

TRANSPORTES 1

Aula 6

Diagrama de Bruckner

Transportes

NOÇÕES DE TERRAPLENAGEM

- O custo do movimento de terra é, na maioria dos projetos, significativo em relação ao custo total da estrada, sendo, portanto um item importante a ser analisado.
- Nos locais onde os materiais de corte tiverem condições de serem usados nos aterros, o equilíbrio entre volumes de cortes e aterros, minimizando empréstimos e/ou bota-foras, acarreta em menores custos de terraplenagem.
- O movimento de terras é uma ciência que engloba tanto o cálculo dos volumes a mover como os princípios de execução do trabalho.

Transportes

NOÇÕES DE TERRAPLENAGEM

Cálculo de Volumes

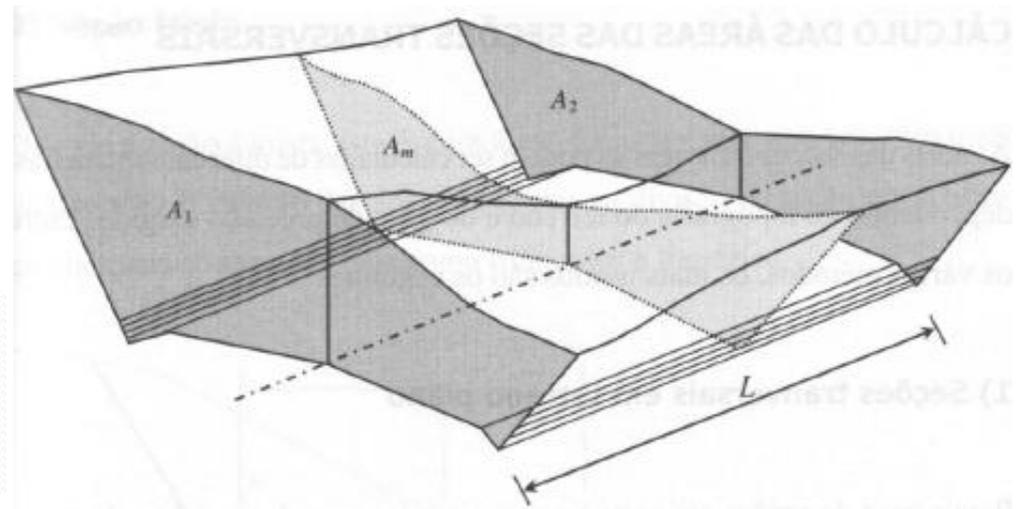
- Para o cálculo do volume de terra a mover numa estrada, é necessário supor que existe um determinado sólido geométrico cujo volume será facilmente calculado.

$$V = \frac{L}{6} \cdot (A_1 + 4 \cdot A_m + A_2)$$

A_1 e A_2 : áreas das seções transversais extremas

A_m : área da seção transversal no ponto médio entre A_1 e A_2

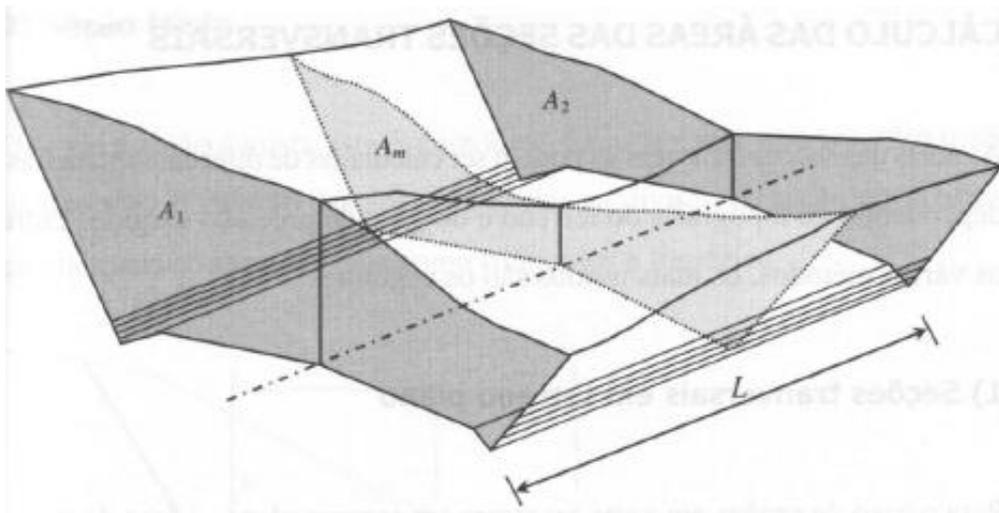
L : distância entre as seções A_1 e A_2 .



Transportes

NOÇÕES DE TERRAPLENAGEM

- Uma fórmula aproximada comumente utilizada para o cálculo dos volumes dos prismóides é chamada fórmula das áreas médias. Ela se deduz da fórmula anterior, substituindo A_m por $(A_1 + A_2)/2$.

