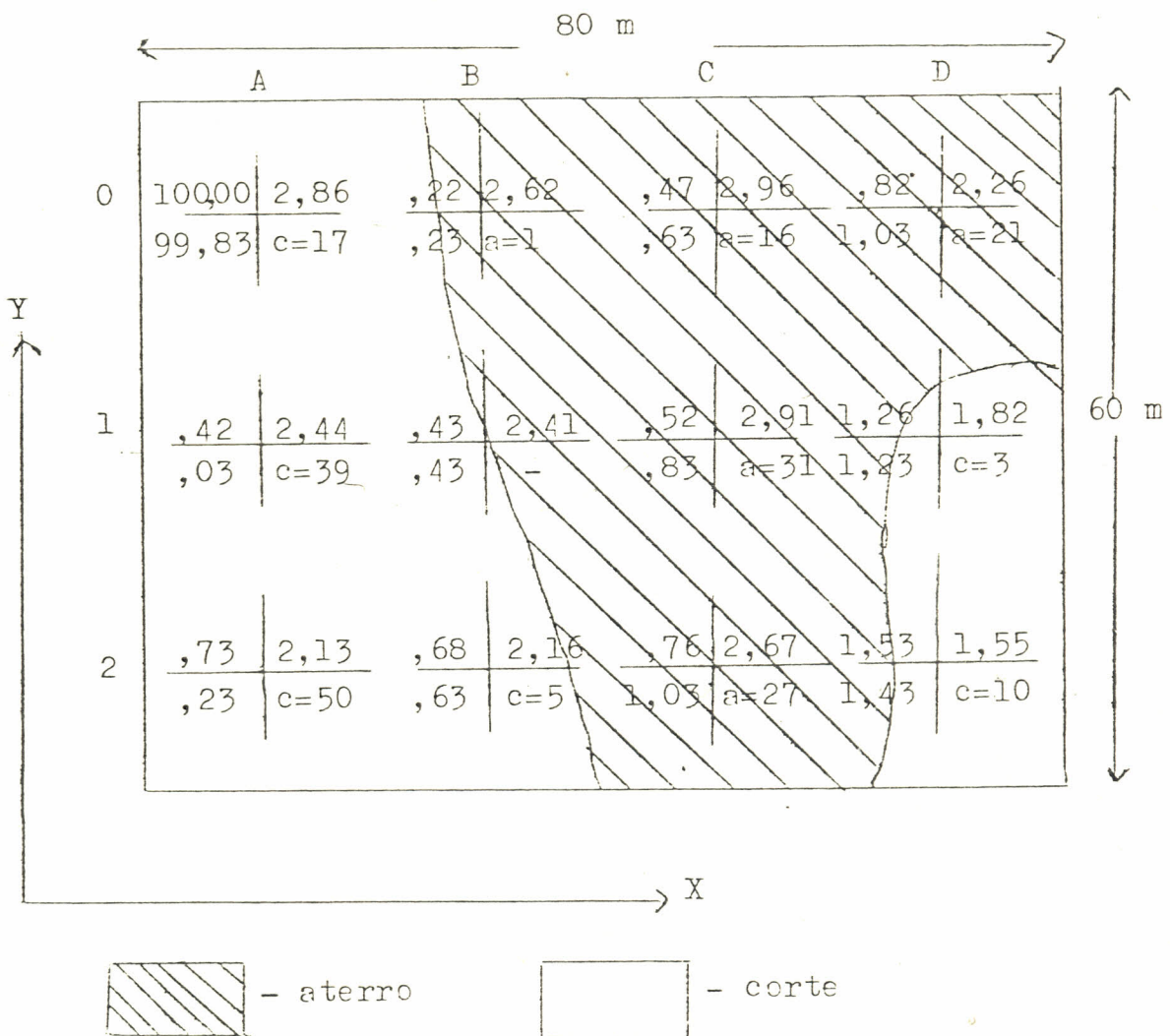
Poder-se-ia ainda empregar a notação por cores, sendo as zonas de aterro caracterizadas com a cor azul e as de corte com a cor vermelha. Esta notação traz o inconveniente de não se tornar distinta em cópias heliográficas.

A notação em planta é mostrada na figura III.

Após esta operação temos o projeto de nivelamento da área, pronto para ser demarcado em campo, para posterior execução.

FIGURA III

NOTAÇÃO EM PLANTA DO PROJETO DE NIVELAMENTO



6-6 - CÁLCULO DO VOLUME DE TERRA - Para o cálculo do volume de terra, como a área de influência das estacas são todas iguais, basta que multipliquemos esta área de influência pela soma de cortes ou aterros corrigidos, respectivamente.

Assim, os volumes de corte e aterro, serão:

$$\text{CORT}^{\text{E}} = 124 \text{ cm} / (100\text{cm/m}) \cdot 20\text{m} \cdot 20\text{m}$$

$$\text{CORT}^{\text{E}} = 496 \text{ m}^3 \quad 496\text{m}^3/0,48\text{ha} = 1.033,33 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{ATERRO} = 0,96 \text{ m} \cdot 400 \text{ m}^2 = 384 \text{ m}^3$$

$$384 \text{ m}^3/0,48 \text{ ha} = 800 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Caso a área de influência das estacas seja diferente, planimetramos as áreas de cortes e aterros da figura III e multiplicamos pela altura média de corte e aterro, respectivamente.

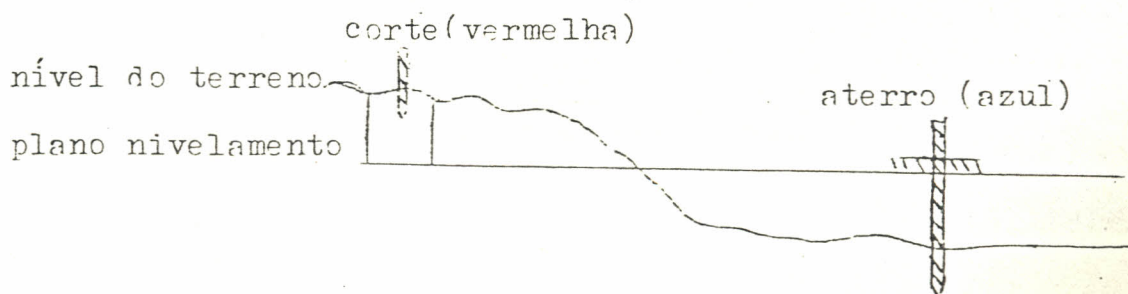
A altura média de cortes e aterros é encontrada dividindo-se a altura corrigida de cortes ou aterros pelo respectivo número de estacas de corte ou aterro.

VI - DEMARCAÇÃO DO PROJETO EM CAMPO

Após terminada a elaboração do projeto, procedemos à sua demarcação em campo, para execução.

O processo mais simples consiste em se colocar cruzetas nos aterros e largar um montículo circundando as estacas, nos cortes, os quais são posteriormente desfeitos, conforme mostrado no esquema IV.

ESQUEMA IV



Este processo é o mais abundantemente adotado, pois a
lém de sua simplicidade é feito pelo próprio operador de máqui
nas.

Bastaria que em cada estaca do nivelamento escre
vessemos se seria de corte ou aterro, com a respectiva altura
correspondente.

Qualquer erro seria facilmente detectado, pois de
verá haver uma equipe de topografia acompanhando a execução dos
trabalhos, através de uma referência de nível externa à área
trabalhada, o que facilitaria a reavivação de pontos.

As estacas de corte são marcadas com tinta verme
lha e as de aterro de azul.

Processos que utilizam planos auxiliares e esqua
dros em "L" também são utilizados, mas são de construção e mane
jo mais sofisticados, devendo ser empregado somente por técni
cos em nivelamento ou práticos conhecedores do processo.

