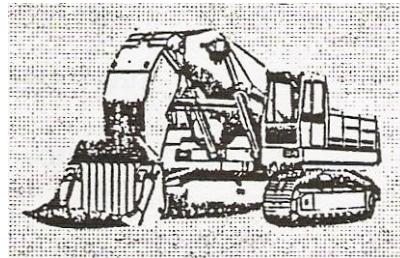


EQUIPAMENTOS PARA ESCAVAÇÃO – COMPACTAÇÃO E TRANSPORTE



TADEO JAWORSKI

Revisão e digitalização:

Prof. Dr. Camilo Borges Neto, Eng. Civil; Novembro/2018.

PREFÁCIO

A pretensão deste trabalho é a de difundir informações que foram obtidas ao longo de vários anos e, que dizem respeito a equipamentos mecanizados.

Parte da coleta de dados ocorreu nos estágios realizados, em visitas a fábricas e em cursos técnicos de operação e manutenção de equipamentos.

Outros conhecimentos foram conseguidos através de estudos em publicações técnicas, estudos que se fizeram necessários para serem aplicados na forma de aulas ministradas na disciplina Equipamentos de Construção e Conservação, do Curso de Engenharia Civil, código TT – 407, da UFPR.

Os temas expostos atendem ao programa da disciplina citada, quanto ao emprego e rendimento dos equipamentos de escavação, compactação e transporte horizontal de materiais.

De uma maneira condensada são apresentadas definições, conceitos, indicação de uso, recomendações de fabricantes, usuários, entidades normativas e a forma de obtenção da produção horária dos equipamentos analisados.

O autor recomenda uma consulta às fontes citadas nas referências bibliográficas se for necessário um exame mais aprofundado da matéria.

Curitiba, 20 de março de 1997.

Eng. Civil Tadeo Jaworski

SUMÁRIO

I.	PREFÁCIO	2
1.0.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	4
1.1.	DEFINIÇÕES	4
1.2.	CLASSIFICAÇÃO	4
1.3.	POTÊNCIA DE UM MOTOR	5
1.4.	FORÇA DE TRAÇÃO.....	6
1.5.	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	7
1.6.	COMBUSTÍVIEIS	13
1.7.	LUBRIFICANTES	15
2.0.	PRODUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO	17
2.1.	EMPOLAMENTO E COMPACTAÇÃO	18
2.2.	RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO	20
2.3.	RESISTÊNCIA DE RAMPA	21
2.4.	INFLUÊNCIA DA ALTITUDE	22
2.5.	ADERÊNCIA	24
2.6.	EFICIÊNCIA DE TRABALHO	26
2.7.	TEMPO DE CICLO	26
3.0.	MÁQUINAS TRATORAS	28
3.1.	TRATORES DE ESTEIRA	28
3.2.	TRATORES DE RODAS.....	30
4.0.	EQUIPAMENTO DE ESCAVAÇÃO	30
4.1.	EQUIPAMENTO ESCAVADOR DESLOCADOR	30
4.2.	EQUIPAMENTO ESCAVADOR TRANSPORTADOR	37
4.3.	EQUIPAMENTO NIVELADOR – NIVELADORAS	44
4.4.	EQUIPAMENTO ESCAVADOR ELEVADOR – ESCAVADEIRAS	47
4.5.	EQUIPAMENTO ESCAVADOR CARREGADOR - PÁ CARREGADEIRA.....	57
5.0.	ASSOCIAÇÃO DE UNIDADES	62
6.0.	ESCARIFICADORES	66
7.0.	ORGANIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM GRUPOS	67
7.1.	TERRAPLENAGEM COM BOTA FORA – ESTUDO DE CASO 1	67
7.2.	DRAGAGEM COM BOTA FORA – ESTUDO DE CASO 2	78
7.3.	COMPARAÇÃO DE EQUIPAMENTOS CONGÊNERES	83
8.0.	EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO	84
8.1.	INTRODUÇÃO	84
8.2.	COMPACTAÇÃO DE SOLOS	85
8.3.	TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO	85
8.4.	PROCESSOS DE COMPACTAÇÃO	88
8.5.	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	89
8.6.	PRODUÇÃO HORÁRIA DE COMPACTADORES	89
8.7.	NÚMERO DE PASSADAS EM PISTA TESTE	100
8.8.	CONCRETO COMPACTADO A ROLO	102
8.9.	ESTUDO DE UMA COMPACTAÇÃO	103
9.0.	EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE	106
9.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	106
9.2.	CLASSIFICAÇÃO	107
9.3.	CAMINHÕES COMUNS	108
10.0.	CONCLUSÕES	120
II.	ANEXOS	121
II.1.	FATORES DE CONVERSÃO	121
II.2.	PROGRAMAS	121
III.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124

EQUIPAMENTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

1.0. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. DEFINIÇÕES

Máquina: é todo o aparelho que pode produzir um movimento ou por em ação uma forma de energia;

Implemento: é qualquer conjunto que complete uma máquina para a execução de um serviço específico;

Equipamento: máquina ou agrupamento formado por duas ou mais máquinas ou máquina(s) e implemento(s) destinado(s) à execução de um determinado serviço;

Acessório: peça ou conjunto de peças, não essencial à operação do equipamento e que contribui para ao maior conforto segurança ou rendimento operacional do mesmo;

Ferramenta de ataque: conjunto de peças que entram em contato direto com o material trabalhado, na execução de um serviço específico;

Peça: parte ou elemento unitário de máquina, de implemento, ferramenta de ataque ou acessório;

Conjunto: agrupamento integrado de peças com função específica;

Instrumento: aparelho de medição e/ou controle;

Sistema: agrupamento de conjuntos para fins específicos, podendo ou não, ter instrumentos de controle.

Observação: as definições acima foram extraídas da terminologia brasileira TB -51.

1.2. CLASSIFICAÇÃO

Quanto a sua finalidade, a máquina e o equipamento destinados a construção civil, podem ser classificados em dois grupos: **motriz** e **operatriz**.

Máquina motriz: é toda a máquina que produz a energia necessária à produção do trabalho. Como exemplos, podem ser citados: o trator, o compressor de ar, o gerador elétrico e outros equipamentos.

Equipamento operatriz: é aquele que acionado pela máquina motriz, possui implemento(s) que realiza(m) o serviço desejado. Como exemplo, podem ser mencionados: a motoniveladora, o trator de esteira dotado de lâmina frontal, a pá carregadeira e outros equipamentos do gênero.

De acordo como emprego, as máquinas e os equipamentos podem ser classificados da seguinte forma:

- Tratores;
- Equipamentos de escavação;
- Equipamentos de transporte;
- Equipamentos de compactação;
- Equipamentos de desagregação de solos;
- Equipamentos de esgotamento de líquidos;
- Equipamentos de fragmentação de rochas;
- Máquinas e equipamentos auxiliares.

1.3. POTÊNCIA DE UM MOTOR

Como definição, potência de um motor é o trabalho por ele realizado em um determinado intervalo de tempo.

A potência pode ainda ser definida de outras formas pelos fabricantes de motores e instituições normativas, em função de vários fatores intervenientes em sua determinação, como sejam as condições ambientais, colocação ou não de acessórios e outros.

No quadro abaixo são apresentadas as condições ambientais estabelecidas como padrão, na determinação de potências:

Método/condições	PMB - 749	SAE JS 816	DIN 6270
Pressão atmosférica	736 mm Hg	746 mm Hg	736 mm Hg
Temperatura do ar	20° C	29° C	20° C
Umidade relativa do ar	60%	64%	60%

Potência máxima do motor: (maximum engine horse power) é a potência máxima que um motor básico é capaz de produzir em condições ambientais adotadas como padrão.

Potência líquida do motor: (net horse power) é a potência que um motor instalado em uma máquina pode produzir, nas condições normais de trabalho e ambientais adotadas como padrão, estando deduzida a potência absorvida pelos acessórios.

Potência ao freio: (brake horse power) é a potência desenvolvida no eixo motor (volante), nas condições ambientais adotadas como padrão, determinada pelo freio de Prony ou outro dispositivo similar de prova. É conhecida também, como **Potência Efetiva**.

Se na determinação da potência ao freio forem consideradas as perdas causadas pelos acessórios normais do motor é obtida a **Potência Líquida**.

Potência na barra de tração: (drawbar horse power) fornece a potência disponível na barra de tração dos equipamentos que possuem movimento de deslocamento próprio.

Máxima potência efetiva líquida (ABNT): deve ser entendida como a maior potência disponível na tomada de potência (volante), para a produção do trabalho útil do motor, totalmente, equipado, de série, com todos os componentes necessários ao seu funcionamento autônomo, conforme a sua aplicação.

Potência efetiva máxima (ABNT): deve ser entendida com a maior potência bruta do motor básico, de série, com apenas os componentes essenciais a sua operação.

Potência disponível: é a potência que um equipamento tem para execução de trabalho e corresponde à potência que se dispõe na barra de tração.

Potência necessária: é, como o nome indica, a potência necessária para a execução de um serviço. Deve ser inferior à disponível. Os principais fatores que determinam esta potência são: resistência ao rolamento e resistência de rampa.

Potência útil: é a potência que vai ser absorvida, efetivamente, na execução de um trabalho. Deve ser verificada em função de fatores tais, como: aderência ao terreno e altitude de trabalho.

A Figura 1 mostra como podem variar as grandezas da potência de um trator do tipo agrícola.

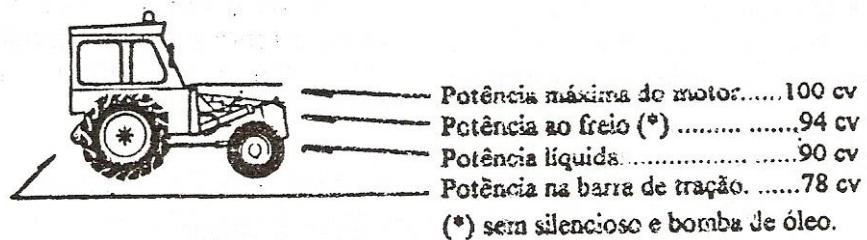


Figura 1 – Variação de potências para um trator agrícola

1.4. FORÇA DE TRAÇÃO

Para saber se um equipamento pode se locomover em um terreno em função das condições de serviço, como são resistência ao rolamento, resistência de rampa, altitude do local e aderência ao terreno, devem ser conhecidas as forças opostas ao movimento e comparadas, estas, às forças de tração disponíveis nas diversas marchas do sistema de tração.

Pode-se assim determinar a maior velocidade de trabalho possível, para fins de obtenção do tempo de ciclo do equipamento em exame.

Gráficos fornecidos pelos fabricantes de equipamentos indicam nas ordenadas as forças de tração e nas abscissas as velocidades correspondentes em cada marcha. Figura 2.

Na falta de maiores especificações, com estes gráficos, a força de tração pode ser estimada em função da potência na barra de tração e da velocidade de deslocamento da máquina, da forma como segue: com a velocidade em uma determinada marcha, traça-se uma linha vertical até a curva correspondente a esta marcha e segue-se então horizontalmente até encontrar-se o valor estimado de tração na barra.

