

(\*) Engenheiro-Terrafoto S.A. Atividades de Aerolevantamentos

## Cálculo de volume pelo método fotogramétrico

### Introdução

O sistema fotogramétrico já passou de muito na sua utilização como uma forma apenas de confecção de plantas ou cartas planialtimétricas de uma região.

A TerraFoto S/A. — Atividades de Aerolevantamentos, vem através de seu corpo técnico criar um elo entre os serviços aerofotogramétricos e sua aplicação na engenharia.

Hoje usamos o método fotogramétrico em grande escala para estudos preliminares anteprojetos de grandes obras de engenharia.

Uma de suas utilizações na área da engenharia civil seria obtenção dos volumes de cortes e aterros e determinação da otimização das cotas de um lay-out.

Consideramos que em uma área de grandes dimensões o método convencional para determinação de volume é mais dispendioso que o fotogramétrico em ônus e tempo, além de evitar quase que totalmente o problema especulativo, no caso de estradas, aeroportos, etc.

A precisão dos resultados estarão devidamente relacionados com a escala das fotos utilizadas, bem como do equipamento aerofotogramétrico.

O objetivo desse trabalho é prestar alguns esclarecimentos sobre os critérios para cálculo utilizados para otimização das cotas das pistas, bem como pa-

ra obtenção dos volumes de corte e aterro de um aeroporto.

A área escolhida para nosso trabalho foi a de Cotia, abrangendo 60 km<sup>2</sup>, formando um quadrilátero de 12 x 5 km.

A escala de vôo escolhida para o trabalho foi 1:20.000, considerando a vegetação existente. Observamos que para um estudo preliminar a escala 1:20.000 de vôo, nos daria uma visão maior na área florestal podendo-se com um aparelho de nível do A-10, aparelho utilizado, chegar-se a resultados compatíveis com a fase preliminar dos estudos.

Definimos também que teoricamente o aparelho utilizado autógrafo WILD A-10, daria uma precisão altimétrica de 0,04 m para cada 1.000 m de altura de vôo, no caso teríamos uma precisão teórica para mais e para menos de 0,16 m.

Paralelo aos estudos preliminares de fotogrametria e baseado em levantamento já existente na região, escolhemos através das curvas de nível a cota que preliminarmente seria a cota ótima a implantação do aeroporto, considerando que o volume de corte seria igual a volume de aterro. A esse corte foram incluídos os possíveis arrazamentos necessários para instalação do ILS nas cabeceiras das pistas e atingindo 45,00 m acima da cota ótima dentro da área escolhida, tendo como centro o eixo do aeroporto.

Para este estudo consideramos duas pistas de 4.500 m de

comprimento em cada uma, mais 600 m de prologamento em cada cabeceira (necessária a instalação do ILS), e uma largura de 300 m (a fim de permitir pouso por instrumentos), aumentando de 200 m na parte interna, para a execução de pistas de rolamento.

As duas pistas são paralelas, com distâncias entre eixos de 2.000 m com uma decolagem de 1.500 m.

Os pátios e terminais com dimensões de 2.000 m por 1.700 m e 2.000 por 2.200 m, respectivamente para Lo = 2.000 e Lo = 2.500. Os lay-outs estão apresentados a seguir.

### Metodologia

#### Vôo Fotogramétrico

O vôo fotogramétrico foi realizado a uma altura de 3.040 m devido a região a ser estudada se encontrar na reserva florestal de Cotia, a uma velocidade de vôo de 400 km/h e abertura de diafragma com velocidade de 1:500, facilitando a visibilidade da superfície do terreno entre as árvores.

#### Apoio Fotogramétrico

O apoio para aerofotogrametria, teve como origem vértices de triangulação de primeira ordem do I.B.G.E., dando origem ao apoio fotogramétrico e as coordenadas que iriam definir a área de domínio do aeroporto (60 km/2).

Para aumentar a precisão altimétrica, determinamos no terreno com vegetação alta 56 pon-

tos altimétricos reconhecíveis, nas fotos que permitiram determinar as alturas aproximadas das árvores.

### Hipóteses para o Cálculo dos Volumes

A superfície horizontal das pistas e dos pátios, foi subdividida em quadrados de 50,00 m de lado e foram calculados os volumes dos prismas constituídos pelos quadriláteros e as suas projeções ortogonais no terreno (ver ilustração 1).