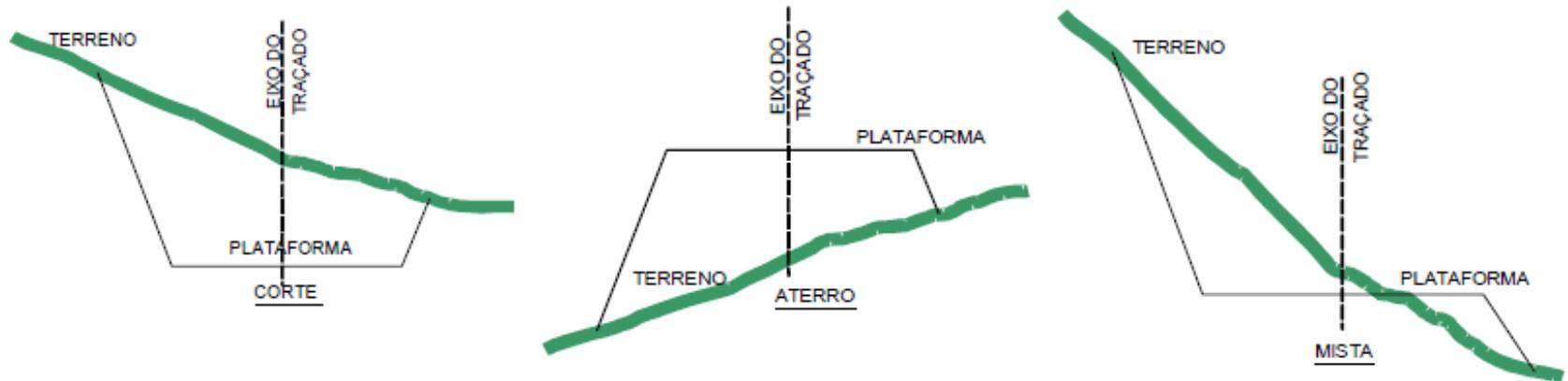


$$V_m = \frac{L}{2} (A_1 + A_2)$$

Transportes

NOÇÕES DE TERRAPLENAGEM

SEÇÕES TRANSVERSAIS



Transportes

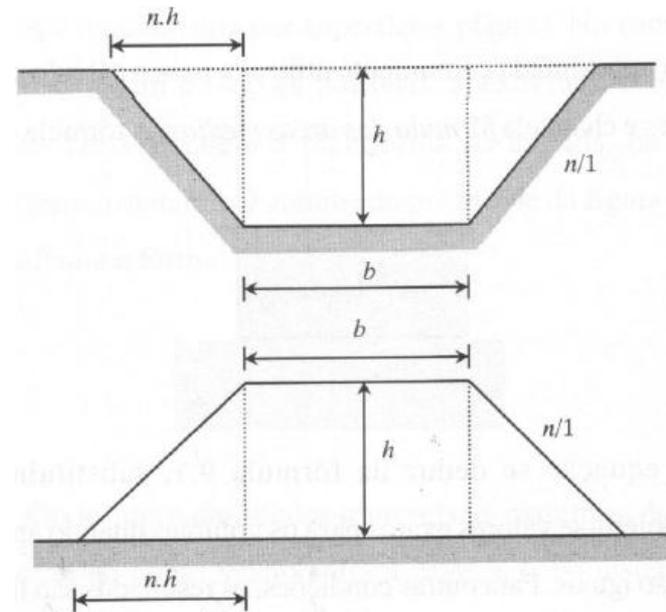
NOÇÕES DE TERRAPLENAGEM

Cálculo das áreas das seções transversais

•As áreas das seções transversais podem ser calculadas de diferentes maneiras, dependendo da topografia do terreno e do grau de precisão exigido.