VII - EXECUÇÃO DO PROJETO DE SISTEMATIZAÇÃO

A modalidade de sistematização caracterizada pelo
movimento de terra (nivelamento ou terraplenagem), cujos méto
dos passíveis de uso serão adiante mostrados, pode ser execu
da pelos mais variados tipos de máquinas, conforme já discuti
mos anteriormente.

Vejamos alguns detalhes referentes ao emprego de
determinadas máquinas na sistematização de solos para irrigação.

O uso de tratores de esteira no transporte de ter
ra só deverá ser permissível quando a distância de transporte
não ultrapassar cem (100) metros.

Devem entretanto ser sistematicamente usados no
corte e amonte da terra, quando a máquina transportadora for

caçamba carregada com carregadeira. Neste tipo de transporte os tratores de esteira são também empregados para o espalhamento da terra nas zonas de aterro.

São também empregados para o desmatamento da área e para a operação de pusher dos scrapers, conforme veremos adiante.

O transporte pode ser, e o é normalmente, realizado pelos scrapers ou por madal, sendo que estas máquinas além da operação de transporte, realizam o corte, espalhamento e parte da compactação (ou a compactação total).

Estes scrapers e madais, quando tracionados por tratores de rodas, devem ser auxiliados na operação de corte por tratores de esteira, operação esta denominada pusher.

Mesmo quando os scrapers e madais são tracionados por tratores de esteira, mas trata-se de cortes em solos pesados ou em terrenos úmidos, esta operação de corte deve ser realizada com o auxílio de tratores empurradores (pusher).

Quando trata-se de projetos de nivelamento pequenos o uso da madal é mais econômico, por serem máquinas que exigem menor potência de tração.

Em projetos maiores, o emprego de moto-scaper (tournapull), é mais aconselhado, haja visto a sua maior velocidade e rendimento no transporte.

A compactação pode se limitar somente à passagem das máquinas, mas pode ser controlada por meio de compactadores convencionais.

Após executados os trabalhos de movimento de terra, o terreno deverá ser uniformizado, o qual é executado pelas niveladoras.

É bom salientar que a precisão destas máquinas é

de dois (2) centímetros, não havendo necessidade que o projeto (determinação das cotas calculadas), tenha maior aproximação que centímetro.

Estas niveladoras podem ser do tipo Marvin, Land Leveler, Universal, etc., ou o emprego, em serviços de menor precisão, da moto-niveladora (Patrol).

Antes de passarmos a niveladora sobre o terreno, é conveniente que o terreno seja escarificado ou gradeado, para facilitarmos o corte das elevações e aumentarmos o rendimento das máquinas.

Após nivelado, este terreno não deve ser de início plantado com culturas perenes, pois mesmo com o controle da compactação, poderão se verificarem assentamentos nas zonas de aterro, difíceis de serem reparados com a presença destas culturas.

Aconselha-se o plantio de culturas anuais pelo menos durante os dois (2) ou três (3) primeiros anos de exploração.

Após executados os serviços e a área ocupada com a cultura definitiva, não deve ela ser abandonada, havendo necessidade de ser conservada, pelo menos anualmente, através de aplainamentos da superfície.

Recordando, as fases do nivelamento da área podem se resumir (referentes aos trabalhos mecanizados):

- a - Desmatamento e Limpa;
- b - Aplainamento do terreno, para facilitar os trabalhos de topografia;
- c - Escarificação ou gradagem do terreno, para melhorar o rendimento das niveladoras;
- d - Segundo aplainamento do terreno, se isto se

fizer necessário para o melhor desempenho das máquinas de transporte de terra;

e - Movimento de terra - proceder-se aos cortes e aterros necessários;

f - Segunda Gradagem, visando-se o melhor desempenho das máquinas empregadas no acabamento (niveladoras);

g - Acabamento - trabalho final do nivelamento de terras, executado pelas niveladoras.

VIII - ORGANIZAÇÃO DO ORÇAMENTO

Interessa, a nós técnicos em irrigação, visando o estudo da rentabilidade do projeto de irrigação, de uma área em que a sistematização se faz necessária, calcularmos o custo desta operação.

Não trataremos aqui da organização do orçamento propriamente dita, mas sim, de alguns dados referentes às máquinas empregadas em nivelamento de terras e necessárias à determinação do orçamento.

É bom salientar aqui que esta deveria ser a última fase do projeto de nivelamento. Não a constamos lá, porque, como já dissemos, não faremos aqui a organização do orçamento, e sim ofereceremos um apêndice das características das máquinas empregadas, necessárias à sua determinação.

O custo da operação de nivelamento, ou mesmo de qualquer outro grau de sistematização, após longa prática e experiência e em se tratando de solos de mesmas características, físicas e topográficas, poderiam ser extrapolados ou estimados.

Entretanto, esta estimativa só deveria ocorrer para pequenas áreas, onde os erros não seriam significativos.

Para grandes áreas ou quando não se dispõe de

prática suficiente, o mais viável seria, em função das máquinas selecionadas ou disponíveis, determinarmos o tempo de operação e o custo de cada uma, para organização do orçamento final.

As firmas que executam estes trabalhos, normalmente cobram à base de volume de corte, mas são eles suscetíveis de cobrança por volume transportado (emolado), ou volume compactado (como ocorre normalmente em barragens), sendo, em qualquer destes tipos de cobrança, o valor final função do tipo de solo, distância a transportar, relevo do terreno, etc.

Os governos federal e estaduais normalmente cobram a base de horas trabalhadas, variando o custo da operação com a capacidade de orientação do técnico.

A seguir apresentamos algumas características das máquinas empregadas, e que deverão ser levadas em conta na organização do orçamento (6) (15):

TEMPO DE CICLO - Uma máquina de terraplanagem, em seu ciclo normal, carrega, transporta e despeja o material e retorna para o local de carregamento. O tempo gasto para executar estas quatro (4) operações é chamada de "TEMPO DE CICLO".

Para máquinas que não executam estas operações, seu "tempo de ciclo" é determinado pelo tempo gasto em executar as tarefas a si pertinentes.

Quando em operação este tempo é facilmente determinado.

Daí a necessidade de, quando não pudermos estimá-lo, em grandes projetos, fazermos uma estimativa inicial, e depois corrigi-la.

Para a determinação do "tempo ciclo", dividimo-lo em tempo fixo e tempo variável.

Tempo Fixo - T_f é o tempo necessário para a máquina executar suas funções, independente da distância de transporte. Seria o tempo necessário para carregar, descarregar, fazer a volta, acelerar e desacelerar a máquina.

Tempo Variável - T_v é o tempo gasto no transporte do material e no retorno da máquina ao ponto de carregamento, o qual varia com a distância corte-aterro e com a velocidade da máquina.

O tempo fixo normalmente é tabelado para cada tipo de máquina, como termo médio.

O tempo fixo para scraper tracionado com trator de rodas, com pusher no carregamento, é de:

	<u>3ª marcha</u>	<u>2ª. marcha</u>
Carregamento.....	0,7 min.	0,7 min.
Manobra e descarga.....	0,6 "	0,6 "
Aceleração e Desaceleração.....	0,7 "	0,4 "
Tempo Fixo Total.....	2,0 min.	1,7min.

Para scrapers tracionados com trator de esteira, seria:

	<u>SEM PUSHER</u>		<u>COM PUSHER</u>
	<u>MAIS DE 11 m³</u>	<u>MEIOS DE 11m³</u>	<u>MAIS DE 11 m³</u>
Carregamento.....	1,5 min.	1,0 min.	1,0 min.
Manobra e Descarga	1,0 min.	1,0 min.	1,0 min.
Tempo Fixo Total	2,5 min.	2,0 min.	2,0 min.