A distância entre as linhas da malha (50,00 m), foi fixada em função da escala das fotografias e plantas utilizadas, a fim de que, as projeções ortogonais dos quadrados na superfície do terreno, pudessem ser consideradas planas, e os volumes correspondentes, elementares.

O volume final foi obtido pela somatória destes volumes elementares.

### Digitalização das Cotas do Terreno

Foram digitalizados todos os ângulos de cada um dos quadriláteros. Para efeito de cálculo

considerou-se a cota média de cada 4 cantos, fazendo assim essa cota média corresponder a cota de cada prisma elementar, utilizando autógrafo do tipo WILD A-10 com registrador EK.22 perfiloscópio acoplado. Das listagens de cotas assim obtidas, foram selecionadas as dos pontos contidos nos layouts.

Este trabalho foi realizado com fotografias na escala 1:20.000 com auxílio de planta 1:5.000 quadriculadas de 50 em 50 m.

### Cálculo da Cota do Plano Médio

Foi calculada a média aritmética das cotas dos pontos acima citados, e obteve-se a cota do plano para o qual o volume de corte é igual ao volume de aterro, sem empolamento.

Esta cota foi calculada a fim de se obter uma aproximação da cota do plano ótimo.

### Cálculo dos Volumes

Foram elaborados cálculos sucessivos do volume, para cál-

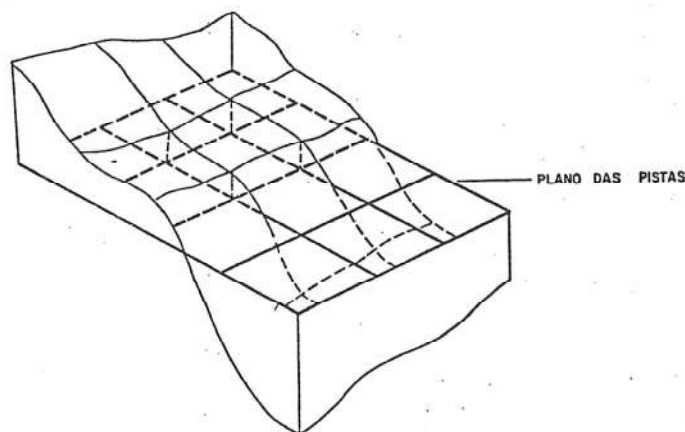


ILUSTRAÇÃO 1 - DIVISÃO DO PLANO EM ÁREAS ELEMENTARES

### Volumes Calculados

Área do Lay-out = 9.300.000 m<sup>2</sup>  
 Área de Arrazamento = 3.155.000 m<sup>2</sup>  
 Cota do Plano ótimo = 910.78 m  
 V corte = V aterro = 93.362.559.62 m<sup>3</sup>

Cota do Plano (m)	Volume de Arrazamento (m <sup>3</sup> )	Volume de Corte Total (m <sup>3</sup> )	Volume de Aterro (m <sup>3</sup> )	Bota Fora (m <sup>3</sup> )	Empréstimo (m <sup>3</sup> )
910.78	35540151.11	93362659.62	93384225.76	0.0	21566.14
911.78	32694905.24	86289196.85	99547633.52	0.0	13258436.67
911.28	34089941.73	89776507.34	96440589.49	0.0	6664082.15
910.28	37035882.46	97045062.59	90386072.99	6658989.61	0.0
909.78	38586588.11	100834390.31	87447390.90	13386999.40	0.0



culos dos volumes dos arrazamentos compreendidos na área de utilidade pública, foram tomados planos situados 45 m acima daqueles considerados para os lay-outs.