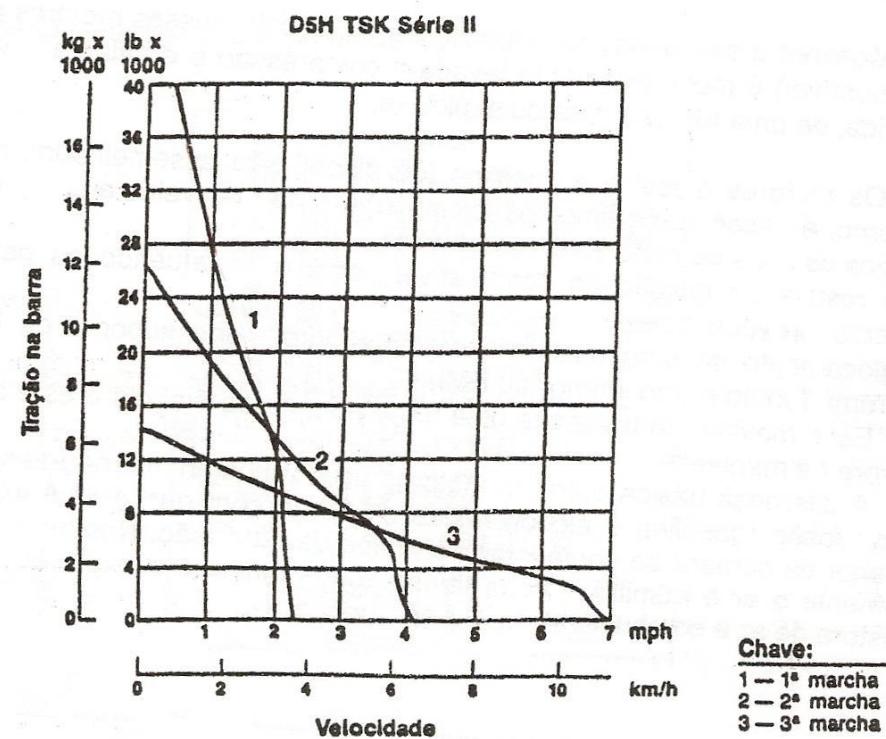


Figura 2 - Exemplo de gráfico fornecendo as curvas de marchas, velocidades e forças de tração

1.5. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Motor: denomina-se o motor ou a máquina motriz, a todo o aparelho destinado a transformar uma energia de certa espécie em energia mecânica.

Os motores que transformam energia calorífica em energia mecânica são chamados de motores ou máquinas térmicas.

Classificação dos motores térmicos:

- a) Motores de combustão externa
 - a.1. Máquinas a vapor;
 - a.2. Turbinas a vapor.
- b) Motores de combustão interna
 - b.1. Motores de combustão interna, propriamente ditos;
 - b.2. Motores a explosão;
 - b.3. Turbinas a gás;
 - b.4. Motores a reação.

Motores de combustão externa: aproveitam o vapor da água como fonte de energia secundária. A primária vem do calor necessário ao aquecimento da água e consequente produção do vapor.

Motores de combustão interna: são aqueles que utilizam a combustão rápida ou gradual de um combustível como processo de produção de energia mecânica.

Motores de combustão interna, propriamente ditos: Tipo diesel. Nesses motores o combustível é pulverizado sob grandes pressões, dentro da câmara de combustão, onde entra em ignição ao ficar em contato com o ar comprimido que atingiu elevada temperatura.

Motores a explosão: Tipo a gasolina ou álcool etanol. Nesses motores a mistura (ar + combustível) é, moderadamente, levada a compressão e é inflamada por uma faísca elétrica, de uma forma rápida ou explosiva.

Os motores a diesel e a gasolina (ou álcool etanol) são assemelhados no seu formato externo, em peças como êmbolos, bielas, árvore de manivela e em outras partes. Em ambos os tipos de motores, a pressão que resulta da ignição do combustível com o ar, atuando na parte superior do êmbolo, provoca seu deslocamento de uma posição extrema superior (ponto morto superior ou PMS) até outra posição extrema inferior (ponto morto inferior ou PMI).

Esse movimento transmite uma força ao pino do êmbolo e este à biela e esta à árvore de manivelas.

A diferença básica entre os motores de combustão interna (diesel) e os eu motores a explosão (gasolina e álcool etanol) reside na forma com que o ar é introduzido para o interior da câmara de combustão no tempo de admissão. Nos motores tipo diesel, somente o ar é admitido nesse tempo e nos motores a explosão é admitida uma mistura de ar e combustível.

Taxa de compressão

A relação entre o volume total da câmara de combustão, quando o êmbolo se encontra no **PMI** e o volume da câmara ao ficar o êmbolo no **PMS**, fornece a taxa de compressão.

Nos motores a gasolina a taxa de compressão é igual ou inferior a **8:1** e nos motores a diesel, pode estar com as taxas entre **16:1** a **22:1**.

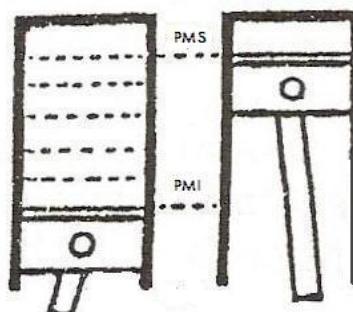


Figura 3 – Corte esquemático do pistão

Nos motores a álcool etanol a taxa de compressão é superior à de motores a gasolina, tendo em vista, ser o álcool menos detonante que a gasolina.

Exemplo numérico:

Qual é a taxa de compressão de um motor a gasolina, sabendo-se que quando o êmbolo se acha no ponto morto inferior, o volume da câmara é de $6\ 000\ \text{cm}^3$ e quando o êmbolo atinge o ponto morto superior o volume da câmara se reduz para $1\ 000\ \text{cm}^3$.

Resposta:

$$6\ 000 : 1\ 000 = 6:1$$

Elementos essenciais de um motor

No desenho em corte de um motor a gasolina podem ser vistos os seus elementos essenciais, a saber:

Cilindro: situado no corpo do bloco, pode ser usinado no próprio bloco ou ser inserido nele (camisa removível). Apresenta o cilindro uma superfície interna finamente acabada, lisa e sua seção transversal é perfeitamente circular.

Êmbolo e anéis: o êmbolo é alojado no interior do cilindro e possui entalhes onde são alojados anéis de aço que têm duas finalidades básicas.

Primeira: evitar a fuga dos gases produzidos no tempo motor (anéis de compressão). Segunda: impedir a penetração do óleo lubrificante no interior da câmara de combustão (anéis de óleo).

Outras denominações dadas ao êmbolo: **pistão** e **pistom**.

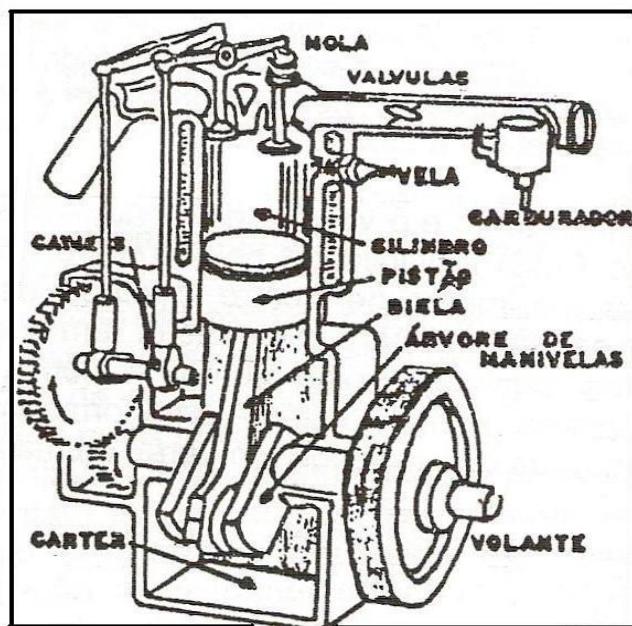


Figura 4 – Desenho, em corte, de um motor a gasolina

Bielas: a biela estabelece a ligação entre o êmbolo e a árvore de manivelas, permitindo que o êmbolo execute um movimento alternado.

Árvore de manivelas: (também chamada de virabrequim e girabrequim), peça que recebe a força de pressão do tempo motor pela biela e transforma o movimento de alternado, em circular.

Volante: regulariza o movimento circular da árvore de manivelas, absorvendo energia e devolvendo-a nos momentos necessários.

Hastes válvulas: forçadas pelo eixo comando (eixo de ressaltos), abrem as válvulas de admissão e exaustão em instantes sincronizados.

Eixo comando: (eixo de válvulas ou eixo de ressaltos), é ligado à árvore de manivelas através de engrenagens (ou correntes ou ainda através de correias dentadas de borracha). Cada ressalto do eixo comando aciona uma válvula por intermédio de uma haste e um balancim.

Molas de válvulas: pressionam as válvulas contra suas sedes, para proporcionar o fechamento da câmara de combustão.

Cabeçote: não faz parte integrante do bloco, porém é a ele ligado por intermédio de parafusos e porcas. A vedação entre peças, bloco e cabeçote é feita com a chamada “junta do cabeçote”.

Cárter do motor: é um compartimento metálico que torna estanque a parte inferior do bloco, sendo usado como reservatório de óleo lubrificante do motor.

Bloco do motor: é a peça na qual são montadas as demais, formando assim o conjunto do motor.

Poderiam ser citados ainda os condutos de entrada de ar e os de saída de gases, o sistema de lubrificação, o sistema de refrigeração, no motor a gasolina o sistema de ignição e carburação; nos motores a diesel o sistema de alimentação, composto pela bomba injetora e bicos injetores.

Cilindrada de um motor: é o volume em centímetros cúbicos deslocado por um êmbolo (do PMI ao PMS), multiplicado pelo número de cilindros de que dispõe este motor.

Exemplo: se um motor de quatro cilindros desloca um volume de 450 cm^3 em cada cilindro, esse motor tem uma cilindrada correspondente a 1.800 cm^3 e vulgarmente é conhecido como um motor **1.8**.

A comparação de cilindradas entre motores é uma forma de comparação de potências porquanto a maior cilindrada corresponde, em geral, a uma maior potência.

Comparação entre motores:

Motores a explosão	Motores de combustão interna
Queima de combustível por explosão	Por combustão gradual
Menor relação peso/potência	Maior relação
Menor taxa de compressão	Maior taxa
Mais rápida aceleração	Menos rápida
Menos robustos	Mais robustos
Menor aproveitamento calorífico do combustível (22%)	Maior aproveitamento (28%)
Mais fácil manutenção	Mais difícil
Maior consumo de combustível	Menor consumo

Observação: a comparação é válida em todos os itens, para motores de mesma potência.

Ciclo de Força

A sequência completa de quatro operações ou tempos (com admissão, compressão, tempo motor ou explosão e exaustão) que se verifica no interior de um cilindro do motor, para se obter um impulso de força, proveniente da expansão dos gases da combustão, denomina-se: **ciclo de força**. Ver Fig. 5.

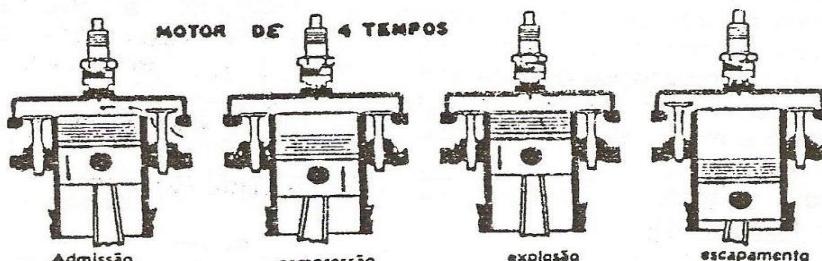


Figura 5 – Ciclo de força em motor de 4 tempos.

Dependendo do princípio de funcionamento do motor, o ciclo de força pode ser realizado de duas maneiras:

- Um impulso de força para cada quatro passeios completos do êmbolo (referidos entre os pontos PMS e PMI), ou seja, a correspondência a duas voltas completas da árvore de manivelas, sendo nesse caso o motor, denominado de **motor a quatro tempos**;
- Um impulso de força para cada dois cursos completos do êmbolo, correspondendo a uma volta completa da árvore de manivelas, sendo nesse caso o motor, denominado de **motor a dois tempos**. Ver Fig. 6.

A figura 6-a mostra o início do tempo motor, após meia volta da árvore de manivelas e um passeio do êmbolo, se processa o tempo de admissão e o tempo de exaustão. Fig. 6-b. O tempo de compressão é visualizado na fig. 6-c, quando a árvore de manivelas completa outra meia volta.