1) Seções transversais em terreno plano

$$A = b \cdot h + 2 \cdot \frac{nh \cdot h}{2} = h \cdot (b + nh)$$

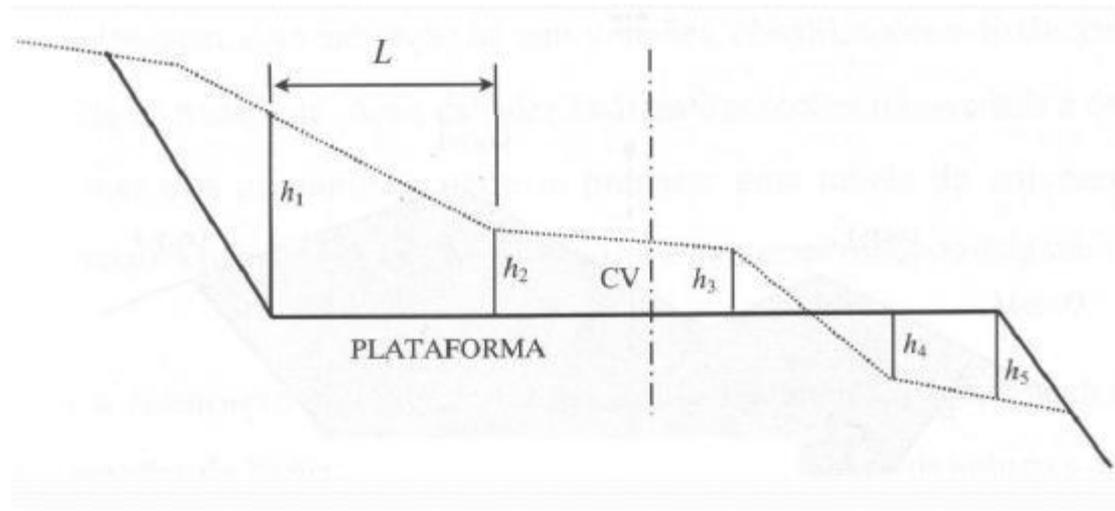


Transportes

NOÇÕES DE TERRAPLENAGEM

Cálculo das áreas das seções transversais

2) Seção Mista



Quando a seção é mista, isto é, com áreas de corte e aterro, o processo mais prático para o cálculo das áreas baseia-se na divisão da seção em figuras geométricas conhecidas, tais como triângulos e trapézios.

Transportes

NOÇÕES DE TERRAPLENAGEM

Cálculo dos Volumes

Admite-se que o terreno varia de forma linear entre duas seções consecutivas, o que de certa forma para distância entre seções de 20 m não gera erros significativos. O processo consiste no levantamento das seções transversais em cada estaca inteira do traçado (estaca de 20 m).

O volume de terra entre as seções consecutivas será calculado como:

$$V_c = (A_{c_i} + A_{c_{i+1}}) \times L / 2$$

$$V_a = (A_{a_i} + A_{a_{i+1}}) \times L / 2$$

Para $L = 20$ metros:

$$V_c = (A_{c_i} + A_{c_{i+1}}) \times 10$$

$$V_a = (A_{a_i} + A_{a_{i+1}}) \times 10$$

V_c = volume de corte (m^3)

V_a = volume de aterro (m^3)

A_c = área de corte da seção i (m^2)

A_c = área de corte da seção i (m^2)

L = distância entre seções (m)

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Definições:

1 - PONTOS DE PASSAGEM (PP)

Pontos onde terminam os cortes e começam os aterros e pontos onde terminam os aterros e começam os cortes.

2 - VOLUMES DOS CORTES E ATERROS

Os volumes geométricos totais dos cortes e/ou aterros podem ser obtidos pela somatória dos valores calculados entre as suas diversas seções.

a) Quando o volume de corte é maior que o do aterro: $V_c > V_a$

- V_a = volume compensado lateralmente: esse volume será escavado no corte e depositado no aterro da própria seção, portanto não estando sujeito a transporte no sentido longitudinal da estrada, $V = V_a$

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Definições:

2 - VOLUMES DOS CORTES E ATERROS

- $V = V_c - V_a$ = volume de corte do trecho entre seções que será escavado no corte e transportado para um aterro conveniente, estando, portanto, sujeito a transporte longitudinal.

b) Quando o volume de aterro é maior que o do corte: $V_a > V_c$

- V_c = volume compensado lateralmente, $V = V_c$

- $V = V_a - V_c$ = volume de aterro do trecho com transporte longitudinal.

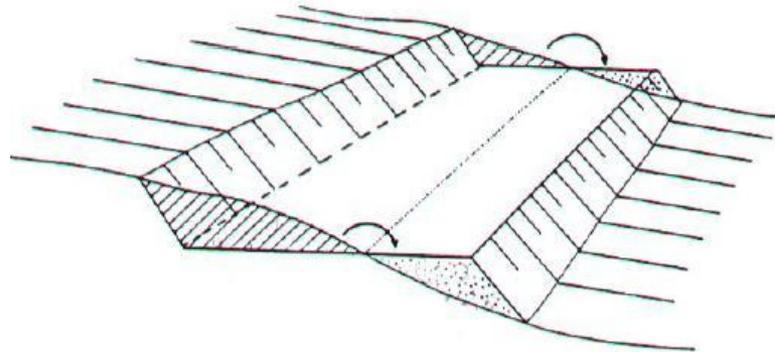
Para os dois casos (1 e 2) o volume V compensado lateralmente será sempre o menor dos volumes V_a ou V_c e o volume sujeito à transporte longitudinal será sempre a diferença entre o maior e o menor volume.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Definições:

3 - COMPENSAÇÃO DE VOLUMES



$$V_{\text{CORTE}} = 350 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ATERRO}} = 300 \text{ m}^3 \text{ (homogeneizado)}$$