Utilizou-se o computador IBM/370 para os cálculos de volumes, utilizando-se as seguintes expressões:

Corte  $(C_x' - C_p) > 0$

$$V_{Cp} = 2500 \left\{ \sum_{i=1}^n (C_i - C_p) + \sum_{k=1}^m C_k - [ (C_p + 45,00) ] \right\}$$

Aterro  $(C_i - C_p) < 0$

$$V_{Ap} = 1,3 \times 2500 \times \sum_{i=1}^n (C_i - C_p)$$

onde,

$C_i$  = cota do terreno (m)

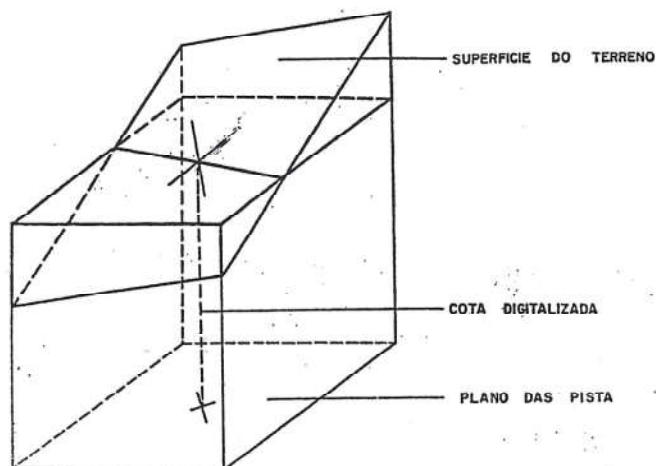
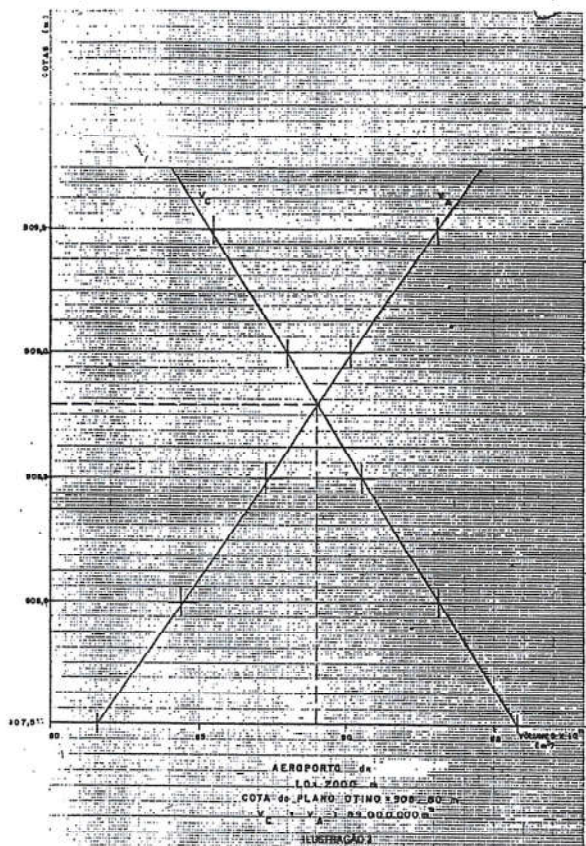
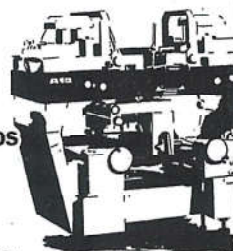


ILUSTRAÇÃO 2 - VOLUME ELEMENTAR

- triangulação aérea
- digitalização
- entrada para banco de dados
- apoio aerofotogramétrico



Levantamentos Aerofotogramétricos Para:

- projetos de estradas
- aproveitamentos hidroelétricos
- plantas cadastrais
- projetos de irrigação



**MAPSERVICE**

SERVIÇOS DE MAPEAMENTO LTDA.