O tempo fixo total para trator de esteira em trabalho de lâmina, é:

Tipo de Operação	Tempo Fixo Total
Mudança para frente e ré na mesma marcha	0,10 min.
Mudança para uma marcha mais alta ao voltar a Ré.....	0,20 min.

O tempo variável depende do percurso e da velocidade, sendo dado por:

$$\text{Tempo Variável (min.)} = \frac{\text{Distância (m)} \cdot 0,06}{\text{Velocidade (Km/h)}}$$

Como normalmente trabalhamos em duas velocidades (uma com o transporte do material e outra na volta ao local de carregamento), temos:

$$\text{Tempo Variável} = \frac{\text{Percurso Ida (m)} \cdot 0,06}{\text{Velocidade Ida (Km/h)}} + \frac{\text{Percurso Volta (m)} \cdot 0,06}{\text{Velocidade Volta (Km/h)}}$$

Exemplificando, se um scraper faz um percurso do corte ao aterro de 700 metros à velocidade de 10Km/h (2ª. marcha) e retorna em 3ª. marcha, pelo mesmo percurso à velocidade de 30Km/h, pede-se determinar o tempo de ciclo:

$$\text{Tempo Fixo} = 2,0 \text{ min. (tabela)}$$

$$\text{Tempo Variável} = (700 \cdot 0,06) / 10 + (700 \cdot 0,06) / 30$$

$$\therefore \text{Tempo Variável} = 4,2 + 1,4 = 5,6 \text{ min.}$$

$$\text{Tempo de Ciclo} = 5,6 + 2,0 = 7,6 \text{ min.}$$

O tempo de ciclo deve ser reduzido ao máximo, permitindo um maior rendimento horário das máquinas. Seria reduzido através de:

- organização dos serviços;

- trabalho de corte em morro abaixo;
- eliminar o tempo de espera;
- existência de tratores empurradores suficientes;
- usar equipamento com potencia adequada;
- existência de tratores, digo, escarificadores nos tratores empurradores;

O tempo variável pode ser reduzido:

- planejar os caminhos de ida e volta. Sempre que possível, fazê-los em linha reta, desde que não existam rampas fortes;
- conservar as estradas.

A produção destas máquinas é dada em viagens por hora ou metros cúbicos por viagem ou metros cúbicos por hora.

Diz-se que a produção é lucrativa quando movimentamos uma grande quantidade de material pelo menor custo possível.

O número de viagens por hora é dado por:

$$N^{\circ} \text{ viagens/hora} = 60 \text{min.} / \text{tempo de ciclo (min.)}$$

$$\text{Produção horária (m}^3\text{)} = \text{m}^3 / \text{viagem} \cdot N^{\circ} \text{ viagens/hora.}$$

Os trabalhos de terraplenagem exigem um fator de eficiência nos cálculos de produção. Este varia com a experiência do operador, dos dirigentes do serviço, condições meteorológicas, quebra de máquinas, facilidade de reparos, etc.

Em condições normais teríamos os seguintes fatores de eficiência:

Operação	Tipo de Trator	Trabalho por hora	Fator de Efic.
diurna	esteira	50 min./hora	0,83
	rodas	45 min./hora	0,75
noturna	esteiras	45 min./hora	0,75
	rodas	40 min./hora	0,67

A produção horaria seria entao:

$$\text{Prod. (m}^3\text{/h)} = \text{m}^3\text{/viagem} \cdot \text{n}^\circ \text{ viagens/h} \cdot \text{F.} \cdot \text{efic.}$$

O número de scrapes servidos por cada trator empurrador (operação de pusher), é:

$$\text{N}^\circ \text{ scrapers servidos} = \frac{\text{tempo de ciclo do scraper}}{\text{Tempo de ciclo do pusher}}$$

O tempo de ciclo do pusher varia de 1,5 a 2,5 minutos.

Em condições especiais, quando não necessitamos de máquinas transportadoras, por ser a distância corte-aterro, muito pequena, o transporte do material é feito pelo trator de esteira (buldozer). É o carregamento normalmente executado em pequenas barragens agrícolas.

A capacidade de transporte destas máquinas é:

Capacidade da lâmina em m³ de material solto

<u>Trator</u>	<u>Lâmina angulável</u>	<u>Lâmina em U</u>	<u>Lâmina Reta</u>
D-9	5,6	10,3	8,0
D-8	4,2	7,6	6,0
D-7	3,0	-	4,3
D-6C	2,3	-	3,2
D-6B	1,7	-	2,7
D-5	1,4	-	2,0
D-4	1,1	-	1,7

Devemos fazer a correção através do fator de correção para obtermos o volume no corte (natural), através do fator de empolamento (correção). Podemos adotar este fator de correção, como termo médio:

- pedra - 0,60
- argila molhada - 0,70
- terra comum - 0,80
- areia - 0,90

Teríamos então que a produção em m³ no corte por hora, seria:

$$\text{Prod. (m}^3\text{ corte/h)} = \frac{\text{Hora trabalho eficiência (min.)} \cdot \text{m}^3\text{ corte/ciclo}}{\text{tempo de ciclo (min)}}$$

ou

$$\text{Prod. (m}^3\text{ corte/h)} = \frac{\text{F.éfic.} \cdot \text{m}^3\text{ corte/ciclo} \cdot 60 \text{ min.}}{\text{tempo de ciclo (min.)}}$$

Quando o terreno a sofrer terraplenagem ou ser nivelado necessita ser desmatado, este trabalho é executado pelos tratores de esteira. A produção destas máquinas é:

<u>Vegetação</u> (diâmetro)	<u>Potência do Trator</u>	
	<u>Até 115 HP</u>	<u>Mais de 115 HP</u>
0 - 15cm	836m/hora	1.000m/hora
18- 36cm	3-9min./árvore	2-6 min./árvore
30- 75cm	5-20min./árvore	5-20min./árvore

A compactação do terreno, quando executada por rolos compactadores, tem a produção:

$$\text{Produção (m}^3\text{/h)} = 10 \cdot L \cdot E \cdot V/N \cdot \text{eficiência}$$

Onde,

L = largura do rolo em metros;

E = espessura da camada em centímetros;

V = velocidade do rolo em Km/h;

N = número de passadas do rolo;

10 = correção para m³/hora;

eficiência da máquina que traciona o rolo.

Após executados os trabalhos de movimento de terra, ou mesmo antes e durante este, o aplainamento do terreno torna-se necessário, serviço este executado pelas niveladoras.

A produção destas máquinas é:

$$\text{Tempo Gasto(h)} = \frac{\text{Nº Passadas} \cdot \text{distância (Km)}}{\text{Velocidade(Km/h)} \cdot \text{Eficiência}}$$

Em condições especiais, quando a distância entre o corte e o aterro é muito longa, o transporte do material é feito por caminhões, os quais são carregados pelas pás mecânicas.