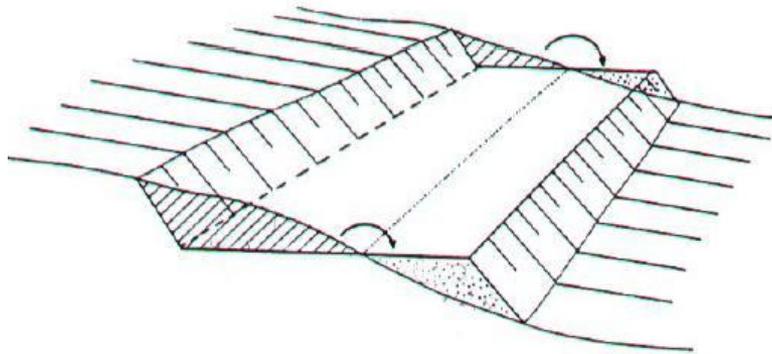
$$\text{COMP LATERAL} = 300 \text{ m}^3$$

$$\text{COMP LONGITUDINAL} = 50 \text{ m}^3 \text{ (da corte)}$$

O volume **V** (volume compensado lateral) será transportado dos cortes para os aterros no próprio trecho e não será considerado na compensação longitudinal da estrada. Os demais volumes serão escavados nos cortes, transportados e aplicados nos aterros, quando os materiais de corte servirem para a execução dos aterros. Quando isso não ocorre os materiais de corte serão escavados e transportados para local conveniente, fora da estrada, em uma operação definida como **bota-fora**.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS



$V_{\text{CORTE}} = 350 \text{ m}^3$	}	COMP LATERAL = 300 m^3
$V_{\text{ATERRO}} = 300 \text{ m}^3$ (homogeneizado)		COMP LONGITUDINAL = 50 m^3 (da corte)

A operação de transporte dos materiais dos cortes para os aterros será denominada "compensação longitudinal de volumes" ou simplesmente compensação de volumes. Quando não ocorre compensação total de volumes pode sobrar terra (bota-fora) ou faltar terra. O material faltante para os aterros deve ser escavado, em local conveniente, transportado e depositado nos aterros em uma operação denominada **empréstimo**.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Podem ocorrer casos em que, mesmo os volumes de corte iguais aos de aterro, as distâncias de transportes dos cortes para os aterros seja muito grande, ou as condições de transporte desfavoráveis, gerando um custo de transporte (escavações e transporte de materiais escavados) muito alto.

Custo de compensação dos volumes = custo de escavação + custo de transporte

Custo de não compensação = custo de escavação + custo de transporte para bota-fora + custo de escavação do material de empréstimo + custo de transporte de empréstimo

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

4 - CÁLCULO DOS VOLUMES ACUMULADOS

Convenção para medida de volumes:

- positiva para medida dos volumes de corte (+Vc)
- negativa para os volumes de aterros (-Va)

Volumes de corte: medida geométrica do volume natural de solo a ser escavado. Esse material transportado e aplicado nos aterros sofre um processo de compactação (garantir estabilidade dos aterros), que resulta em uma diminuição de volume denominada redução:

- geralmente os volumes de aterros devem ser corrigidos por um fator de redução, sendo denominado volume corrigido dos aterros o produto entre o volume geométrico e o fator de redução, $fr = 1,05$ a $1,30$
- valor acumulado de uma estrada: soma algébrica de seus cortes e aterros.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Tabela de volumes acumulados

Estaca	Área		Volume						
	Corte	Aterro	Corte	Aterro	Aterro corrigido	Compensação Lateral	Transp. Longitudinal		Acumulado
							Corte	Aterro	
			+	-	x (f _r)		+	-	Σ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

(1) estacas nos pontos onde foram levantados as seções transversais (estacas inteiras) estacas fracionárias quando o terreno é muito irregular, estacas do PP

(2) áreas de corte, medidas nas seções (m²)

(3) áreas de aterro, medidas nas seções (m²)

(4) = $(A_{i(\text{corte})} + A_{i+1(\text{corte})}) \times 10$

(5) = $(A_{i(\text{aterro})} + A_{i+1(\text{aterro})}) \times 10$

(6) produto da coluna (5) pelo fator de redução = (5) x (fr)

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Estaca	Área		Volume						
	Corte	Aterro	Corte	Aterro	Aterro corrigido	Compensação Lateral	Transp. Longitudinal		Acumulado
							Corte	Aterro	
			+	-	x (f _r)		+	-	Σ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

(7) volumes compensados lateralmente, que não estão sujeitos a transporte longitudinal = menor volume entre $V_{a(\text{corrigido})}$ e V_c

(8) e **(9)** volumes sujeitos ao transporte longitudinal, compensação entre cortes e aterros = $(V_c - V_{a(\text{corrigido})})$ ou $(V_{a(\text{corrigido})} - V_c)$

(10) volume acumulado, resultado da soma algébrica acumulada dos volumes obtidos nas colunas **(8)** e **(9)** = $(V_i + V_{i+1})$