Os motores de dois tempos quando comparados com os de quatro tempos e de mesma cilindrada, apresentam maior potência, menor número de peças e menor

peso. Tem uma menor vida útil devido ao fato de trabalharem com maiores rotações. O seu sistema de lubrificação é menos eficiente porquanto quase todos os motores de dois tempos utilizam o óleo lubrificante em mistura direta com o combustível.

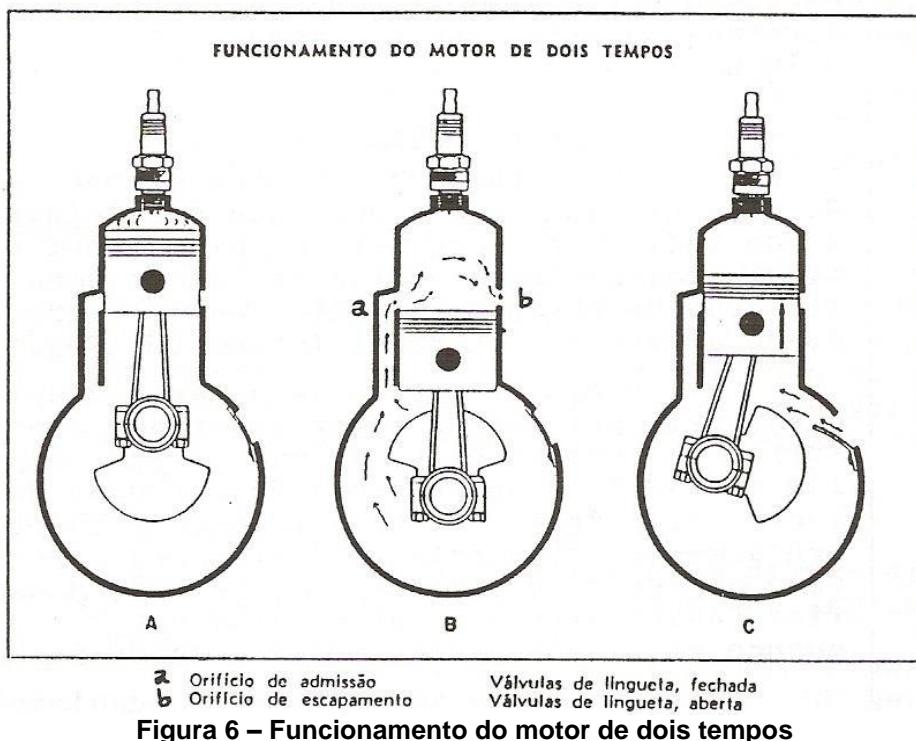


Figura 6 – Funcionamento do motor de dois tempos

Torque Motor

O torque de um motor é diretamente relacionado com a potência que o mesmo desenvolve e inversamente com a rotação de sua árvore de manivelas. É um fator de qualidade na comparação de motores de mesma potência, pois são preferidos os motores que possuam maior torque e menor RPM.

Motores de menor RPM apresentam uma vida mais longa de seus componentes internos.

O torque do motor é obtido em kg.m, pela seguinte expressão:

$$T = \frac{4.563 \times \text{BHP}}{2\pi \times \text{RPM}}$$

Outra forma de comparação de motores é conseguida com o exame das curvas de torque, potência e consumo, obtidas no ensaio em um dinamômetro. Nota-se nesses ensaios que quanto maior a rotação do motor, maior será a potência.

O torque máximo do motor, porém, é obtido a uma rotação inferior à rotação máxima. Ver Fig. 7.

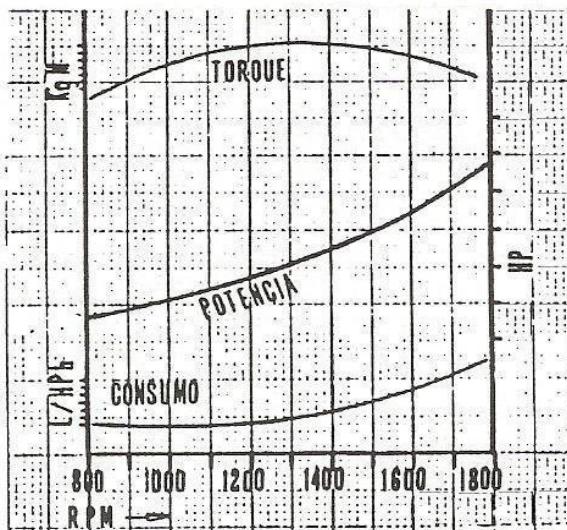


Figura 7 – Curvas de torque, potência e consumo

Obs.: BHP – potência ao freio
 RPM – rotações por minuto

1.6. COMBUSTÍVEIS

Os combustíveis usados nos motores de combustão interna em sua maioria são derivados do petróleo. Os componentes principais de todo o petróleo são compostos de elementos como o hidrogênio e o carbono, razão pela qual esses combustíveis recebem a denominação de **hidrocarbonetos**.

Impurezas dos combustíveis

Os combustíveis contêm porcentagens pequenas e variáveis do elemento enxofre, o qual não é inteiramente eliminado no processo de refinação. O enxofre combinado com oxigênio e o vapor d'água e com o calor do motor, dá origem a formação de compostos sulfurosos como o ácido sulfúrico.

O combustível pode estar contaminado com a presença de água. A água tendo maior densidade que o combustível separa-se, ocupando a parte inferior do reservatório. A água prejudica o funcionamento do motor, além de oxidar as superfícies metálicas a ela expostas.

Pode a água estar presente no combustível ao entrar, acidentalmente, nos reservatórios, vasilhames ou ainda pelo processo de condensação. Nesse último processo a água presente no ar atmosférico, condensa-se e escorre pelas partes internas do reservatório, se este estiver parcialmente ocupado pelo combustível. Impurezas sólidas podem, igualmente, ser encontradas. Como exemplos: partículas de areia, argila, fios de estopa, placas de ferrugem. Essas impurezas obstruem os condutos de combustível e os filtros, provocando falhas de funcionamento e desgastes prematuros.

A gasolina, usada nos motores atuais a explosão, deve ter características antidetonantes. Essas características não permitem uma ignição do combustível antes que se conclua o tempo de compressão (detonação).

A ignição do combustível antes que se conclua o tempo de compressão (detonação) é de forma vulgar, chamada de “**batida**” do motor e é sempre acompanhada de uma perda de potência.

Número de Octanas da gasolina

Nos laboratórios especializados, através de testes específicos, com motores padrão, a gasolina submetida a teste é comparada com uma gasolina constituída por dois tipos de hidrocarbonetos que são, respectivamente, denominados de **iso-octana** e **heptana normal**.

A gasolina constituída somente de iso-octana queima de forma regular no motor padrão, sob todas as condições de funcionamento, ao passo que a constituída pala heptana normal é altamente detonante.

Uma gasolina submetida a testes, gasolina essa com aditivos e que dê resultados iguais, por exemplo, a uma gasolina composta de 80% de iso-octana e 20% de heptana normal, será especificada como sendo de **80 octanas**.

Aditivos

O **chumbo tetra-etila** adicionado em proporções adequadas, deixa a gasolina menos detonante.

O **álcool anidro** adicionado numa proporção de até 20%, em volume, faz com que a gasolina possa ser classificada como de maior octanagem. O álcool não torna o combustível poluente após a queima como ocorre com o chumbo tetra-etila (*).

(*) - O envenenamento pelo chumbo tem efeito cumulativo no organismo e é fatal, causando o mal chamado de “Saturnismo”, o que levou à proibição de aditivos contendo este metal pesado.

Poder calorífico

Uma parte do calor gerado pelo combustível é aproveitada para obter o trabalho útil, a maior parte se perde no aquecimento do motor. Os motores detentores de maiores taxas de compressão aproveitam melhor o poder calorífico do combustível.

Nos motores a explosão, não se pode aumentar a taxa de compressão acima de determinados limites sob pena de ocorrer o fenômeno da detonação. Esses motores comprimem uma mistura de ar e combustível que por isso, os torna mais sujeitos à detonação.

Número de cetanas no óleo diesel

O combustível obtido do petróleo para uso dos motores diesel possui em sua composição hidrocarbonetos que são denominados de **n-cetanas** e **alfa-metil nafteno**.

O número percentual de **n-cetanas** tem influência na forma de funcionamento do motor diesel, razão pela qual esse combustível é elaborado com proporções específicas de **cetanas**.

Consumos de combustível

Os consumos de combustível variam em função de fatores como, taxa de compressão, altitude de trabalho do motor, estado dos filtros de ar e outros.

Para avaliações prévias, quando não se dispõe de curvas de consumo e nem do regime de trabalho do motor, podem ser adotados os consumos médios seguintes:

motores a gasolina.....	0,225 λ/HP hora
motores a diesel.....	0,150 λ/HP hora
motores álcool.....	0,270 λ/HP hora

Observações:

- potência (HP) referida à barra de tração;
- caso não se conheça a potência na barra de tração, a mesma poderá ser obtida de forma aproximada em função da potência líquida do motor multiplicada pelo fator 0,75.

1.7. LUBRIFICANTES

Os lubrificantes são utilizados nos compartimentos dos motores, nos sistemas de transmissão e nas peças móveis dos equipamentos mecanizados. Proporcionam uma melhor conservação, maior vida útil, mais adequado desempenho e menores custos de manutenção desses equipamentos.

Podem os lubrificantes se apresentar sob diversos estados, como: o sólido (grafite), o líquido (como os óleos minerais) e o pastoso (como as graxas).

Quanto à origem, os lubrificantes podem ser de fonte animal, vegetal ou mineral.

Os óleos de origem animal e vegetal foram muito usados no passado, mas perderam sua importância para os óleos minerais devido ao fato de não possuírem estabilidade química como estes últimos. Alguns óleos de origem animal e vegetal têm poder de redução de atrito, superior aos óleos minerais.

Os óleos minerais são obtidos do petróleo e do carvão mineral. São óleos de uma composição química complexa e portanto, dão origem a propriedades particulares de acordo com a sua constituição. Os óleos obtidos do petróleo podem ter hidrocarbonetos naftênicos e parafínicos.

Os naftênicos evaporam com mais facilidade pela ação do calor e com a redução da temperatura aumentam muito de viscosidade.

Os parafínicos são mais empregados em locais mais frios por manterem, sem grande alteração, sua viscosidade.

Os óleos minerais puros apresentam propriedades naturais, como:

- oferecerem resistência à formação de depósitos;
- possuírem estabilidade química;
- serem detergentes naturais;
- formarem uma película de grande resistência;
- terem poder de separação com água.

Se adicionados de certos produtos químicos (aditivos), os óleos minerais passam a ter melhores propriedades, como: serem melhores inibidores de corrosão, serem menos espumantes quando agitados e serem mais detergentes.

A função dos lubrificantes nos motores térmicos é de elevada importância para o funcionamento destes, razão pela qual devem ser examinados com frequência quanto ao volume contido, quanto ao estado do óleo e outros. Quando ficar constatado que está contaminado com água, com resíduos sólidos, ou com o combustível, o lubrificante deve ser trocado, independentemente, do intervalo de troca que é função do tempo de uso do motor.

Funções dos lubrificantes nos motores de combustão

- a) Lubrificação das superfícies de atrito e choque, reduzindo assim o desgaste;
- b) Vedação de gases no cilindro do motor durante o tempo motor;
- c) Resfriamento de peças internas como êmbolos, paredes do cilindro, anéis, mancais e outras;
- d) Limpeza de orifícios internos e compartimentos, com a condução de detritos para serem retidos pelos filtros;
- e) Proteção contra a corrosão das superfícies metálicas, provocada pela ação de gases corrosivos, formados pela combustão.

Viscosidade dos óleos lubrificantes

A viscosidade de um óleo tem influência na lubrificação de motores e sistemas de transmissão.

Maior viscosidade é necessária quando se trabalha com grandes cargas ou elevada temperatura e menor viscosidade quando o lubrificante deve envolver peças que se movimentam em altas velocidades.