O número de conjuntos de transporte para cada pá, é:

$$\text{Nº Conjuntos} = \frac{\text{Produção da Pá(m}^3\text{/h no corte e 100\% de eficiência)}}{\text{Produção dos Conjuntos(m}^3\text{ corte e 100\% eficiência)}}$$

$$\text{Produção Horária} = \text{Produção da Pá(m}^3\text{/h)} \cdot \text{Eficiência da Pá}$$
$$\text{Eficiência da Pá} \approx 0,85$$

A produção horária da Pá em m³ no corte é:

Produção Horária da Pá Mecânica(m³ no corte)

Material	Capacidade da Caçamba (m ³)								
	0,29	0,38	0,77	1,15	1,50	2,10	2,70	3,45	4,20
Terra Úmida.....	65	88	155	220	270	330	400	485	565
Areia.....	60	85	150	205	250	320	385	460	530
Pedregulho.....	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Terra Comum.....	53	73	135	185	230	290	345	430	495
Argila dura.....	38	57	110	160	200	255	310	375	435
Terra comum com									
Pedra.....	23	38	80	120	155	205	255	320	380
Argila Molhada.	19	30	73	110	140	190	235	295	350

A produção dos Caminhões é:

Prod.(m³/h)no corte=m³/viagem no corte.viagens/hora.Eficiência
m³/viagem(corte) = m³/viagem (solto).fator de correção(F_{mpol.})

O fator de eficiência dos caminhões pode ser considerado igual a 90%.

A velocidade, embora seja muito variável, pode ser considerada igual a 50Km/h.

O tempo fixo total em cerca de 2 minutos.

A seguir apresentamos a proposta para orçamento de um nivelamento(6):

Deseja-se fazer uma terraplenagem de 600.000 m³ de terra compactada, usando-se para o transporte da terra três (3) Scrapers de 10 m³ de capacidade cada um, tracionados por trator de esteira, sem pusher, e caminhões com capacidade de 7 m³ de terra cada um, carregados com uma carregadeira de 2,10m³ de capacidade da caçamba.

O material é terra comum.

compactação será feita com um rolo compactador de 1 m de largura, sendo que a compactação desejável para evitar assentamentos é de 60%, com número de passadas necessárias igual a cinco (5), sobre camadas de 20 centímetros.

A distância média do corte ao aterro é de 800 m

Pergunta-se qual o número de caminhões necessários, qual o prazo em horas para entrega do serviço e o seu orçamento, sabendo-se que o preço do scraper é de Cr\$ 0,80 por quilômetro rodado, do caminhão de Cr\$ 1,50 por quilômetro rodado, da mecânica de Cr\$ 100,00 por hora e do rolo compactador de Cr\$ 40,00 por hora. Pergunta-se ainda qual o número de rolos compactadores necessários.

IX - MÉTODOS DE NIVELAMENTO DE SOLOS PARA IRRIGAÇÃO

São vários os métodos de nivelamento conhecidos, usados na uniformização da superfície dos solos, onde, cada um destes métodos visam um objetivo específico.

Há métodos que visam encontrar um mínimo movimento de terra para uma declividade pré-estabelecida e outros que procuram encontrar uma determinada declividade que proporcione o menor movimento de terra possível. Existem casos ainda em que é feita a sub-divisão da área, para em seguida se aplicar o método mais adequado ao nivelamento de cada parcela.

Entretanto, como vimos, a escolha de qualquer método estará relacionada a vários outros fatores; tais como a cultura a ser explorada, método de irrigação selecionado, topografia, textura e estrutura do solo, intensidade dos trabalhos mecanizados, etc.

Entre os principais métodos usados no nivelamento de solos, podemos citar:

- 1 - Método do Quadrado
- 2 - Método do Centróide
- 3 - Método dos Momentos
- 4 - Método das Teclas de Piano
- 5 - Método Expedito

1 - MÉTODO DO QUADRADO MÍNIMO

Este método nos dá a declividade melhor adaptável à configuração natural do terreno, proporcionando um mínimo movimento de terra. Foi derivado do método do Centróide e aperfeiçoado por Chug.

Consiste em reduzir o terreno a ser nivelado a uma superfície plana com declividade uniforme no sentido longitudinal e transversal, com o menor movimento de terra possível e tornando equivalentes os cortes e aterros. Por determinadas razões, principalmente construtivas, sempre deve haver maior disponibilidade de corte do que de aterro, o que somente será conseguido mediante o abaixamento sucessivo do plano final.

Para exemplificação deste e dos demais métodos, tomamos uma pequena área de 4.800 m^2 , a qual se encontra logo abaixo com as respectivas cotas do terreno em pauta.

	A	B	C	D	Σc	H
0	100,00	100,22	100,47	100,82	401,51	100,38
1	100,42	100,43	100,52	101,26	402,63	100,66
2	100,73	100,68	100,76	101,53	403,70	100,93
Σc	301,15	301,33	301,75	303,61	$\frac{1.207,84}{3}$	$\frac{301,97}{3}$
H	100,38	100,44	100,58	101,20		402,60

Os valores de (X) se referem às abcissas, que podem ser tomadas em metros ou em módulos, lembrando que o sistema de eixos coordenados deve distar das primeiras linhas ou colunas, de uma distância igual à do estaqueamento com (01) módulo.

Os valores de (Y) se referem às ordenadas, as quais são determinadas como se segue:

As ordenadas para o sentido das colunas (N-S) são as cotas médias de cada linha (P-0), e as ordenadas para o sentido das linhas (E-O), são as cotas médias de cada coluna (V - S).

Separando o método por etapas, temos:

1.1 - Altura do Centróide - é dado pela soma de todas as cotas dividida pela número de estacas.

$$H_m = \frac{h}{N} \text{ - onde:}$$

H_m = altura do centróide

h = soma das cotas

N = nº de estacas

$$H_m = \frac{1.207,84}{12} \therefore H_m = 100,65$$

1,2 - Localização do Centróide - o centróide está localizado no ponto de intersecção das diagonais do retângulo.

Valor de X_m (distância até o eixo dos Y)

$$X_m = \frac{a + 1}{2} \quad \text{onde: } -a = n^\circ \text{ de colunas}$$

$$X_m = \frac{4 + 1}{2} = 2,5 \text{ módulos}$$

Como 01 módulo = 20m, X_m será:

$$X_m = 2,5 \times 20 = 50 \text{ m}$$

Valor de Y_m (distância até o eixo dos X)

$$Y_m = \frac{b + 1}{2} \quad \text{onde } -b = n^\circ \text{ de linhas}$$

$$Y_m = \frac{3 + 1}{2} = 2,0 \text{ módulos}$$

$$Y_m = 2,0 \times 20 = 40 \text{ m}$$

1,3 - Cálculo da declividade melhor adaptada - os declives melhor adaptados para o sentido (N - S) e (O - E), é dado pela equação:

$$G = \frac{\sum (SH) - \frac{(\sum S)(\sum H)}{n}}{\sum (S^2) - \frac{(\sum S)^2}{n}}$$

G = declive melhor adaptado a declividade média do campo.

S = distância em módulos de cada ponto ou eixo nos perfis médios.

H = cota média de cada coluna ou linha

n = nº de pontos em cada perfil médio.

Cálculo da declividade para o sentido (N - S).

$$GY = \frac{\sum (Y.Hy) - \frac{(\sum Y) \cdot (\sum Hy)}{n}}{\sum (Y^2) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}$$

$$\sum (Y.Hy) = (1 \times 100,38) + (2 \times 100,66) + (3 \times 100,93) = 604,49$$

$$\sum (Y) = 1 + 2 + 3 = 6$$

$$\sum (Hy) = 100,38 + 100,66 + 100,93 = 301,97$$

$$\sum (Y^2) = 1^2 + 2^2 + 3^2 = 14$$

$$(\sum Y)^2 = 6^2 = 36$$

Substituindo, temos:

$$604,49 - \frac{6 \times 301,97}{3}$$

$$GY = \frac{14 - \frac{36}{3}}{3}$$

$$GY = 0,275 \text{ m/módulo} \quad GY = \frac{0,275}{20} \times 100 = 1,375\%$$

Cálculo da declividade para o sentido (O - E).

$$GX = \frac{\sum (X.Hx) - \frac{(\sum X) \cdot (\sum Hx)}{n}}{\sum (X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$\sum (X.Hx) = (1 \times 100,38) + (2 \times 100,44) + (3 \times 100,58) + (4 \times 101,20) = 1007,8$$

$$\sum (X) = 1 + 2 + 3 + 4 = 10$$

$$\sum (Hx) = 100,38 + 100,44 + 100,58 + 101,20 = 402,60$$

$$\sum (X^2) = 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 = 30$$

$$(\sum X)^2 = 10^2 = 100$$

Substituindo, temos:

$$1.007,80 - \frac{10 \times 402,60}{4}$$

$$GX = \frac{30 - \frac{100}{4}}{4}$$

$$GX = 0,26 \text{ m/módulo} \quad GX = \frac{0,26}{20} \times 100 = 1,3\%$$

Admitindo-se que a área será irrigada por sulcos, teríamos então para uma declividade de 1,3%, sulcos de 80 metros de comprimento. Embora os declives, (N - S) = 1,375% e (O - E) = 1,3% sejam bastante altos, não representam contudo, o limite superior que está em torno de 1,5%.