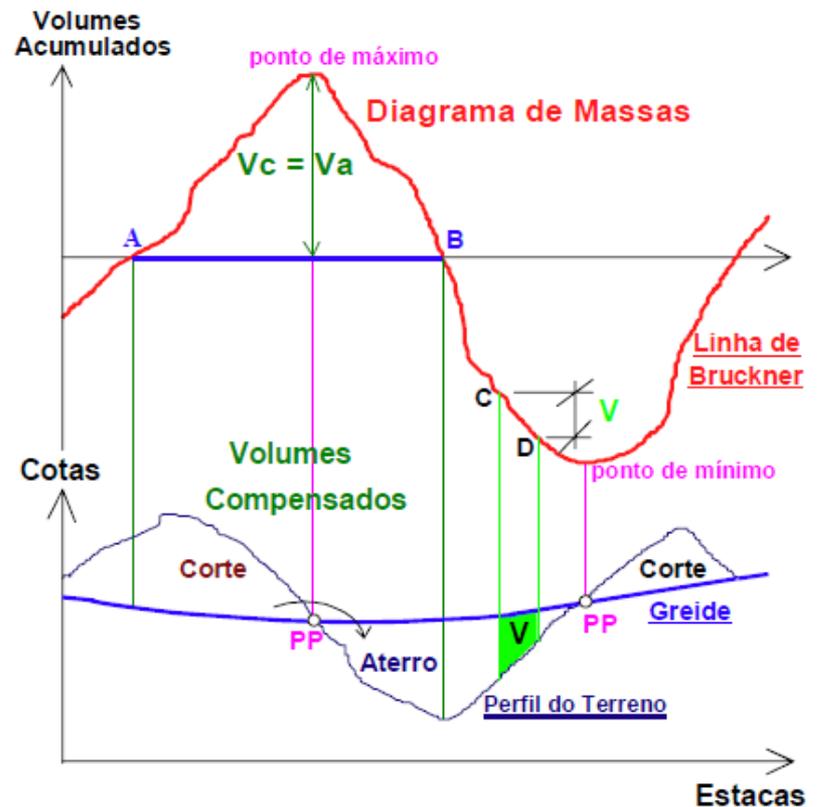
Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

5 -DIAGRAMA DE MASSAS - MÉTODO DE BRUCKNER

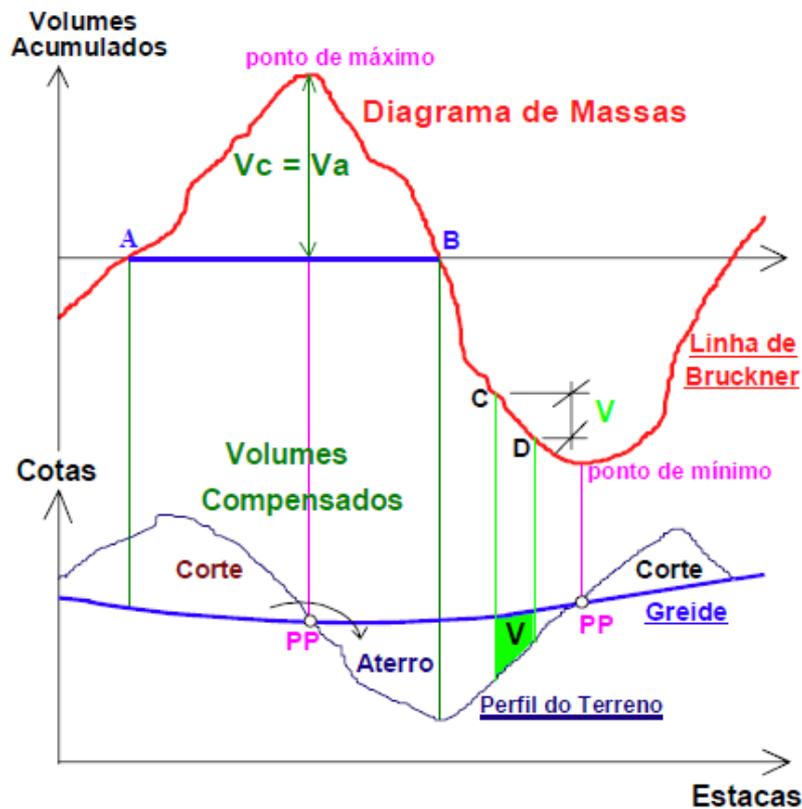
Representação gráfica dos volumes acumulados

- estudo da compensação cortes-aterros
- programação de bota-foras e empréstimos
- programação dos equipamentos



Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS



PROPRIEDADES DO DIAGRAMA:

- . trecho ascendente: corte
- . trecho descendente: aterro
- . grande inclinação: grandes volumes
- . pontos de máximo e de mínimo: PP
- . diferença de ordenadas: volume de terra entre dois pontos
- . qualquer horizontal (AB, por exemplo): determina trechos de volumes compensados (V_c)
- . diagrama acima da linha de compensação: movimento no sentido do estaqueamento (e vice-versa).

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Obs: o diagrama é obtido partindo-se do princípio de que os cortes e aterros serão executados na direção longitudinal da estrada, enquanto que na realidade os cortes são executados de cima para baixo e os aterros de baixo para cima; as distâncias de transporte são consideradas lineares enquanto na realidade as estradas de serviço por onde o material é transportado são muitas vezes bastante sinuosas. Apesar disso, o diagrama de massas ainda é um processo bastante preciso e confiável.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

6 - MOMENTO DE TRANSPORTE

MT = área entre onda do diagrama de massas e linha de compensação → minimizar área

É o produto dos volumes transportados multiplicados pela distância de transportes.