A viscosidade é alterada nos óleos com a variação da temperatura, sendo maior nas baixas temperaturas e menor nas altas. A viscosidade pode ser medida pelo viscosímetro de Saybolt. (**)

A viscosidade dos óleos recebe numerações como **10, 20, 30, 40, 50, ..., 150**, seguidas da sigla **SAE**, indicativa do processo de ensaio.

Os óleos minerais puros podem conter aditivos ou serem compostos com diversos tipos de óleos, para que tenham uma mínima variação de viscosidade com a mudança de temperatura.

Esses óleos são denominados como de **múltipla viscosidade** ou **multi-viscosos**.

Classificação API, para óleos de motores (*):

Designação	Motores em que são utilizados
SE	A gasolina em modelos a partir de 1.972
SF	A gasolina em modelos a partir de 1.980
SG	A gasolina em modelos a partir de 1.989
CC	A diesel e a gasolina quando em serviço moderado
CD	A diesel em serviço severo (super alimentados)
CE	A diesel em serviço severo (turbo alimentados)

Observações:

(*) – API é a sigla do American Petroleum Institute.

(**) – O viscosímetro de Saybolt baseia-se na determinação do tempo, em segundos, que leva para escoar 60 ml de um óleo submetido a teste, para passar através de um orifício de 1,765 mm. O escoamento é feito sob a ação da gravidade, com recipientes e condições ambientais padronizadas. Os tempos, em segundos, são arredondados para múltiplos de 10.

2.0. PRODUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO

A produção horária de um equipamento de escavação, na maioria dos casos é a simples relação entre o volume de material (em metros cúbicos) que ele movimenta em uma hora de trabalho. Teoricamente pode ser determinado em função da capacidade volumétrica do dispositivo de escavação (**C**), pelo produto do número de ciclos de trabalho efetuados em uma hora (**n_c**).

A produção horária pode ser assim expressa:

$$P_{ht} = C \cdot n_c$$

O número de ciclos de trabalho por sua vez, pode ser obtido dividindo-se o tempo de uma hora (60 minutos), pelo de ciclo de trabalho em minutos.

$$n_c = \frac{60}{T}$$

A fórmula da produção horária assume a seguinte composição:

$$P_{ht} = \frac{60 \cdot C}{T}$$

No cálculo da produção horária de cada equipamento de escavação, a fórmula da produção horária teórica recebe novos fatores corretivos que propiciam resultados mais exatos, proporcionando assim a obtenção de fórmulas próprias para cada equipamento.

Fatores que podem ser considerados:

- a) Empolamento e compactação dos materiais do solo;
- b) Resistência ao rolamento;
- c) Resistência de rampa;
- d) Altitude (geográfica) do local de trabalho;
- e) Fator de eficiência do equipamento;
- f) Componentes do tempo de ciclo.

2.1. EMPOLAMENTO E COMPACTAÇÃO

Variações de volume dos materiais ocorrem durante a execução de uma escavação ou de uma terraplenagem. Essas variações volumétricas devem ser conhecidas para fins de controle e determinação de volumes trabalhados.

A experiência em obras de terraplenagem mostra que um determinado volume de material no corte (ou jazida) ao ser desagregado sofrerá um aumento de volume e ao ser compactado terá uma redução de volume.

Devido a essas mudanças há necessidade de ser procedido o estudo do empolamento e da compactação dos materiais do solo. Fig. 8.

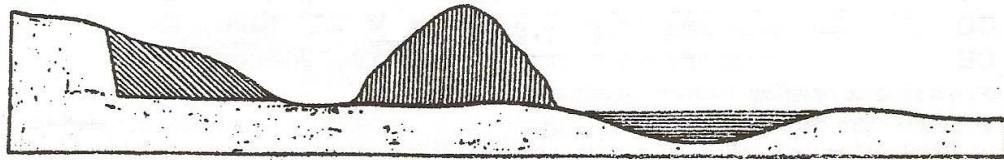


Figura 8 – Representação esquemática dos volumes de solo movimentados

Um volume V de material extraído da jazida após a sua desagregação (ou no estado solto) terá um incremento de volume v ou o volume total $V + v$, porém, continua tendo a mesma massa m . A densidade desse material no estado natural representada por d_n é superior à densidade do material no estado solto d_s .

V = volume do material na jazida;

v = incremento de volume ao ficar solto;

m = massa do volume V ;

d_n = densidade na jazida = m/V ;

d_s = densidade quando solto = $m/(V + v)$;

V_s = volume solto = $V + v$.

Logo: $m = V \cdot d_n$ e $m = (V + v) \cdot d_s$

O fator de conversão de volumes f pode ser obtido como é mostrado a seguir (figuras 9 e 10):

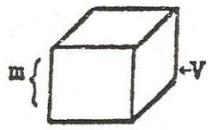


Figura 9 - Volume na jazida

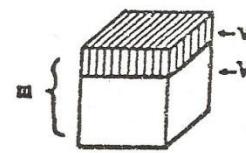


Figura 10 – Volume solto

Volume na jazida = $f \cdot$ volume solto

$$V = f \cdot V_s$$

$$V = f \cdot (V + v), \text{ ou seja}$$

$$f = \frac{V}{V + v}$$

O fator de conversão f que é sempre inferior a unidade, se multiplicado com o volume de material no estado solto, converte esse volume para o estado de compactação natural, ou seja, o volume que teria na jazida.

Empolamento

É o aumento de volume do material de escavação que passa do estado de compactação natural ao estado solto ou desagregado.

O resultado do ensaio de empolamento é dado em porcentagem.

A porcentagem de empolamento de um material pode ser obtida de forma imediata pela seguinte equação:

$$e = \frac{V_s - V}{V} \cdot 100 \quad (\text{resultado em porcentagem}).$$

Pode-se ainda expressar o empolamento e em função de f :

$$\text{Como } e = \frac{V_s - V}{V} \cdot 100 \text{ ou ainda } e = \frac{(V + v) - V}{V} \cdot 100, \text{ então}$$

$$e = \left(\frac{V + v}{V} - \frac{V}{V} \right) \cdot 100, \text{ sendo que } f = \frac{V}{V + v} \text{ ou } \frac{1}{f} = \frac{V + v}{V}$$

$$\text{Assim: } e = \left(\frac{1}{f} - 1 \right) \cdot 100 \therefore f = \frac{100}{100 + e}$$

A Tabela 1 fornece as densidades, o fator de conversão e o empolamento de alguns materiais do solo. Serve como referência nos cálculos prévios. Valores mais específicos podem ser obtidos conhecendo-se os resultados dos ensaios de massa, densidade e volume nos estados, solto ou no corte e referentes ao material estudado.

TABELA I Pesos específicos, fator de conversão e empolamento de materiais:				
MATERIAL	Solto kgf/m³	Corte kgf/m³	f	e %
Argila natural	1 661,0	2 017,0	0,82	21
Argila seca	1 483,0	1 839,0	0,80	25
Argila molhada	1 661,0	2 076,0	0,80	25
Terra úmida	1 602,0	2 017,0	0,79	26
Terra seca	1 513,0	1 899,0	0,79	26
Arenito	1 513,0	2 522,0	0,59	69
Areia seca solta	1 424,0	1 602,0	0,88	13
Areia molhada	1 839,0	2 077,0	0,88	13
Pedra britada	1 602,0	2 670,0	0,60	66
Terra úmida 50% rocha 50%	1 721,0	2 284,0	0,75	33
Pedras soltas até 20 cm &	1 340,0	2 670,0	0,50	100

Compactação

A compactação é caracterizada pela diminuição de volume que sofre o material de escavação quando adensado através de um processo qualquer. Com uma compactação mecânica pode ser obtida uma grande redução de volume, se comparado o volume compactado com o volume do material solto.

Para alguns materiais o volume compactado, mecanicamente, é inferior ao volume no estado natural, como pode ser observado na comparação de coeficientes da Tabela II:

TABELA II Coeficientes de compactação			
Material	Ao natural	Solto	Compactado
Areia	1,0	1,13	0,95
Terra comum	1,0	1,26	0,90
Argila	1,0	1,25	0,90
Rocha britada	1,0	1,60	1,30

2.2. RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO

Resistência ao rolamento é a força paralela ao terreno que se opõe ao rolamento das rodas de um equipamento, sobre a superfície de um terreno ou pavimento. Essa resistência é consequência dos atritos internos, associada à flexão dos pneus e a penetração dos pneus no solo. Fig. 11.

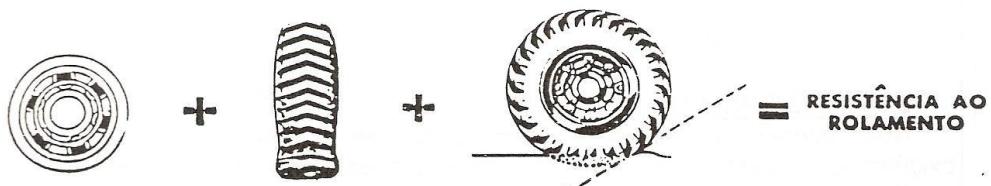


Figura 11 – Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento é obtida em função do peso do equipamento, em toneladas-força, multiplicado pelo fator de resistência ao rolamento extraído da Tabela III. O resultado é dado em quilogramas-força.

TABELA III Resistência média ao rolamento	
Tipos de solos	Fator kgf/tf
Estrada compactada (dura), pavimento de concreto ou macadame betuminoso	20
Estrada em macadame hidráulico (piso sob o peso do pneu cede levemente)	30
Estrada de terra estabilizada (penetração dos pneus de 2 a 3 cm)	50
Estrada de terra não estabilizada (penetração dos pneus de 10 a 15 cm)	75
Estrada de terra solta, barrenta ou arenosa	150

Observação:

A resistência ao rolamento não é aplicada aos tratores de esteiras. A esteira funciona como uma superfície contínua sem deformações, sobre a qual se desloca o equipamento.

Considera-se ainda que nos tratores de esteiras, trabalha-se com a potência na barra de tração, o que significa que as resistências internas, opostas ao movimento já foram deduzidas.

A resistência ao rolamento pode ser designada pela sigla **RRo**.

2.3. RESISTÊNCIA DE RAMPA

Resistência de rampa é a força paralela ao terreno que se opõe a locomoção dos veículos e equipamentos nos aclives. Essa resistência deve ser considerada para os equipamentos de rodas e de esteiras. Nos declives essa força se soma a força de tração e é denominada de **assistência de rampa**. A resistência de rampa pode ser designada pela sigla **RRa**.

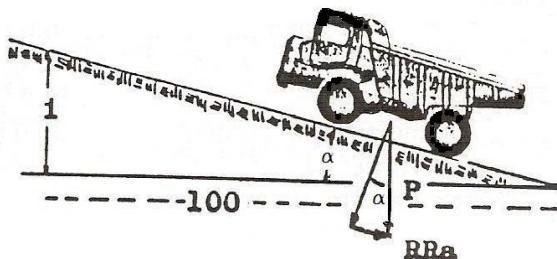


Figura 12 – Resistência de rampa

$$RRa = P \cdot \sin \alpha$$

Para valores pequenos do ângulo α , tem-se $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$, porém $\operatorname{tg} \alpha = i/100$, onde i é o aclive em porcentagem. Substituindo-se na fórmula inicial $\sin \alpha$ por $\operatorname{tg} \alpha$, teremos:

$$RRa = P \cdot \operatorname{tg} \alpha \therefore RRa = P \cdot i/100$$

Para se obter a força RRa em kgf usando o valor de P em toneladas-força, deve-se multiplicar o numerador da equação por 1 000 kgf, resultando:

$$RRa = P \cdot i \cdot 1\,000 / 100 \therefore RRa = 10 \cdot P \cdot i$$

2.4. INFLUÊNCIA DA ALTITUDE

Nos motores de combustão interna a queima do combustível se faz com o oxigênio do ar atmosférico e a expansão do gás resultante gera a força motora.