Portanto, se o declive transversal de 1,375% fosse aceito sem perturbar a eficiência no manejo da água, teríamos então, um plano único de sistematização com declividade transversal de 1,375% e longitudinal de 1,3%.

No caso de uma ou ambas as declividades encontradas não aceitas, teríamos uma conjugação com o próprio método do centróide, onde o plano encontrado passa pelo centróide da área G(50, 40), cuja altura é de 100,65m.

No nosso caso, temos o entróide localizado na linha (1) entre as colunas (B) e (C), distante 10 metros das estacas B-1 e C-1.

1.4 - Determinação das cotas calculadas

Em primeiro lugar, determina-se as cotas das estacas B-1 e C-1 o que é feito somando ou diminuindo o incremento para 10m de espessamento, à altura do entróide.

O incremento para 10m no sentido longitudinal, é:

$$\begin{array}{l} 100 \quad \frac{1,3}{100} \\ 10 \quad \frac{X}{100} \end{array} \quad X = \pm 0,13$$

Temos então, que as cotas de B - 1 e C - 1 serão:

$$B - 1 = 100,65 - 0,13 = 100,52$$

$$C - 1 = 100,65 + 0,13 = 100,78$$

Para as demais estacas, a cota calculada será a da anterior mais ou menos o incremento de altura para o espaçamento de 20 m.

Para o sentido longitudinal (O - E), o incremento será:

$$100 \frac{1,3}{20} X \quad X = \pm 0,26 \text{ m}$$

Para o sentido transversal (N - S), o incremento será:

$$100 \frac{1,375}{20} X \quad X = 0,28 \text{ m}$$

Com estes incrementos encontrados, calculamos portanto, as demais cotas.

logo:

$$A - 1 = 100,52 - 0,26 = 100,26$$

$$D - 1 = 100,78 + 0,26 = 101,04$$

Para encontrar (A - 0) diminuimos 0,28 de A - 1 e para achar A - 2, somamos 0,28 a A - 1.

O mesmo é feito para as demais cotas, cujos cálculos são mostrados na tabela VII, onde a compactibilidade considerada foi de ~30% (relação corte/aterro de 1,3).

1.5 - Ajuste de cortes e aterros.

Da tabela VII tiramos que a relação $\frac{c}{a} = 1,05$

Como queremos para $K = 1,30$, temos então que calcular o incremento.

$$\text{Temos que: } \frac{\sum c + Nc \cdot Z}{\sum a + Na \cdot Z} = K$$

onde: $\sum c$ = soma dos cortes

$\sum a$ = soma dos aterros

Nc = nº de estações de corte

Na = nº de estações de aterro

Z = incremento (correção)

$K = 1,30$ (relação corte aterro desejada)

Aplicando os valores encontrados na tabela e fazendo o rebaixamento do plano, temos:

$$\frac{86 + 6 \cdot Z}{82 - 6 \cdot Z} = 1,30$$

$$86 + 6Z = 1,30 (82 - 6Z)$$

$$86 + 6Z = 106,6 - 7,8Z$$

$$13,8Z = 20,6$$

$$Z = 1,5 \text{ cm.}$$

Transformando 1,5 cm em metros, o incremento será de 0,015m. Então baixaremos o plano de 0,015 m e em consequência, teremos um aumento nos cortes e uma redução nos aterros.

TABELA - VII

Estacas	Cota do terreno	Cota calcul.	Mov. terra (cm)	
			corte	aterro
A - 0	100,00	99,98	2	
A - 1	100,42	100,26	16	
A - 2	100,73	100,54	19	
B - 0	100,22	100,24		2
B - 1	100,43	100,52		9
B - 2	100,68	100,80		12
C - 0	100,47	100,50		3
C - 1	100,52	100,78		26
C - 2	100,76	101,06		30
D - 0	100,82	100,76	6	
D - 1	101,26	101,04	22	
D - 2	101,53	101,32	21	
			86	82
			95,0	73,0

Verificação da relação corte/aterro..... $\frac{95}{73} = 1,30$

1.6 - Cálculo do movimento de terra - poderá ser calculado multiplicando-se a soma dos cortes pela área de representação de cada estaca.

$$\text{Vol.} = \text{corte} \cdot (20\text{-m})^2$$

Logo:

$$\text{Volume de corte} = 0,95 \text{ m} \times 400\text{m}^2 = 380 \text{ m}^3.$$

Para o cálculo do volume de aterro, procede-se da mesma maneira.

Volume de aterro = $0,73\text{m} \times 400\text{m}^2 = 292\text{m}^3$.

Volume de corte por hectare.

$$VC = \frac{380 \text{ m}^3}{0,48} = 791,6 \text{ m}^3/\text{ha}$$

2 - Método do Centróide

Este método foi adaptado e aperfeiçoado por Gilvan, aos trabalhos de nivelamento dos solos.

Parte de declividades pré-estabelecidas em função do método de irrigação selecionado e das características físicas do solo, encontra o menor movimento de terra para estas condições.

Tem sido o método mais aceito entre os técnicos que lidam com irrigação. Na realidade, os declives estabelecidos em função do método de irrigação escolhido, das características físicas do solo e das perspectivas dos trabalhos executivos e operativos do projeto de irrigação e operação, compensando quase sempre a adoção do método.

Empregando-se o método para a mesma área do caso anterior e, supondo-se que necessitassémos de uma alta eficiência de rega e manejo em virtude da escassez de água e mão-de-obra, teríamos então que estabelecer uma declividade ideal no sentido longitudinal e transversal, de 0,3%. Vale lembrar, que, para este método, adotamos o mesmo sentido de irrigação que para o caso anterior.

Partindo-se, da declividade pré-estabelecida que devemos dar ao campo, podemos então partir para cálculo calculando.

2.1 - Determinação das cotas calculadas

Como já sabemos que a altura do centróide para a respectiva área é de 100,65 e que a declividade em ambos os sentidos é de 0,3%, podemos então determinar as cotas do terreno. Primeiramente calculamos o incremento para 10 m de espaçamento e em seguida calculamos as cotas (B -1) e (C -1).

O incremento, tanto para o sentido longitudinal como para o Transversal, será:

$$100 \dots\dots\dots 0,3$$

$$10 \dots\dots\dots X \quad X = \pm 0,03$$

logo:

$$B - 1 = 100,65 - 0,03 = 100,62$$

$$C - 1 = 100,65 + 0,03 = 100,68$$

Conhecendo-se (B - 1) e (C - 1), podemos determinar as demais cotas calculando o incremento para 20 m, no sentido longitudinal e transversal.