Geralmente é medido nas unidades $m^3.dam$ ou $m^3.km$. A distância média de transporte d_m deverá ser igual a distância entre os centros de massa dos trechos de corte e aterro compensados.

$$M = V \times d_m$$

M = momento de transporte do trecho ($m^3.dam$ ou $m^3.km$)

V = volume natural de solo (m^3)

d_m = distância média de transporte (dam ou km)

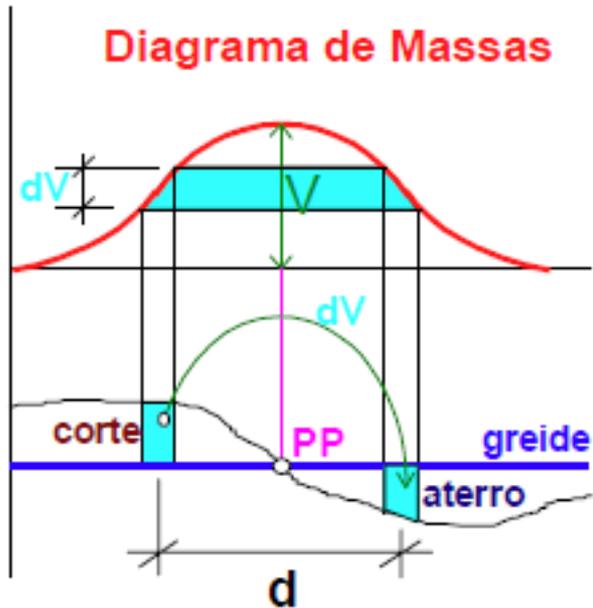
1 decâmetro (dam) = 10 m

1 hectómetro (hm) = 10 dam

1 quilómetro (km) = 10 hm = 100 dam

Transportes

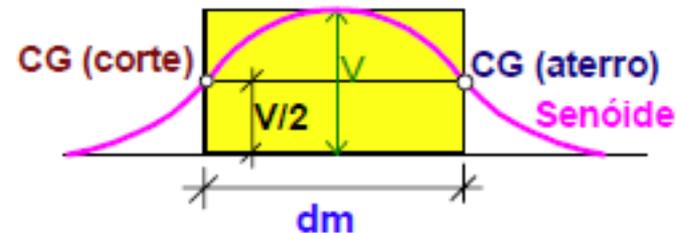
DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS



Momento de Transporte

$$MT = \sum M_i = \sum dV \cdot d = V \cdot dm$$

Simplificação



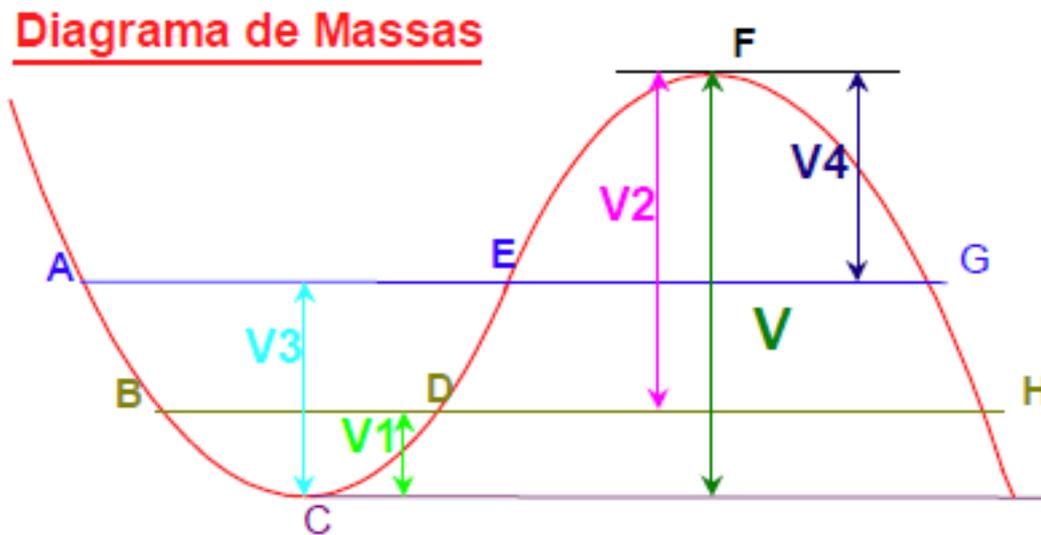
$MT = \text{área sob o diagrama} \approx \text{área do retângulo}$

distância média de transporte = dm

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

7 - LINHA DE COMPENSAÇÃO



É toda linha horizontal traçada sobre o diagrama de massas que corte pelo menos uma onda, sendo que todas as ondas deverão ser cortadas ou tangenciadas por apenas uma linha de compensação. Para escolha das linhas de compensação mais adequadas deve ser determinada a **máxima distância econômica de transporte**, isto é, a distância a partir da qual é mais econômico fazer empréstimos e bota-fora, do que transportar o solo dos cortes para os aterros. A distância econômica será função dos custos de escavação e transporte.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

Momento de Transporte Mínimo: $(AB + CD + EF = BC + DE)$
(segmentos com onda positiva = segmentos com onda negativa)