Rarefazendo-se o ar atmosférico com o aumento da altitude poderá ocorrer uma queima incompleta de combustível face à falta de oxigênio no interior do motor e como consequência haverá uma perda de potência. Essa perda de potência se refletirá no desempenho de trabalho de um equipamento se comparado o trabalho ao nível do mar.

A altitude afeta a todos os motores com aspiração natural do ar, não tendo efeitos apreciáveis para os motores que possuem uma aspiração forçada por compressores (turbinados).

A literatura técnica sobre o assunto indica que se deve considerar uma perda de potência da ordem de 3%, para cada 1 000 pés de altitude e somente ser considerada após os primeiros 1 000 pés.

A influência de altitude pode ser designada pela sigla Ia .

Seja Ap a altitude do local, em pés. Considerando a perda de potência indicada, anteriormente, se tem:

$$Ia = \frac{(Ap - 1\,000) \cdot 3}{1\,000}$$

Considerando que 1 000 pés = 305 metros \approx 300 m, pode-se obter a influência da altitude, em metros (A):

$$I_a = \frac{(A - 300)}{100}, \text{ (para motores de 4 tempos).}$$

Observação: a fórmula é válida para motores de quatro tempos. Para os de dois tempos a perda é de 1%, em cada 300 metros, não sendo considerados os primeiros 300 metros.

Logo:

$$I_a = \frac{(A - 300)}{300}, \text{ para motores de 2 tempos.}$$

Exemplo de aplicação:

Determinar a resistência de rampa e rolamento oferecida ao deslocamento de um equipamento, composto por um trator de esteiras acoplado a um escreiper de rodas pneumáticas. A operação se processa em um trecho de estrada estabilizada.

Verificar a perda de potência uma vez que o motor é aspirado e o trabalho é realizado a 1 200,0 metros de altitude.

Dados:

- peso do trator..... 15,0 tf;
- potência na barra de tração..... 240 cv;
- peso do escreiper..... 15,8 tf;
- peso do material transportado..... 30,0 tf;
- rampa a vencer..... 8 %.

Resolução:

a) Resistência ao rolamento:

$$RR_o = (15,8 + 30) \times \text{Fator de resistência ao rolamento};$$
$$\mathbf{RR_o = 45,8 \times 50 = 2\,290,0 \text{ kgf}}$$

b) Resistência de rampa:

$$\mathbf{RR_a = 10 \times 60,8 \times 8 = 4\,864,0 \text{ kgf}}$$

c) Resistência ao movimento:

$$RR_o + RR_a = 2\,290,0 + 4\,864,0 = \mathbf{7\,154,0 \text{ kgf}}$$

d) Influência da altitude:

$$\mathbf{I_a = (A - 300) / 100 = (1\,200,0 - 300) / 100 = 9 \%}$$

Conclusão:

A resistência total ao movimento será de 7 154 kgf e ainda se verifica que a potência na barra de tração fica reduzida de 9 %, ou seja, passará de 240 cv, para 218 cv.

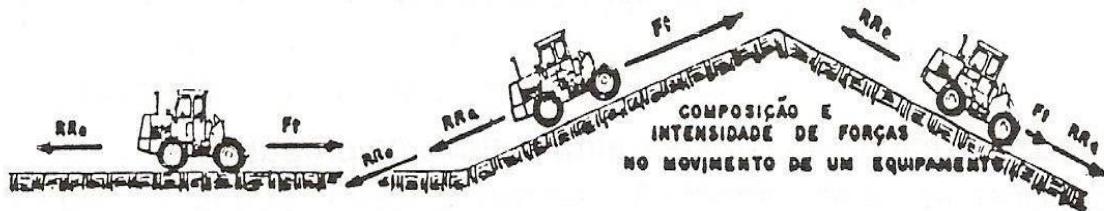


Figura 13 – Ilustração da composição de forças

2.5. ADERÊNCIA

A aderência é a capacidade que tem as rodas motrizes (ou esteiras) de um equipamento de aderirem ao terreno.

A aderência varia de acordo com o peso aplicado pelas rodas motoras (ou esteiras), pelo desenho e da forma da banda de rodagem (ou forma e dimensões das garras da esteira), tipo e condições da superfície do terreno.

Quando as rodas ou esteiras giram em falso (patinam) a aderência é insuficiente.

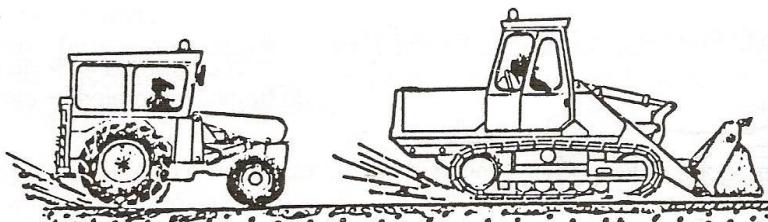


Figura 14 – Aderência insuficiente (patinação)

A Tabela IV fornece os coeficientes de aderência mais usuais. O produto resultante do peso transmitido pelo conjunto propulsor de um equipamento (rodas motrizes ou esteiras), pelo coeficiente de aderência, fornece no sistema de unidades adotado, a máxima força de tração possível nesse terreno. Se for exigida uma maior tração, o equipamento “patinará”.

TABELA IV

Coeficientes de aderência

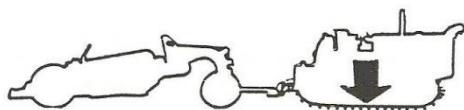
Terreno (superfície)	Pneus	Esteiras
Concreto	0,90	0,45
Terreno argiloso seco – terra firme	0,55	0,90
Terreno argiloso molhado	0,45	0,70
Argila – estrada mal conservada	0,40	0,70
Areia solta	0,30	0,30
Pedra	0,65	0,65
Estrada de cascalho	0,36	0,50
Terra solta	0,45	0,60

Maneiras usadas para aumentar a aderência:

- a) Aumentar o peso sobre as rodas de tração;
- b) Aumentar o número de rodas de tração;
- c) Melhorar as condições do terreno;
- d) Colocar correntes nas rodas de tração.

Peso transmitido ao solo por alguns tipos de propulsores:

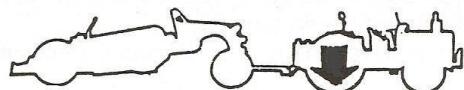
- a) Escreiper rebocado por trator de esteiras. Fig. 15.



Considera-se somente o peso total do trator

Figura 15 – Escreiper rebocado por trator de esteiras

- b) Escreiper rebocado por trator de rodas. Fig. 16.



Somente é considerado o peso que é transmitido pelas rodas de tração

Figura 16 – Escreiper rebocado por trator de rodas

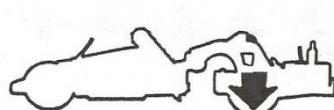
- c) Escreiper apoiado no trator de rodas. Fig. 17.



Aproximadamente 40 % do peso do trator + escreiper + carga

Figura 17 – Escreiper apoiado no trator de rodas

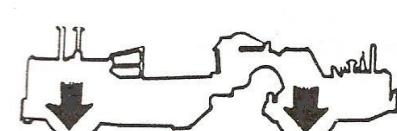
- d) Moto-escreiper com tração em duas rodas. Fig. 18.



Aproximadamente 60 % do peso do moto-escreiper + carga

Figura 18 – Moto-escreiper com tração em duas rodas

- e) Motoescreiper com tração em quatro rodas. Fig. 19.



Considera-se o peso total do conjunto moto-escreiper + carga

Figura 19 – Moto-escreiper com tração em quatro rodas

2.6. EFICIÊNCIA DE TRABALHO

Eficiência de trabalho, também conhecida como “**fator de eficiência**” é representada pela notação **E**.

Se não houvesse perda de tempo na jornada diária de trabalho, a eficiência seria de cem por cento (100 %) e o valor do fator E, alcançaria a unidade (1.0).

Esse valor só é obtido em casos excepcionais. Em uma hora de trabalho diário devem ser descontados os minutos perdidos por razões tais, como:

- a) Espera de unidades auxiliares;
- b) Pequenos reparos mecânicos e a manutenção preventiva;
- c) Breves pausas causadas pela fadiga do operador;
- d) Recebimento ou transmissão de instruções.

$$E = \frac{\text{Número médio de minutos de trabalho em uma hora}}{60 \text{ minutos}}$$

Um valor de **E**, igual a 0,75, exemplificando, que é considerado um valor médio, equivale a trabalhar, efetivamente, 45 minutos em 60 minutos de uma hora.

2.7. TEMPO DE CICLO

Tempo de ciclo de um equipamento é o intervalo de tempo necessário para a execução de uma operação completa de uma série de operações repetitivas. Assim, o tempo de ciclo de um trator de lâmina que empurra uma certa quantidade de terra, corresponde ao intervalo de tempo que o mesmo consome em, iniciar o movimento de empurrar a terra, parar, voltar, parar de novo e iniciar o movimento de empurrar uma nova carga.

O tempo de ciclo pode ser decomposto em duas parcelas denominadas de **tempo fixo** e **tempo variável**.

- **Tempo fixo**: é o necessário para que um equipamento possa carregar (ou ser carregado), descarregar, fazer a volta, parar e iniciar um novo ciclo, tempo esse mais ou menos igual em um dado serviço;

- **Tempo variável**: é o necessário para que um equipamento se locomova do local de carregamento, até o local onde efetua a descarga e retorne ao local de carregamento.

Os tempos fixos podem ser obtidos de tabelas fornecidas pelos fabricantes de equipamentos, tabelas que indicam os tempos gastos em condições normais de trabalho.

Essas tabelas auxiliam na elaboração de cálculos de produção. É aconselhável determinar o tempo variável com maior precisão no campo, registrando os tempos, efetivamente, gastos pelos equipamentos, em condições reais de serviço.

Notações:

- Tempo de ciclo..... T ;
- Tempo fixo..... t_f ;
- Tempo variável..... t_v .

$$T = t_f + t_v$$

Obtenção do tempo variável em função da velocidade de deslocamento v e a distância média de transporte para um determinado percurso **AB**.

$$v = \frac{e}{t} ; t = \frac{e}{v},$$

Sendo:

- t (tempo) em horas, porém $t = t_v$;
- e (distância) em km;
- v (velocidade) em km/h.

Para obter no trecho AB, o tempo t_v em minutos, continuando a velocidade de deslocamento ser expressa em km/h, o numerador da expressão deve ser multiplicado por 60 minutos:

$$t_v = \frac{60 \cdot e}{v}$$

É conveniente trabalhar com a distância de transporte no trecho AB, em metros, ($e = d$), para isso multiplica-se o denominador por 1 000 metros, redundando a expressão em:

$$t_v = \frac{60 \cdot d}{1000 \cdot v} \text{ ou } t_v = 0,06 \cdot \frac{d}{v}$$

Um circuito de trabalho é percorrido pelo equipamento com velocidade variável nos diversos trechos (AB, BC, CD, ..., MN), isto devido a rampas, declives, curvas, tipos de pistas, condições do terreno e outras.

Considerando todos os (n) trechos do circuito, tem-se a seguinte equação que permite obter o tempo variável do circuito:

$$t_v = \sum_1^n 0,06 \cdot \frac{d_n}{v_n}$$

Onde:

- n = n° de trechos;
- d_n = distância em m, no trecho n ;
- v_n = Velocidade em km/h, no trecho n ;
- t_v = tempo variável total, em minutos.

Explicação gráfica da influência da altitude, resistência ao rolamento e rampa, influência da aderência, marchas, velocidades possíveis relacionadas com as forças

de tração disponíveis para um trator com transmissão mecânica e outro com conversor de torque. Fig. 20.