O incremento que devemos dar para ambos os sentidos, será:

$$100 \dots\dots\dots 0,03$$

$$20 \dots\dots\dots X \quad X = \pm 0,06$$

logo:

$$A - 1 = 100,62 - 0,06 = 100,56$$

$$D - 1 = 100,68 + 0,06 = 100,74$$

As outras demais cotas, são determinadas seguindo-se o mesmo critério que para o caso anterior.

Os cálculos são mostrados na tabela (V)LI).

2.2 - Ajuste de cortes e aterros

Da tabela VIII tiramos que a relação corte/aterro é de:

$$\frac{152}{148} = 1,03$$

Se a relação que desejamos $\frac{c}{a} = 1,30$, temos então que aumen
tar a altura de corte para obtermos a relação desejada.

Pela fórmula, temos:

$$\frac{z_c \pm N_c \cdot Z}{z_a \pm N_a \cdot Z} = 1,30$$

$$\frac{152 + 5Z}{148 - 6Z} = 1,30$$

$$152 + 5Z = 1,30 (148 - 6Z)$$

$$152 + 5Z = 192,4 - 7,8Z$$

$$152 + 5Z = 192,4 - 7,8Z$$

$$12,8Z = 40,4$$

$$12,8Z = 40,4$$

$$Z = 3 \text{ cm} \therefore Z = 0,03 \text{ m.}$$

Teremos então que baixar o plano de 0,03 m, para termos a rela
ção desejada.

TABELA - VIII

Estacas	Cota do terreno	Cota Calculada	Mov. terra (cm)		Cota Corrigida	Mov. terra (cm)	
			corte	aterro		corte	aterro
A -0	100,00	100,50		50	100,47		47
-1	100,42	100,56		14	100,53		11
-2	100,73	100,62	11		100,59	14	
B -0	100,22	100,56		34	100,53		31
-1	100,43	100,62		19	100,59		16
-2	100,68	100,68	-	-	100,65	3	
C -0	100,47	100,62		15	100,59		12
-1	100,52	100,68		16	100,65		13
-2	100,76	100,74	2		100,71	5	
D -0	100,82	100,68	14		100,65	17	
-1	101,26	100,74	52		100,71	55	
-2	101,53	100,80	73		100,77	76	
			152	148		170	130

Verificação da relação corte/aterro.

$$\frac{170}{130} = 1,31$$

130

2.3 - Cálculo do movimento de terra - multiplicam-se os cortes pela área de ação de cada estaca.

$$\text{Volume de corte} = \text{corte} \times 20 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume de corte} = 1,7 \text{ m} \times 400 \text{ m}^2 = 680 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. de corte por hectare} = \frac{680 \text{ m}^3}{0,488 \text{ ha}} = 1.416 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

O volume de aterro é encontrado da mesma maneira.

$$\text{Volume de aterro} = 1,3 \text{ m} \times 400 \text{ m}^2 = 520 \text{ m}^3.$$

3 - Método dos Momentos

É uma associação do método do centróide com o do quadrado mínimo.

Este método nos dá o plano que melhor se ajusta às condições naturais do terreno. Portanto, o método fornece o plano ideal que se deve dar ao campo, sendo que o seu declive obedece à conformação topográfica da área que se quer nivelar.

A maior vantagem deste método é que ele, matematicamente, se torna mais econômico e assegura um equilíbrio entre cortes e aterros sem necessidade de julgamento, baseado na capacidade prática e individual.

Para emprego deste método, inicialmente traça-se um eixo de coordenadas igual ao traçado para o método do quadrado mínimo e, em seguida calcula-se os momentos para cada linha e para cada coluna.

O momento total de (X), é dado pela soma dos momentos parciais

ais de cada coluna e o momento total de (Y), é dado pela soma dos momentos parciais de cada linha.

O momento de cada coluna é obtido, multiplicando-se a soma das cotas de cada coluna pela distância em módulos até o eixo dos Y e, o momento de cada linha é encontrado multiplicando-se a soma das cotas de cada linha pela distância em módulos até o eixo dos X.

TABELA IX (Cálculos dos momentos)

Colunas e linhas	Soma das cotas	Distância em módulos	Momentos cotas x dist. módulos
A	301,15	1	301,15
B	301,33	2	602,66
C	301,75	3	905,25
D	<u>303,61</u>	4	<u>1.214,44</u>
	1.207,84		3.023,50
0	401,51	1	401,51
1	402,63	2	805,26
2	<u>403,70</u>	3	<u>1.211,10</u>
	1.207,84		2.417,87

Vale salientar, que o plano encontrado por este método, passa também pelo centróide da área de coordenadas G (50 , 40) e altura de 100,65m.

Uma vez calculados os momentos, determinamos em seguida os fatores de (X) e de (Y).

Existem tabelas que dão o valor desses fatores em função do número de colunas e de linhas.

Na ausência de tabelas, podemos calcular os valores de X e Y pela seguinte fórmula:

$$FX = \left[\sum(X^2) - \frac{(\sum X)^2}{X} \right] \cdot Y$$

$$FY = \left[\sum(Y^2) - \frac{(\sum Y)^2}{Y} \right] \cdot X$$

Logo, temos:

$$\sum(X^2) = 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 = 30$$

$$(\sum X)^2 = (1 + 2 + 3 + 4)^2 = 100$$

$$\sum(Y^2) = 1^2 + 2^2 + 3^2 = 14$$

$$(\sum Y)^2 = (1 + 2 + 3)^2 = 36$$

Substituindo

$$FX = \left[30 - \frac{100}{4} \right] \cdot 3$$

$$FX = 15$$

$$FY = \left[14 - \frac{36}{3} \right] \cdot 4$$

$$FY = 8$$

Os declives respectivos nos sentidos X e Y, serão dados pela fórmula:

$$X = \frac{\sum MX - (HC \cdot N \cdot X_m)}{FX}$$

$$Y = \frac{\sum MY - (HC \cdot N \cdot Y_m)}{FY}$$

X = declive dado em módulos

$\sum MX$ = soma dos momentos de X

HC = altura do centróide

N = nº de estacas na área

X_m = abcissa do entróide em módulos (2,5)

\bar{Y} = declive em módulos no sentido do eixo dos Y

$\sum MY$ = soma dos momentos de Y

Y_m = ordenada do entróide (2,0)

FY = fator Y

FX = fator de X

Substituindo os valores na fórmula, temos:

$$X = \frac{3.023,50 - (100,65 \times 12 \times 2,5)}{15}$$

$$X = 0,27 \text{ m/módulo}$$

$$X = \frac{0,27}{20} \times 100 \quad \underline{X = 1,33\%}$$

$$Y = \frac{2.417,87 - (100,65 \times 12 \times 2,0)}{8}$$

$$Y = 0,28 \text{ m/módulo}$$

$$Y = \frac{0,28}{20} \times 100 \quad \underline{Y = 1,42\%}$$

3.2 - Determinação das cotas calculadas - calcula-se o incremento para 10 metros e em seguida determina-se as cotas B - 1 e C - 1.

Incremento - 100..... 1,33
 10..... X X = $\frac{1}{10}$ 0,13 m

logo:

$$B - 1 = 100,65 - 0,13 = 100,52$$

$$C - 1 = 100,65 + 0,13 = 100,78$$

Para as demais cotas, temos que calcular o incremento para 20m em ambos os sentidos e daí fazer as respectivas determinações das cotas.

O incremento para o sentido (O - P), será:

$$100 \dots \dots \dots 1,33$$

$$20 \dots \dots \dots X \quad X = \pm 0,26 \text{ m}$$

Para o sentido (N - S), temos:

$$100 \dots \dots \dots 1,42$$

$$20 \dots \dots \dots Y \quad Y = \pm 0,28 \text{ m}$$

Dentro da aproximação adotada (cm), observamos pelos incrementos encontrados, que teremos um plano idêntico ao encontrado pelo método do quadrado mínimo.