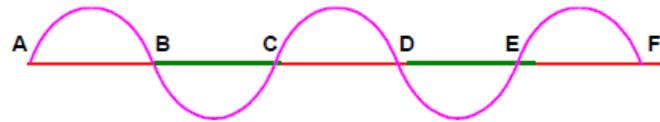
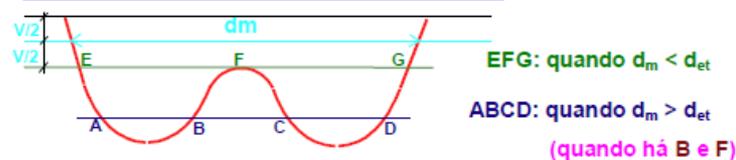


Diagrama de Massas



ONDA MAIOR CONTENDO ONDAS MENORES



Obs: sempre que uma linha de compensação corta várias ondas consecutivas, a posição mais econômica é que acarreta somatória dos seguimentos da linha com onda positiva igual a somatória dos seguimentos da linha com onda negativa. Quando existem várias linhas de compensação, em ordenadas diferentes, a diferença de ordenadas entre duas linhas corresponde a um volume de bota-fora ou empréstimo conforme a linha de compensação situe-se acima ou abaixo da linha inferior.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

8 - CUSTOS

a) CUSTO DE COMPENSAÇÃO CORTE-ATERRO (C1)

Transporte de material dos cortes para os aterros

$$C_1 = C_e \cdot V + C_t \cdot V \cdot d_m$$

b) CUSTO DE BOTA-FORA E EMPRÉSTIMO (C2)

$$C_2 = C_e \cdot V_{bf+emp} + C_t \cdot V_{bf} \cdot d_{bf} + C_t \cdot V_{emp} \cdot d_{emp}$$

c) CUSTO TOTAL DE TERRAPLENAGEM (CT)

$$CT = [(C_e \cdot V + C_t \cdot V \cdot d_m + V \cdot C_{comp}) + (C_e \cdot V_{bf} + C_t \cdot V_{bf} \cdot d_{bf} + V_{bf} \cdot C_{comp}) + (C_e \cdot V_{emp} + C_t \cdot V_{emp} \cdot d_{emp} + V_{emp} \cdot C_{comp})]$$

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

$$CT = [(C_e \cdot V + C_t \cdot V \cdot d_m + V \cdot C_{comp}) + (C_e \cdot V_{bf} + C_t \cdot V_{bf} \cdot d_{bf} + V_{bf} \cdot C_{comp}) + (C_e \cdot V_{emp} + C_t \cdot V_{emp} \cdot d_{emp} + V_{emp} \cdot C_{comp})]$$