RUA PAGEÙ, 38 SP fones 275 7321 e 276 0639

## GABARITO DOS ARRAZAMENTOS

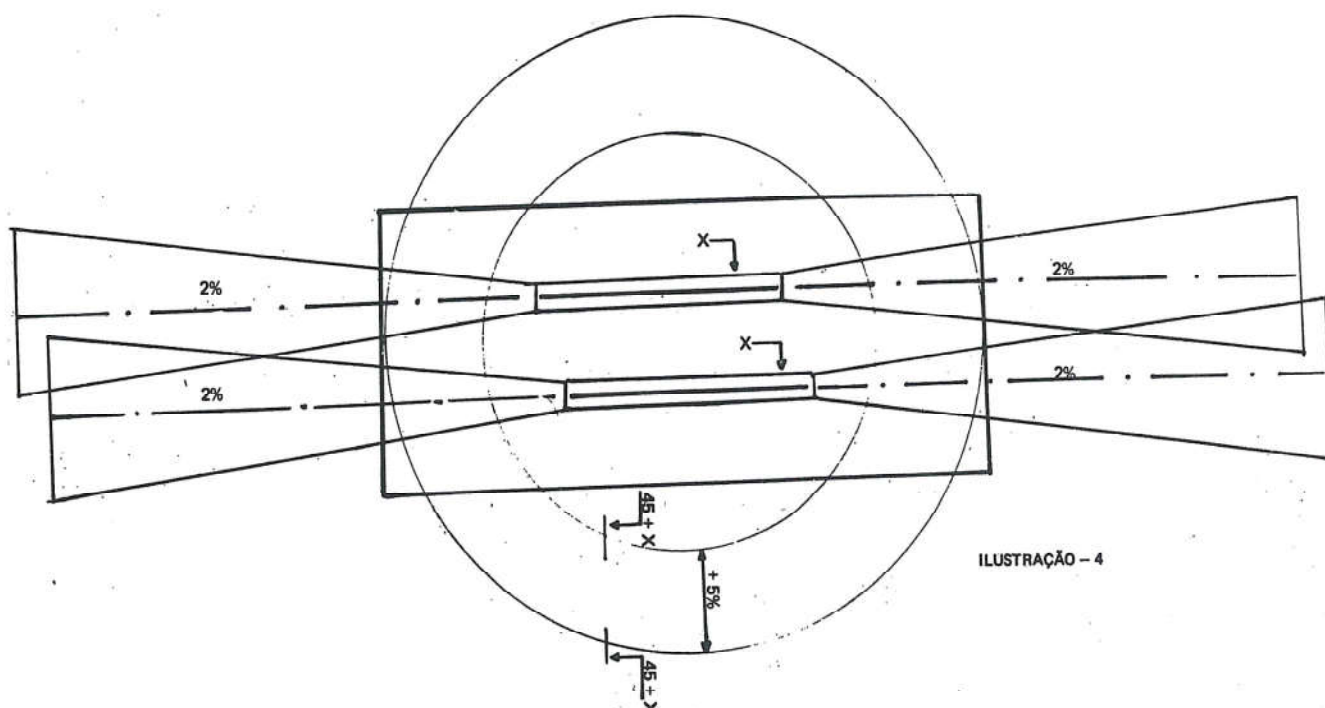


ILUSTRAÇÃO - 4

$C_p$  = cota do plano (m)

$C_k$  = cota do terreno dos arrazamentos (m)

$n$  = número de pontos nos lay-outs

$m$  = número dos pontos nos arrazamentos

2500 = área elementar ( $m^2$ )

1,3 = fator do empolamento

$V_{Cp}$  = volume do corte para o plano de cota  $C_p$  ( $m^3$ )

$V_{Ap}$  = volume de aterro para o plano de cota  $C_p$  ( $m^3$ )

partir da cota do plano médio, tomada como limite superior. Observou-se a linearidade da distribuição dos volumes neste intervalo, o que simplificou a determinação da melhor cota.

## Determinação do Plano Ótimo

A cota mais adequada para a implantação das pistas do aeroporto, foi determinada por processo gráfico, como se segue: Os resultados obtidos do cálculo dos volumes de corte e de aterro, foram lançados num sistema de coordenadas cartesianas (volumes x cotas dos planos das pistas). O ponto comum às duas curvas assim obtidas tem como ordenada a cota do plano ótimo, e como abscissa o volume de terraplenagem ( $V_A = V_C + V$  arrazamentos; ver ilustrações 3 e 4). Estes volumes foram obtidos variando-se a cota do plano de 0,5 em 0,5 m, num intervalo de 4,0 m a

## Resultado Obtido

Aeroporto Cotia

$L_o = 2.000$  m

Cota do plano ótimo = 908,8m

Volume de corte = volume de aterro:

89.000.000  $m^3$  (ver ilustração 3)

$L_o = 2.500$  m

Cota do plano ótimo = 909,2m

Volume de corte = volume de aterro = 95.700.000  $m^3$  (ver ilustração 4).