A tabela VII e conseqüente movimento de terra, são portanto, válidos para este método.

Entretanto, sabemos que para a maioria dos projetos de irrigação onde se faz necessário o uso da sistematização, este método, nos leva a um menor movimento de terra que os dois métodos anteriores mostrados neste trabalho.

4 - Método das teclas de Piano

Este método é uma adaptação do método do quadrado mínimo, feito para possibilitar o nivelamento de solos rasos re

quando se trata de um terreno com declividade de movimento de terra.

Este método divide o terreno a ser nivelado em faixas de comprimento igual ou múltiplo do comprimento dos sulcos e de largura de 01 ou 02 módulos. (distância entre estacas)

Cada faixa é calculada independentemente, tendo declividade transversal igual a zero e declividade longitudinal calculada.

O necessário excesso de corte sobre aterro, pode ser obtido como nos casos anteriores, baixando o plano de nivelamento sem alterar a declividade.

Área a sistematizar

	A	B	C	D		
1	100,00	100,22	100,47	100,82	401,51	- 100,38
2	100,42	100,43	100,52	101,26	402,63	- 100,66
3	100,73	100,68	100,76	101,53	403,70	- 100,93
	301,15	301,33	301,75	303,61	= 1.207,84	391,97

4.1 - Cálculo das teclas - neste item, determinamos a declividade de longitudinal de cada faixa.

TECLA - 1

Ym	Hm	Ym.Hm
1	100,00	100,00
2	100,22	200,44
3	100,47	301,41
4	100,82	403,28
	401,51	1.005,13

Cota média = $\frac{\sum Hm}{m} = \frac{401,51}{4} = 100,38$

Declividade longitudinal - a declividade longitudinal das

clas é dada pela fórmula:

$$IY = \frac{12 \sum_{m=1}^m Y_m H_m - 6 (m+1) \sum_{m=1}^m H_m}{a (m-1) m (m+1)}$$

IY = declividade longitudinal

Y_m = nº de ordem dos pontos segundo o eixo dos Y

H_m = média das cotas das faixas transversais paralelas ao eixo dos X

m = nº de eixos transversais

a = equidistância dos eixos

Logo a declividade longitudinal da TECLA - 1, será:

$$IY = \frac{12 \times 1.005,13 - 6 (4 + 1) \cdot 401,51}{20 (4 - 1) \cdot 4 (4 + 1)}$$

$$IY = 0,013$$

$$IY = 1,3\%$$

TECLA - 2

Y_m	H_m	$Y_m \cdot H_m$
1	100,42	100,42
2	100,43	200,86
3	100,52	301,56
4	101,61	405,04
	402,63	1.007,88

$$\text{Cota média} = \frac{\sum H_m}{m} = \frac{402,63}{4} = 100,66$$

Declividade da tecla.

$$IY = \frac{12 \times 1.007,88 - 6(4+1) \cdot 402,63}{20(4-1) \cdot 4(4+1)} = 0,013$$

$$IY = 1,3\%$$

TECLA - 3

Ym	Hm	Ym.Hm
1	100,73	100,73
2	100,68	201,36
3	100,76	302,28
4	<u>101,53</u>	<u>406,12</u>
	403,70	1.010,49

$$\text{Cota média} = \frac{\sum H_m}{m} = \frac{403,70}{4} = 100,93$$

Declividade da tecla

$$IY = \frac{12 \times 1.010,49 - 6(4+1) \cdot 403,70}{20(4-1) \cdot 4(4+1)} = 0,012$$

$$IY = 1,2\%$$

4.2 - Determinação da cota calculada

Para encontrarmos as cotas calculadas, temos que determinar o incremento para o sentido longitudinal.

Como sabemos que a cota média está afastada de 10m das estacas B e C de cada uma das teclas, temos então, que, uma vez calculado o incremento para cada uma das teclas, teremos determinadas

as respectivas cotas calculadas para as estações B e C de cada tecla.

Incremento

Tecla - 1

100..... 1,3

10..... X $X = \pm 0,13\text{m}$ (para 10 m)

100..... 1,3

20..... X $X = \pm 0,26\text{m}$ (para 20 m)

Cotas calculadas da tecla - 1

$$B = 100,38 - 0,13 = 100,25$$

$$C = 100,38 + 0,13 = 100,51$$

$$A = 100,25 - 0,26 = 99,99$$

$$D = 100,38 + 0,26 = 100,77$$

Para se determinar as demais cotas, procede-se da mesma maneira. Os resultados são mostrados na tabela - X

4.3 - Ajuste de cortes e aterros

Assim como cada faixa é calculada independentemente, o ajuste da relação corte / aterro, é também determinado de maneira independente para cada faixa.

Tecla - 1

O fator de correção será:

$$\frac{\sum c \pm Nc.Z}{\sum a \pm Na.Z} = 1,30$$

$$\sum a \pm Na.Z$$

$$6 + 2Z = 1,30 \quad (7 - 2Z)$$

$$6 + 2Z = 9,1 - 2,6Z$$

$$4,6Z = 0,7 \text{ cm}$$

Para esta tecla baixaremos o plano de 0,007 m, aumentando os cortes e diminuindo os aterros.

Tecla - 2

$$\underline{36 + 2Z} = 1,30$$

$$37 - 2Z$$

$$36 + 2Z = 1,30 \quad (37 - 2Z)$$

$$36 + 2Z = 48,1 - 2,6Z$$

$$4,6Z = 12,1$$

$$Z = 2,6 \text{ cm.}$$

Logo, baixaremos o plano de 0,026 m para aumentarmos os cortes.

Tecla - 3

$$\underline{40 + 2Z} = 1,30$$

$$42 - 2Z$$

$$40 + 2Z = 1,30 \quad (42 - 2Z)$$

$$40 + 2Z = 54,6 - 2,6Z$$

$$4,6Z = 14,6$$

$$Z = 3,2 \text{ cm.}$$

Nesta tecla, teremos portanto que baixar o plano de 0,032 m, para termos um aumento nos cortes e diminuição nos aterros.

As cotas corrigidas são mostradas na tabela XI.

Linha (tecla)	Coluna	Cota do terreno	Cota calculada	Mov. terra (cm)		Cota Corrigida	Mov. terra (cm)	
				cutte	Aterro		cutte	aterro
1	A	100,00	99,99	1		99,983	1,7	
	B	100,22	100,25		3	100,243		2,3
	C	100,47	100,51		4	100,503		3,3
	D	100,82	100,77	5		100,763	5,7	
				6	7		7,4	5,6
2	A	100,42	100,27	15		100,244	17,6	
	B	100,43	100,53		10	100,504		7,4
	C	100,52	100,79		27	100,764		24,4
	D	101,26	101,05	21		101,024	23,6	
				36	37		41,2	31,8
3	A	100,73	100,57	16		100,538	19,2	
	B	100,68	100,81		13	100,778		9,8
	C	100,76	101,05		29	101,018		25,8
	D	101,53	101,29	24		101,258	27,2	
				40	42		46,4	35,6

Verificação da relação corte/aterro.

Tecla - 1 - - - - - $\frac{7,4}{5,6} = 1,32$

Tecla - 2 - - - - - $\frac{41,2}{31,8} = 1,29$

Tecla - 3 - - - - - $\frac{46,4}{35,6} = 1,30$

4.4 - Cálculo do movimento de terra

$$\text{Volume de corte} = 0,95 \text{ m} \times (20 \text{ m})^2$$

$$\text{Volume de corte} = 380 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volume de aterro} = 0,73 \text{ m} \times (20 \text{ m})^2$$

$$\text{Volume de aterro} = 292 \text{ m}^3.$$

Volume de corte por hectare.

$$VC = \frac{380}{0,48 \text{ ha}} = 791,6 \text{ m}^3/\text{ha}$$

0,48 = área estimada em hectares

5 - Método Expedito

Consiste em se fazer um estudo separado de cada linha de estacas pertencentes a área, com a finalidade de ver os cortes e aterros que se deve executar para deixar o terreno com uma declividade uniforme.