e = escavação

t = transporte

V: volume compensado longitudinalmente

bf = bota-fora

emp = empréstimo

C_e = custo de escavação = U\$

C_{comp} = custo de compactação = U\$

C_t = custo de transporte

V_{bf} = volume de bota-fora

V_{emp} = volume de empréstimo

d_m = distância média de transporte

d_{emp} = distância de empréstimo

d_{et} = distância econômica de transporte

Transportes

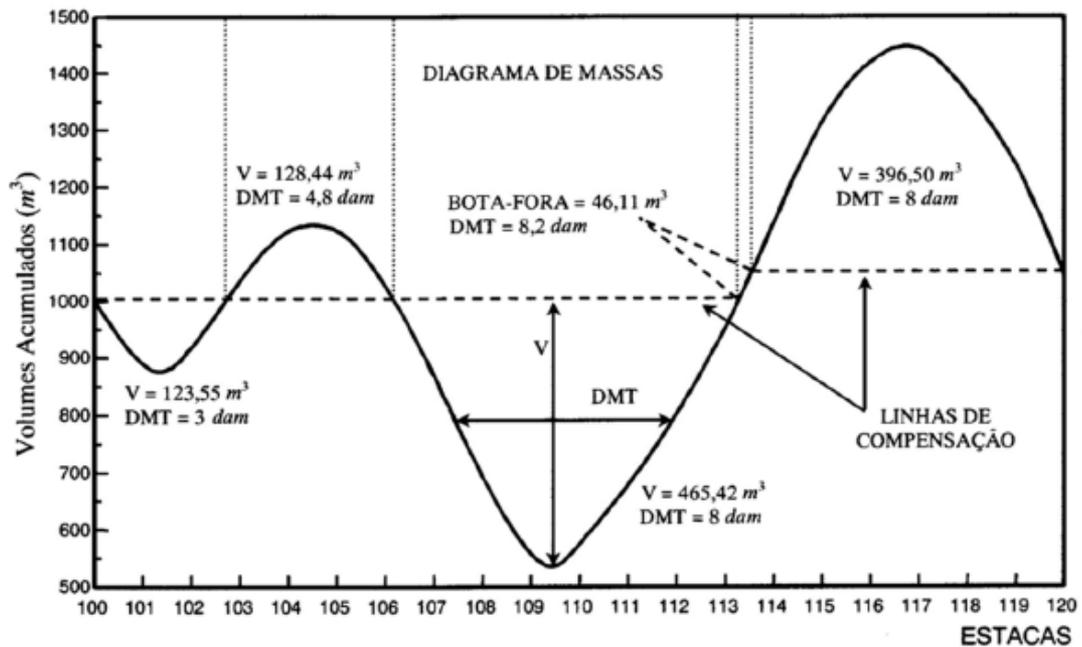
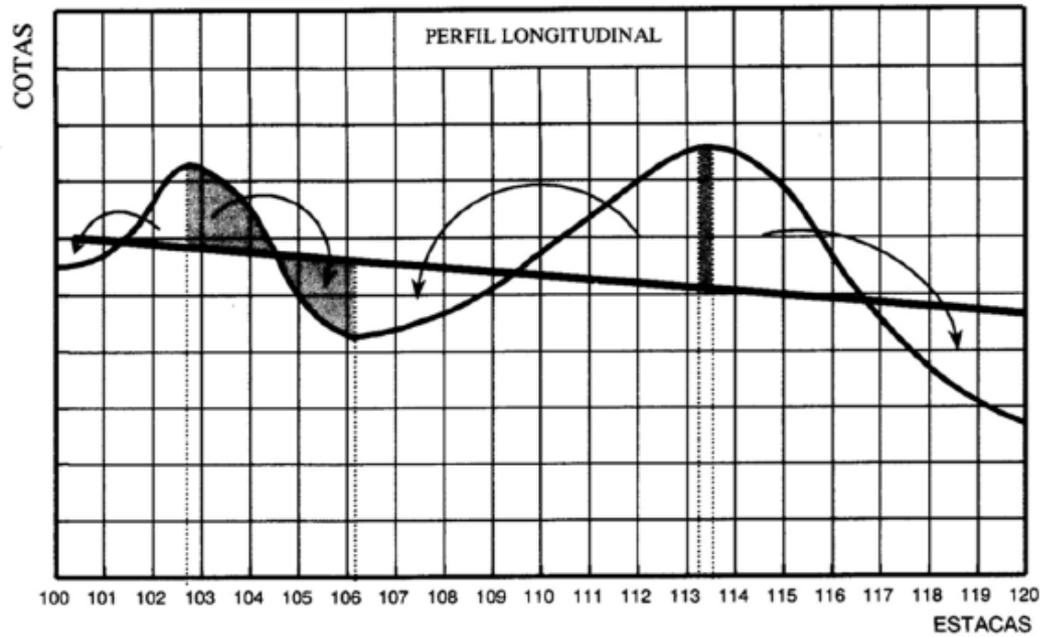
DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

- O diagrama de massas, ou de Bruckner, facilita sobremaneira a análise da distribuição dos materiais escavados.
- Essa distribuição corresponde a definir a origem e o destino dos solos e rochas objeto das operações de terraplenagem, com indicação de seus volumes, classificação e distâncias médias de transporte.
- Após calcular as áreas das seções transversais e os volumes dos prismóides, pode-se preparar uma tabela de volumes acumulados, que serve como base para construção do diagrama.

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS

- Para a construção do diagrama, calculam-se inicialmente as chamadas Ordenadas de Bruckner. Estas ordenadas correspondem aos volumes de cortes (considerados positivos) e aterros (considerados negativos) acumulados sucessivamente.
- A somatória dos volumes é feita a partir de uma ordenada inicial arbitrária. Geralmente é escolhida uma ordenada suficientemente grande para evitar o aparecimento de ordenadas negativas.
- As ordenadas calculadas são plotadas em papel milimetrado, de preferência sobre uma cópia do perfil longitudinal do projeto. No eixo das abscissas é colocado o estaqueamento e no eixo das ordenadas, numa escala adequada, os valores acumulados para as ordenadas de Bruckner, seção a seção.
- Os pontos assim marcados, unidos por uma linha, formam o diagrama de Bruckner.



Transportes

Exemplo 1:

Estaca	Área (m ²)		Volume (m ³)						
	Corte	Aterro	Corte (+)	Aterro (-)	aterro corrigido (-)	Compensação Lateral	Transp. Longitudinal		Acumulado
							Corte (+)	Aterro (-)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0	10,15	17,15							
1	27,50	6,00							
2	78,98	-							
3	63,10	-							
4	36,65	3,25							
4+8,60	9,10	12,95							
5	-	65,10							
6	-	65,50							
7	-	104,44							
8	-	48,02							
9	6,25	25,65							
9+5,43	2,62	2,80							

(2) áreas de corte, medidas nas seções (m²)

(3) áreas de aterro, medidas nas seções (m²)

$$(4) = (A_{i(\text{corte})} + A_{i+1(\text{corte})}) \times 10$$

$$(5) = (A_{i(\text{aterro})} + A_{i+1(\text{aterro})}) \times 10$$

$$(6) = (5) \times (f_r)$$

$$(7) = \text{o menor entre } V_{a(\text{corrigido})} \text{ e } V_c$$

$$(8) \text{ e } (9) = (V_c - V_{a(\text{corrigido})}) \text{ ou } (V_{a(\text{corrigido})} - V_c)$$

$$(10) = (V_i + V_{i+1})$$

Transportes

DIAGRAMA DE BRUCKNER - CONCEITOS