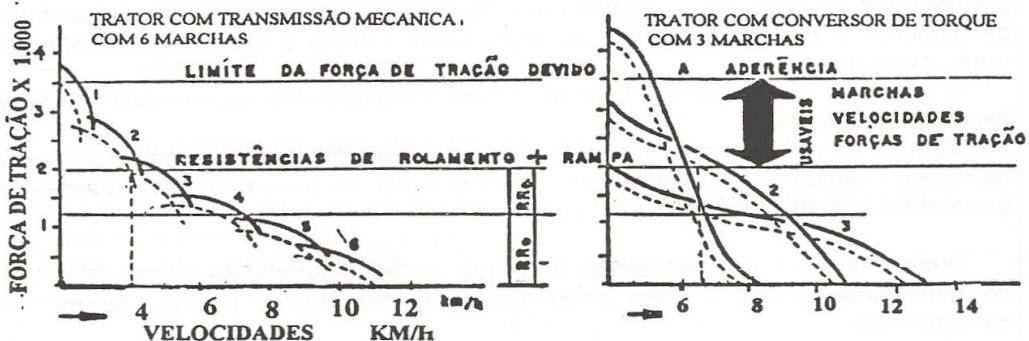


Figura 20 – Gráficos das influências sobre o rendimento dos equipamentos

Interpretação:

Os tratores, nesse exemplo, só podem dispor de uma força de tração de 3 500,0 kgf, em função da aderência e da altitude.

Ambos os tratores têm que vencer 2 000,0 kgf de resistências provocadas pelo rolamento e rampa. O trator de transmissão mecânica poderá usar a primeira marcha e a segunda marcha e sua maior velocidade de trabalho na segunda marcha corresponde a 4 km/hora. O trator com conversor de torque poderá usar a 1^a e a 2^a marcha. Possuindo a maior velocidade de trabalho na 2^a marcha que corresponde mais ou menos 6,4 km/hora.

3.0. MÁQUINAS TRATORAS

3.1. TRATORES DE ESTEIRAS

Trator é a máquina automotora especialmente construída para empurrar outra(s) máquina(s) e/ou acionar implemento(s) a ela adaptado(s), podendo ser:

- De esteiras – trator que se movimenta por meio de esteiras;
- De roda – trator que se movimenta sobre rodas, podendo ter chassis rígido ou articulado;
- De tração combinada – trator que se movimenta sobre rodas e esteiras, podendo ter chassis rígido ou articulado.

Observação: definições de acordo com a TB – 51.

A característica mais importante dos tratores de esteiras é a própria esteira.

A esteira em si é constituída pelo conjunto de pinos, buchas, elos e sapatas.

Esse conjunto é fechado através de um pino mestre que possui a característica de ser removível em relação aos outros pinos que são fixados com maior pressão.

A esteira se desloca no mesmo sentido do movimento do trator, de forma a proporcionar um trilho para a roda guia e roletes. Assemelha-se este movimento ao deslocamento de uma locomotiva sobre uma cremalheira.

O trator possui uma roda dentada (motriz) que se engrena nas buchas da esteira proporcionando a força de tração que impele os roletes a se deslocarem sobre os elos fixos das sapatas.

As sapatas normais (standard) dos tratores são dimensionadas para distribuir ao solo uma pressão de 0,5 kgf/cm², referente ao peso total do trator.

Vantagens do trator de esteiras:

- Maior capacidade de tração em terrenos pouco aderentes;
- trabalha em qualquer condição topográfica;
- Prescinde de pistas ou estradas para trabalhar;
- Opera em terrenos de baixo suporte;
- tem grande versatilidade de uso.

Desvantagens:

- Possui pequena velocidade de trabalho;
- Não pode ser usado para deslocamentos longos;
- exige cuidados especiais ao se deslocar em superfícies acabadas ou duras.

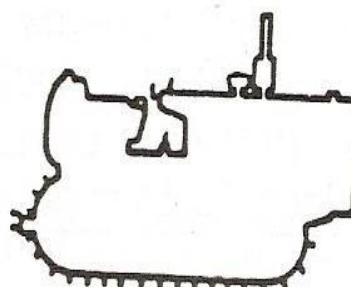


Figura 21 – Trator de esteiras

Emprego dos tratores de esteiras

Os tratores de esteiras são indicados para os trabalhos seguintes:

- Gerais de reboque;
- Como unidades de tração de equipamentos de escavação que operam em velocidades baixas e em rampas fortes, em terrenos pouco consistentes;
- Como unidade escavadora quando dotado de lâmina frontal;
- Como unidade carregadora, em terrenos impróprios para máquinas sobre rodas, quando dotado de concha frontal;
- De tração de escarificadores e rolos de compactação.

3.2. TRATORES DE RODAS

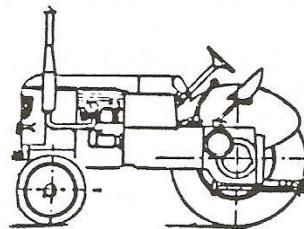


Figura 22 - Trator de rodas

Vantagens:

- Fácil manobra, condução e operação;
- Tem boas velocidades de deslocamento em estradas e superfícies regularizadas, alcançando velocidade de 40 km/h;
- Podem ser usados para longos deslocamentos

Desvantagens:

- Necessitam de pistas regularizadas;
- Os terrenos devem estar secos para sua operação;
- Possuem pouca aderência em terrenos argilosos.

4.0. EQUIPAMENTOS DE ESCAVAÇÃO

Os equipamentos de escavação podem ser subdivididos nos seguintes grupos, em função do tipo de serviço de escavação a que se destinam;

- 1) Equipamento escavador deslocador;
- 2) Equipamento escavador transportador (“scraper”);
- 3) Equipamento nivelador;
- 4) Equipamento escavador elevador;
- 5) Equipamento escavador carregador.

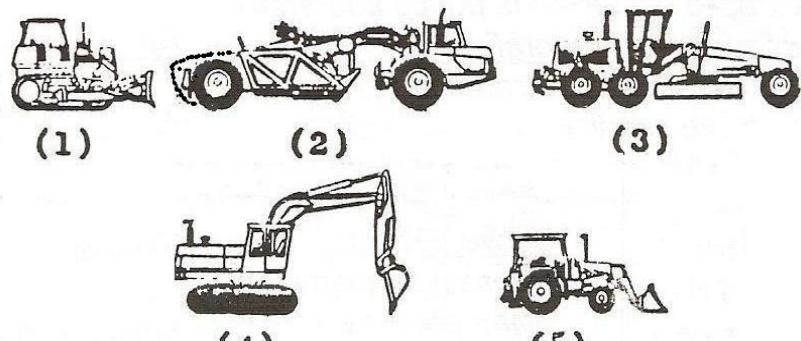


Figura 23 – Equipamentos de escavação

4.1. EQUIPAMENTO ESCAVADOR DESLOCADOR

São equipamentos que executam inúmeros serviços em obras de escavação, constituindo-se na base fundamental da mecanização em terraplenagem. As

máquinas (tratores) se completam como equipamentos de escavação e transporte, pela colocação do implemento denominado de **lâmina**.

Em função do tipo de lâmina esses equipamentos escavadores podem ser subdivididos em tratores com lâmina:

- a) Reta;
- b) Angulada;
- c) Ajustável;
- d) Inclinável.

Trator com lâmina reta

Tem esse equipamento outras denominações, como: **trator de lâmina reta**, ou **trator de “queixo duro”**. (“bulldozer”).

O implemento colocado no trator é um robusto suporte metálico que tem à sua frente uma lâmina de aço montada perpendicularmente ao eixo longitudinal do trator.

A lâmina tem apenas dois movimentos, um de elevação e outro de abaixamento, ambos executados através de cilindros hidráulicos. O extremo inferior da lâmina e suas laterais têm as bordas constituídas com aço extremamente duro, para melhor resistir à abrasão. (São bordas substituíveis).

É o equipamento indicado para escavação e transporte dos materiais em linha reta, desmonte de materiais e rochas pouco duras, deslocamento de blocos de pedra. Isto tudo, devido à sólida construção oferecida pelo conjunto máquina/lâmina. Fig. 24.

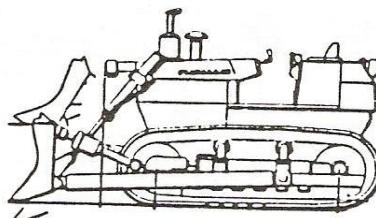


Figura 24 – Trator de lâmina reta (bulldozer)

Observação: “**bulldozer**” é a denominação em língua inglesa;
bulldozer é a denominação adotada para o Brasil pela ABNT, na TB-51.

Trator com lâmina angulada

Outras designações atribuídas a esse equipamento: **trator de lâmina oblíqua**, **“angledozer”**. A sua lâmina é de construção semelhante à do “bulldozer”. A diferença está no sistema de suporte da lâmina o qual permite, além dos movimentos de elevação e abaixamento, o posicionamento da lâmina de forma perpendicular (reta) ou formando ângulos com o eixo longitudinal do trator (O usual é de até 25°, à esquerda ou à direita).

Uma lâmina do tipo angulável, comparada com a do “bulldozer”, apresenta menor altura, porém tem maior comprimento. Fig. 25.

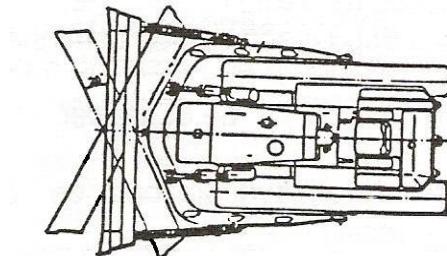


Figura 25 – Trator com lâmina angulável.

Trator com lâmina ajustável

Também chamado de **tipedozer** (“tipdozer”).

O ajuste da lâmina é obtido através de um conjunto de peças adaptadas ao “bulldozer” ou ao “angledozer” o qual dá um novo posicionamento para a lâmina.

A lâmina poderá ser movida e fixada em uma nova posição em relação a um eixo horizontal, aumentando ou diminuindo o seu ângulo de ataque, em relação ao terreno.

Essa montagem permite “rolar” a terra na frente da lâmina, com melhor aproveitamento no transporte do material. Fig. 26.

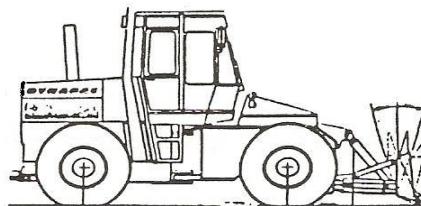


Figura 26 – Trator com lâmina ajustável

Trator com lâmina inclinável

Também chamado de **tiltedozer** (“tiltdozer”), é outra forma de dar outra fixação para a lâmina em relação a um plano de apoio do conjunto de esteiras. O equipamento efetua com essa nova disposição, cortes a meia encosta e abertura de valetas. Fig. 27.

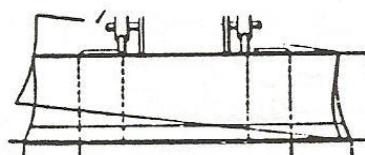


Figura 27 – Trator com lâmina inclinável

Emprego dos tratores com lâmina frontal

- Abertura de caminhos de serviço e preparo da plataforma de rodagem para outros equipamentos;
- Desmatamento, limpeza e destocamento;
- Construção de aterros com empréstimo lateral a curtas distâncias e pouca altura;
- Cortes com bota-fora, em terrenos com forte inclinação lateral ou longitudinal, cortes altos e com pequena extensão;
- Cortes com pequena distância de transporte;
- Regularização de terrenos (grosseiro nivelamento);
- Remoção de troncos ou blocos de pedra;
- Espalhamento de materiais depositados pelos caminhões basculantes e escreipers;
- Operação de tração como deslocador de escreipers.

O transporte de materiais de escavação, com os tratores com lâmina só é econômico até as seguintes distâncias máximas:

- **tratores de esteiras 100 metros;**
- **tratores de rodas 150 metros.**

Observações:

- 1) Existem outros tipos de lâminas para trabalhos específicos, como: remoção de neve; desmatamentos; empurramento de outros equipamentos ("pusher").
- 2) Entre parênteses (), a denominação em inglês.