Para se fazer uso deste método, temos primeira mente que pré-determinar a declividade que devemos dar ao campo. Esta declividade, poderá ser de acordo com a declividade natural do terreno ou do método de irrigação escolhido.

O nivelamento das faixas é feito de maneira independente e, uma vez tendo-se o declive que devemos dar a cada uma das linhas, podemos sem muito trabalho achar as cotas calculadas.

Estabelecendo-se a cota calculada da primeira e da última estaca, as cotas intermediárias serão calculadas a partir da primeira estaca, obedecendo o declive estabelecido.

A diferença entre as cotas do terreno e as cotas calculadas, nos dá os cortes e aterros que devemos fazer no ter

reno, para chegarmos ao declive desejado - 0,4% - na área em estudo.

Aplicação do método

Aplicando o método, para a mesma área dos casos anteriores e supondo-se que necessitássemos de uma alta eficiência de rega, estabelecemos a declividade ideal como sendo i gual a 0,4%.

5.1 - Determinação das cotas calculadas

COLUNA - 1

Distância de D-1 para A-1 = 60 metros.

Diferença de nível de D-1 para A-1 = 0,82 m.

Declive ideal = 0,4%.

Como queremos deixar o terreno com uma declividade de 0,4%, temos que para 60m, o declive será:

100..... 0,4

60..... X X = 0,24 m.

Logo, a diferença de nível de D-1 para A-1 deverá ser diminuída para que tenhamos a declividade ideal de 0,24m para 60 metros.

ou seja:

$$0,82 - 0,24 = 0,58 \text{ m}$$

Logo, para não termos grandes aterros ou cortes, podemos baixar D-1 de 0,29 e elevar A-1 de 0,29m.

Com isto, podemos então calcular as cotas para a coluna -1.

$$D-1 = 100,82 - 0,29 = 100,53$$

$$C-1 = 100,53 - 0,08 = 100,45$$

$$B-1 = 100,45 - 0,08 = 100,37$$

$$A-1 = 100,37 - 0,08 = 100,29$$

Vale salientar, que 0,08m corresponde ao declive em 20m no sen

Para as demais colunas segue-se o mesmo raciocí-
nio adotado para a primeira.

Logo teremos:

COLUNA - 2

$$D-2 - A-2 = 101,26 - 100,42 = 0,84$$

$$0,84 - 0,24 = 0,60 \text{ m} \quad 0,60 / 2 = 0,30$$

$$D-2 = 101,26 - 0,30 = 100,96$$

$$C-2 = 100,96 - 0,08 = 100,88$$

$$B-2 = 100,88 - 0,08 = 100,80$$

$$A-2 = 100,80 - 0,08 = 100,72$$

COLUNA - 3

$$D-3 - A-3 = 102,53 - 100,73 = 0,80 \text{ m}$$

$$0,80 - 0,24 = 0,56 \text{ m}$$

$$0,56 / 2 = 0,28 \text{ m}$$

$$D-3 = 102,53 - 0,28 = 101,25$$

$$C-3 = 101,25 - 0,08 = 101,17$$

$$B-3 = 101,17 - 0,08 = 101,09$$

$$A-3 = 101,09 - 0,08 = 101,01$$

5.2 - Ajuste de cortes e aterros - da tabela III tiramos:

$$\frac{C_c}{N_c} = \frac{N_c \cdot Z}{N_c \cdot Z} = 1,30$$

$$C_a = N_a \cdot Z$$

$$\frac{89 + 4Z}{257 - 8Z} = 1,30$$

$$89 + 4Z = 1,30 (257 - 8Z)$$

$$89 + 4Z = 334,1 - 10,4Z \quad \therefore 14,4Z = 245,1$$

$$Z = 17 \text{ cm}$$

TABELA - III

Estacas	Cota do terreno	Cota Calculada	Mov. terra (cm)		Cota Corrigida	Mov. terra (cm)		
			corte	aterro		corte	aterro	
D-1	100,82	100,53	29		100,36	46		
C-1	100,47	100,45	2		100,28	19		
B-1	100,22	100,37		15	100,20	2		
A-1	100,00	100,29		29	100,12		12	
D-2	101,26	100,96	30		100,79	47		
C-2	100,52	100,88		36	100,71		19	
B-2	100,43	100,80		37	100,63		20	
A-2	100,42	100,72		30	100,55		13	
D-3	101,53	101,25	28		101,08	45		
C-3	100,76	101,17		41	101,00		24	
B-3	100,68	101,09		41	100,92		24	
A-3	100,73	101,01		28	100,84		11	
			89	257			159	123

Verificação da relação corte / aterro.

$$\frac{159}{123} = 1,29$$

5.3 - Cálculo do movimento de terra. - é dado pela altura do corte em metros multiplicada pela área de ação da estaca.

$$\text{Vol. corte} = \text{corte (m)} \times (20\text{m})^2$$

$$\text{Vol. corte} = 1,59\text{m} \times 400\text{m}^2$$

$$\text{Vol. corte por hectare} = \frac{636\text{ m}^3}{0,48\text{ha}} = 1325\text{ m}^3/\text{ha.}$$

$$\text{Vol. de aterro} = 1,2^2 \times 400 = 492 \text{ m}^3.$$

$$\text{Vol. de aterro por hectare} = \frac{492 \text{ m}^3}{0,48\text{ha}} = 1025 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Obs: Vale lembrar que, para este método, o sistema de eixos coordenados foi invertido.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - BARRIOS, José - Nivelamento de Terras - Informativo nº 1
Capítulo III - Tradução de Aida N. de Oliveira
SUDENE - Petrolina (PE), Maio de 1.973
- 2 - BRANDÃO, João Coelho - Sistematização do solo - SUDENE-
Petrolina (PE), Junho de 1.973
- 3 - CASANOVA, J. Arrichi De - Terraplenagem Mecânica de So-
los para Culturas Irrigadas pelos Métodos de Sul-
cos e Faixas de escoamento - Serviço Du Genie
Rural - Tradução de Heitor Hugo da Silveira - SU-
DENE - Petrolina (PE), Maio de 1.973
- 4 - DAKER, Alberto - A Água na Agricultura, 3º volume (Irri-
gação e Drenagem) - Livraria Freitas Bastos S.A.
Terceira Edição - Rio de Janeiro (RJ), 1.970
- 5 - GRASSI, Carlos J. - Métodos de Riego - CIDIAT, 1.975
- 6 - MANZAN, Renato Jácomo - Terraplenagem (Princípios e
Máquinas) - Fundação Universidade de Brasí-
lia - Brasília (DF), 1.973
- 7 - MANZAN, Renato Jácomo - Sistematização do Solo e Cál-
culo do Volume de Terra - Fundação Universi-
dade de Brasília - Brasília (DF), 1.973
- 8 - NÓBREGA, Celso & Outros - Projeto de Sistematização-
Área do Projeto Bebedouro - Curso de Sistema-
tização para Irrigação - Relatório Nº 3 - SU-
DENE - Petrolina (PE), Junho de 1.973
- 9 - PARRENTE, Raimundo & SILVEIRA, Heitor - Sistematização
do Projeto Piloto de Irrigação do Baixo Ja-
guaribe - Projeto de Irrigação de Morada Nº