Produção horária

A produção horária dos equipamentos escavadores deslocadores de rodas ou esteiras pode ser obtida diretamente de gráficos fornecidos pelos fabricantes desses equipamentos. Os gráficos são elaborados para as condições ótimas de operação, sendo movimentado o material de escavação em terreno plano. Fig. 28.

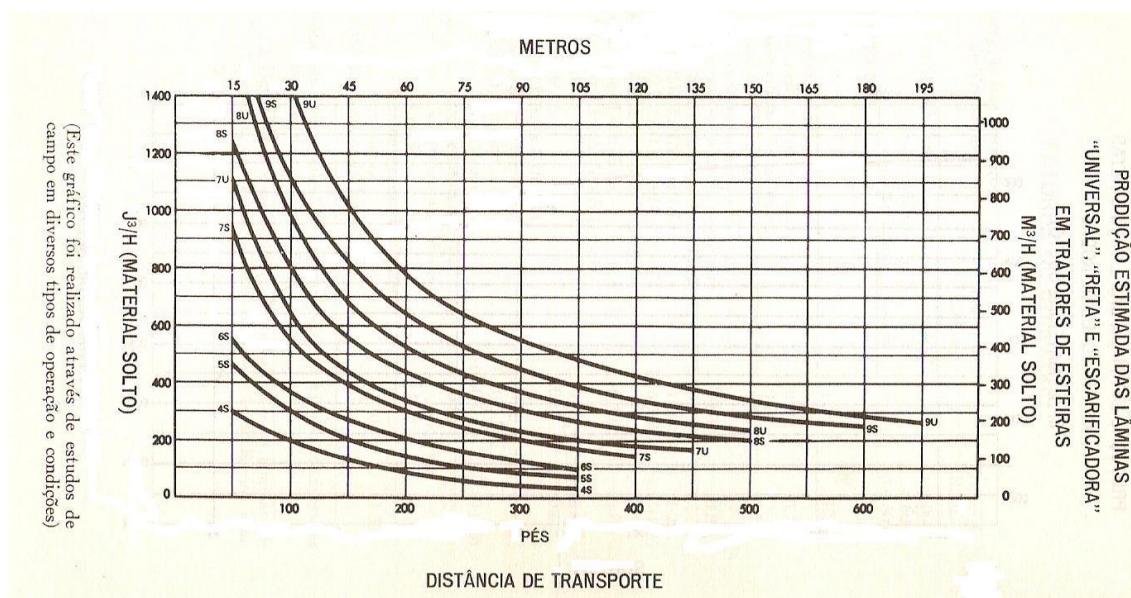


Figura 28 – Gráfico de produção horária

Na falta de gráficos de produção ou no caso em que o trabalho se faça em declives (ou aclives), a produção será calculada em função da capacidade de corte da lâmina, do tempo de ciclo, do tipo de terreno e da porcentagem do declive.

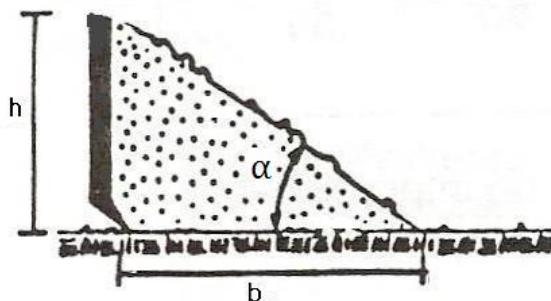


Figura 29 – Capacidade de corte da lâmina

Capacidade de corte da lâmina:

- C = capacidade de corte, em m^3 ;
- α = ângulo de talude do material;
- h = altura da lâmina, em metros;
- c = comprimento da lâmina, em metros;
- b = base do triângulo = $h/\tan \alpha$;

$$\text{Área da seção: } S = b \cdot h/2 = h^2/2 \cdot \tan \alpha$$

Caso a seção fosse constante em todo o comprimento da lâmina, o volume arrastado de material, em terreno plano seria:

$$C = \frac{c \cdot h^2}{2 \tan \alpha} \quad (C, \text{ em metros cúbicos}).$$

Porém, a seção não é constante para alguns tipos de materiais, razão pela qual é aplicado um coeficiente corretivo η na fórmula que fornece a produção horária, conforme a Tabela V.

TABELA V Valores de η	
Material	η
Terra comum, argila seca solta	1,0
Areia, cascalho, terra molhada	0,8
Rocha escarificada ou dinamitada	0,6

O ângulo de talude do material de escavação (α) depende da composição do terreno, do teor de umidade, ângulo que poderá ser determinado no local de trabalho, após o trator ter iniciado a escavação e parado em terreno plano. Esse ângulo, em cálculos prévios é, praticamente, igual a 45° , ficando $\tan \alpha = 1$.

Operações em declives (ou aclives)

A capacidade de transporte da lâmina em declives é maior do que a capacidade da lâmina ao trabalhar no plano. (caso oposto ocorrerá quando o equipamento operar em aclive).

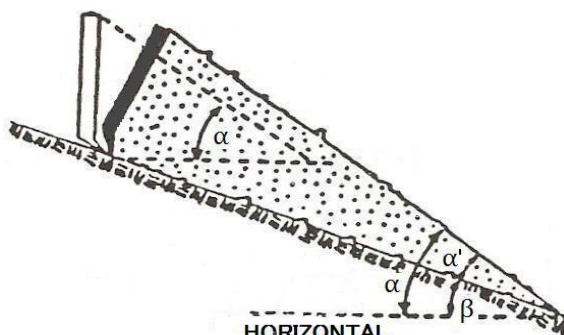


Figura 30 – Operação em declive (ou aclive)

Da figura 30, se obtém as seguintes relações:

- em declives: $\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} (\alpha - \beta)$
- em aclives: $\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} (\alpha + \beta)$

Alterando-se a expressão de **C**, para:

$$C = \frac{c \cdot h^2}{2 \operatorname{tg} \alpha'}$$

A Tabela VI, fornece diretamente os valores de $\operatorname{tg} \alpha'$ para declives ou aclives em função da porcentagem desses declives (ou aclives). Nessa tabela considerou-se o ângulo $\alpha = 45^\circ$. Aplicam-se esses fatores na fórmula da capacidade de corte da lâmina.

TABELA VI
Valores de $\operatorname{tg} \alpha'$

Declives em %	$\operatorname{tg} \alpha'$	Aclives em %	$\operatorname{tg} \alpha'$
0	1,00	0	1,00
5	0,90	5	1,10
10	0,81	10	1,22
15	0,74	15	1,35
20	0,66	20	1,50
25	0,60		

Valores intermediários podem ser obtidos através de interpolação.

Fórmula de produção horária dos tratores com lâmina:

$$P_h = \frac{60 \cdot C \cdot E \cdot f \cdot \eta}{T}$$

Onde:

P_h = produção horária, em metros cúbicos/hora;

T = tempo de ciclo, em minutos;

C = capacidade de corte da lâmina, em m^3 ;

E = eficiência do trabalho;

f = fator de empolamento (Tabela I);

η = fator de correção obtido na Tabela V.

Produção em serviços de desmatamento

É obtida em função da potência na barra de tração e do diâmetro das árvores, conforme a Tabela VII:

TABELA VII

Produção em desmatamentos

Diâmetro da árvore em cm	Potência na barra de tração, até 115 cv	Potência na barra de tração, acima de 115 cv
Até 15	835 m^2/h	1 000 m^2/h
15 a 30	3 a 9 min/árvore	2 a 6 min/árvore
30 a 90	5 a 20 min/árvore	5 a 20 min/árvore

Observações:

No cálculo da produção horária de tratores com lâmina frontal, podem ser usados alguns valores médios que auxiliam na determinação da produção horária:

a) Fator de eficiência do trator

- $E = 0,8$ (para trator de esteiras);
- $E = 0,7$ (para trator de rodas).

b) Velocidade de trabalho

(tratores de esteiras), quando não conhecidas, podem ser utilizadas as seguintes:

- escavação pesada, 1^a marcha..... 3,5 km/h;
- escavação leve, 2^a marcha..... 6,2 km/h;
- retorno a ré, 3^a marcha..... 11,0 km/h.

c) Tempo fixo (t_f)

- Mudança de cada marcha (frente à ré ou ré à frente), na mesma velocidade, adotar: $t_f = 0,10$ minutos;
- Mudança de cada marcha (frente à ré ou ré à frente), usando velocidades diferentes, adotar: $t_f = 0,20$ minutos.

Exercício de aplicação

Determinar a produção horária provável de um trator de esteiras com lâmina reta em um serviço de escavação de terra comum seca, conhecendo-se os seguintes dados:

- Velocidade de trabalho à frente..... 6,0 km/h (obtida no local);
- Velocidade de trabalho à ré..... 10,5 km/h (obtida no local);
- Distância média de transporte..... 90,0 metros;
- Comprimento x altura da lâmina..... 4,5 x 1,2 metros;
- Tempo fixo, obtido no local de trabalho..... 0,36 minutos.

O trabalho se desenvolve em terreno plano.

Pergunta-se: Qual seria a produção horária se o trator fosse operado com declive de 10 %?

Solução:

- Capacidade de transporte da lâmina, em terreno plano (C):

$$C = c \cdot h^2/2 \operatorname{tg} \alpha$$
; Substituindo: $c = 4,5$; $h = 1,2$; $\alpha = 45^\circ$;

$$C = 4,5 \times 1,2 \times 1,2/2 = 3,24 \text{ m}^3$$
, no plano.
 - Capacidade de transporte, com declive de 10%: (Tabela VI)

$$C = 4,5 \times 1,2 \times 1,2/2 \times \operatorname{tg} \alpha' = 4,5 \times 1,44 / 2 \times 0,81 = 4,0 \text{ m}^3$$
 - O fator de correção devido ao empolamento (f), retirado da Tabela I é igual a **0,79**.
 - O tempo variável deve ser obtido pela expressão:

$$t_v = \sum_1^n 0,06 d_n / v_n$$
 - $d_n = 90$ metros, na ida e na volta.
 - a velocidade na ida é de 6,0 km/h;
 - a velocidade na volta é de 10,5 km/h;
$$t_v = 0,06 \times 90 / 6,0 + 0,06 \times 90 / 10,5 = 0,9 + 0,51 = 1,41 \text{ minutos}$$
 - Determinação do tempo de ciclo (T) = tempo fixo (t_f) + tempo variável (t_v)

$$T = 0,36 + 1,41 = 1,77 \text{ minutos}$$
- Observação: outros dados podem ser obtidos pelos valores médios, como
E = 0,8 (Pg. 36) e **$\eta = 1,0$** (Tab. V);
- Determinação da produção horária:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E \cdot f \cdot \eta) / T = (60 \times 3,24 \times 0,8 \times 0,79 \times 1,0) / 1,77 = 69,4 \text{ m}^3/\text{h}$$
 (no plano).
 - Para a determinação da produção horária com o trator trabalhando em um declive de 10%, o valor de **C** deve ser alterado de **3,24 m³** para **4,00 m³**.

$$P_h = (60 \times 4,0 \times 0,8 \times 0,79 \times 1,0) / 1,77 = 85,679 = 85,7 \text{ m}^3/\text{h}.$$

4.2. EQUIPAMENTO ESCAVADOR TRANSPORTADOR

É o equipamento capaz de executar a escavação do material, recolhe-lo em uma caçamba, efetuar o transporte desse material ao local conveniente e promover a sua descarga. As mais antigas escavadoras transportadoras eram as rudimentares “pás de arrasto” de tração animal que operavam em terrenos já desagregados através de arados (escarificadores). Fig. 31.



Figura 31 – Pá de arrasto

A seguir foram utilizados os “cilindros escavadores de tração motorizada, usados para curtas distâncias, em torno de 35 metros e com capacidade de até 2 metros cúbicos.

Os escreipers atuais podem ser rebocados ou autopropulsados e são constituídos por uma caçamba, em cujo fundo, são fixadas lâminas cortantes responsáveis pela escavação do material.

A tração a que é submetido o escreiper produz, simultaneamente, a escavação e o enchimento da caçamba na operação de carregamento. Esse equipamento é responsável pela grande revolução dos serviços de escavação transporte descarga e espalhamento de materiais, pelo fato de executar todas essas operações com um único operador.

Vantagens:

- a) Economia de tempo na execução dos serviços;
- b) Baixo custo de operação;
- c) Simplicidade de operação;
- d) Elevada produção.

Desvantagens:

- a) Equipamento de grande porte;
- b) Custo elevado de aquisição;
- c) Custo elevado de manutenção;
- d) Somente apresentam vantagens financeiras se usados de forma contínua.

Partes principais de um moto-escreiper:

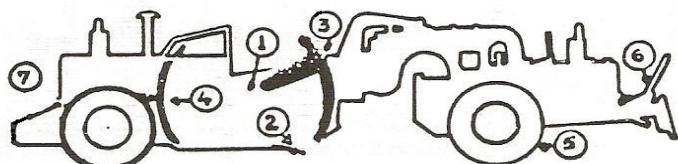


Figura 32 – Moto-escreiper

- 1) Caçamba;
- 2) Lâmina;
- 3) Avental;
- 4) Ejetor;
- 5) Rodas;
- 6) Lâmina para tração;
- 7) Apoio para tração.

Caçamba: é o recipiente de recebimento e depósito do material escavado, composto pelo fundo e lados construídos em chapas de aço, podendo, através de comandos dados pelo operador, ser abaixada durante o corte do solo e enchimento da caçamba e levantada durante o transporte do material e sua descarga, assim como, também, durante o deslocamento sem carga.

Lâminas: situadas na parte inferior da caçamba, são responsáveis pelo corte do material de escavação. Nos escreipers de grande e médio porte, são três em número, podendo ser substituídas (quando desgastadas pela abrasão).

Avental: se constitui na parede dianteira da caçamba, tendo a particularidade de ser móvel. Levantado, proporciona a abertura da caçamba para o carregamento (ou descarga). Abaixado, fecha a caçamba.

Ejeto: é a parede traseira da caçamba, tem um movimento para frente ou para traz. A finalidade do ejeto é mover o material no interior da caçamba para esvaziá-la durante a descarga.

Rodas: com pneumáticos de grande diâmetro e grande área de contato com o solo, auxiliam na compactação do material durante a descarga.

Lâmina de auxílio para a tração: é uma lâmina reforçada e de tamanho reduzido que se destina a auxiliar no esforço de tração a outro moto-escreiper.

Apoio para a tração: é uma armação metálica de grande resistência que tem a finalidade de receber o esforço adicional de tração de outro trator ou de outro moto-escreiper.

O movimento da caçamba, amental e ejeto, dependendo do modelo do escreiper e do sistema adotado pelo fabricante, poderão ser acionados através de cabos de aço, êmbolos hidráulicos ou motores elétricos.

Capacidades dos escreipers:

- a) **Nominal ou rasa**: indica o volume interno da caçamba;
- b) **Coroada, máxima ou empolada**: é a designação do volume máximo que se pode colocar em um escreiper e transportar não havendo perdas no trajeto de transporte.

Tipos de tração para escreipers:

- a) **Trator de esteiras**: é um sistema ainda usado, devendo a distância de transporte ser compatível ao seu emprego.

O trator de esteiras desenvolve velocidades de deslocamento muito inferiores ao de pneus (de 6 a 12 km/h), embora tenha uma maior força de tração.

A distância máxima preconizada para tratores de esteiras corresponde a 300 metros.

- b) **Trator de rodas pneumáticas**: Pode ser de duas e de quatro rodas. O trator de duas rodas é acoplado, diretamente, ao escreiper.

Os tratores de rodas chegam a desenvolver velocidades de transporte de até 50 km/h.

Os equipamentos escavadores carregadores tracionados pelos tratores de rodas operam, economicamente, até um **limite de 3 000 metros**.

De modo geral os escreipers de rodas, necessitam do auxílio de um trator de empurrador (“**pusher**”) com lâmina frontal adaptada, para o trabalho de carregamento.

Formas de carregamento dos escreipers:

- 1) Carga pela tração de um trator de esteiras: nesse caso o equipamento por si só executa a escavação, a carga, o transporte e a descarga do material. Fig. 33.



Figura 33 – Escreiper tracionado por trator de esteiras

- 2) Carga com auxílio de outro trator:

Aplica-se ao escreiper que é tracionado pelo trator de rodas que não disponha de suficiente força de tração. Fig. 34.



Figura 34 – Carga com trator auxiliar

- 3) Moto-escreiper auto carregável:

É o equipamento que por inovações introduzidas pelos fabricantes carrega a caçamba sem necessidade de um trator auxiliar.

Podem ser citados os moto-escreipers com tração em todas as rodas (de dois motores), os dotados de esteiras elevadoras e os moto-escreipers que operam em “tandem”.

- 3.1) Moto-escreiper com dois motores:

Possui dois motores tendo todas as suas quatro rodas motoras com força de tração suficiente para efetuar o seu próprio carregamento. Fig. 35.



Figura 35 – Moto-escreiper com dois motores

- 3.2) Moto-escreiper com esteira elevadora:

Nessas unidades a carga da caçamba é executada por uma esteira que eleva o material escavado lançando-o no interior da mesma. Fig. 36.

ELEVADORES



Figura 36 – Moto-escreiper com esteira elevadora

- 3.3) Moto-escreiper com operação em “tandem”:
Denomina-se o trabalho em “tandem” quando os moto-escreipers forem adaptados com dispositivos de engate entre si, na fase de carregamento. Engatados, o primeiro moto-escreiper executa a escavação e o enchimento de sua caçamba auxiliado pela força de tração do outro. Completada a carga, passa a auxiliar com sua força de tração, na fase de escavação e carregamento do segundo.

Completado o carregamento dos dois, se faz o desengate e as unidades se dirigem, isoladamente, ao local de descarga. Fig.37.

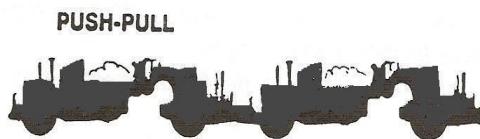


Figura 37 – Moto-escreipers em “tandem”

Observação: Essa forma de operação é conhecida também como arranjo em “push-pull”, segundo o Manual de Produção da Caterpillar.

Fórmula da Produção Horária

A produção horária do equipamento escavador transportador pode ser calculada pela expressão:

$$P_h = \frac{60 \cdot C \cdot E \cdot \varphi}{T}$$

Sendo:

P_h = Produção horária em m³, de material escavado;

C = Capacidade nominal ou rasa do escreiper, em m³;

E = Eficiência do trabalho. Usar:

E = 0,8 (trator de esteiras);

E = 0,7 (trator de rodas).

φ = Fator corretivo para a obtenção do volume escavado obtido na Tabela VIII.

T = Tempo de ciclo.

O fator **φ** leva em conta a compactação que o material escavado sofre ao se na caçamba. Esse valor multiplicado pelo **volume interno** da caçamba (ou **nominal**) fornece o volume, realmente, escavado.

Outra forma de obter o volume escavado (menos exata, no caso) poderia ser efetuando-se o produto do volume empolado da caçamba pelo fator f , porém não se está, nesse caso, considerando a compressão do material na caçamba.

Tempo de ciclo: $T = t_f + t_v$

O tempo fixo (t_f) pode ser obtido como segue:

$t_f = 2,5$ minutos, para $C \leq 11,7 \text{ m}^3$;

$t_f = 3,0$ minutos, para $C \geq 11,7 \text{ m}^3$;

$$t_v = \sum 0,06 (d_n/v_n)$$

TABELA VIII
Fator de enchimento da caçamba

$\varphi = 0,95$	$\varphi = 0,85$	$\varphi = 0,75$
Argila calcárea	Argila	Areia limpa
Argila arenosa	Terra vegetal	Pedregulho fino e solto
Terra negra	Rocha argilosa	Argila úmida
Terra comum compacta		Solo de dunas
		Pedregulho com argila

Potência necessária a um trator para auxiliar um escreiper de rodas:

Considerar de 8 a 10 cv, para cada metro cúbico da capacidade rasa do escreiper de rodas para que o carregamento se processe a uma distância de 20 a 30 metros.

Número de escreipers servido por um trator auxiliar (“pusher”):

Conhecendo-se o tempo de ciclo dos escreipers (T_c) que devem ser de modelos semelhantes, para terem o mesmo tempo de ciclo e o tempo de ciclo do trator empurrador (T_t), em serviço de “pusher”, então, o número de escreipers (N), atendidos pelo trator será:

$$N = \frac{T_c}{T_t}$$

O tempo de ciclo do trator auxiliar é em média de 1,5 a 2,0 minutos.

Exercício:

Um escreiper é tracionado por um trator de esteiras e efetua um corte em terra comum, lançando o material de escavação em um aterro, cuja distância média de transporte é de 200 metros.

Determinar a produção horária sabendo-se que o transporte se faz em aclive de 3%, em estrada de terra não estabilizada, em um local que está a uma altitude de 1 100,0 metros.

Especificações:

Peso do trator	14 300 kgf
Tempo fixo	2,5 minutos
Peso vazio do escreiper	9 100 kgf
Capacidade rasa da caçamba	10,7 m ³
Capacidade coroada	14,0 m ³

Características do trator:

Marcha	Velocidade (km/h)	Força de tração (kgf)
1 ^a	2,3	17 000,0
2 ^a	3,4	11 525,0
3 ^a	4,8	7 777,0
4 ^a	6,3	5 998,0
5 ^a	7,2	5 100,0
6 ^a	9,3	3 300,0

Resolução:

a) Resistência ao rolamento (ida):

RRo = (peso do escreiper + carga) x (Fator de resistência ao rolamento). Tabela III. Adotar: 75 kgf/t.

Peso da carga: pode ser obtido multiplicando o volume da caçamba coroada pelo peso específico da terra comum seca. Tabela I. Adotar: 1,513 tf/m³.

Peso da carga = 14,0 x 1,513 = **21,182 tf**.

RRo = (9,1 + 21,182) x 75 = **2 271,0 kgf** (na ida);

b) Resistência ao rolamento (volta):

RRo = (peso do escreiper) x (Fator de RRo);

RRo = 9,1 x 75 = **682 kgf**;

c) Resistência de rampa (ida):

RRa = 10 . P . i = 10 x (14,3 + 21,182 + 9,1) x 3 = 10 x 44,582 x 3 = **= 1 337,0 kgf**;

Observação: Resistência de rampa, na volta, se torna uma assistência e passa a ajudar na tração (muda de sinal).

RRa = 10 x (14,3 + 9,1) x 3 = 10 x 23,4 x 3 = **702 kgf** (-);

d) Resistências oferecidas, ao deslocamento:

- Ida $2\ 271,0 + 1\ 337,0 = 3\ 608,0 \text{ kgf};$
- Volta $682,0 + (-702,0) = -20,0 \text{ kgf}.$

e) Influência da altitude:

$$I_a = (A - 300) / 100 = (1\ 100 - 300) / 100 = 8,0 \text{ %};$$

A influência da altitude se refletirá em todas as marchas como perda na forças de tração. Será calculada a perda, na 5^a e na 6^a marcha:

- 5^a marcha $5\ 100 \times 0,92 = 4\ 592,0 \text{ kgf} \text{ (com perda de 8 \%);}$
- 6^a marcha $3\ 300 \times 0,92 = 3\ 036,0 \text{ kgf} \text{ (com perda de 8 \%)}.$

Pode-se afirmar que a maior velocidade na ida, em função da resistência ao movimento, só pode ser feita na quinta marcha ou a **7,2 km/h** e na volta na sexta marcha ou a **9,3 km/h**.

f) Determinação do tempo variável:

$$\text{Tempo variável (t}_v) = [(0,06 \times 200) / 7,2] + [(0,06 \times 200) / 9,3] = 1,66 + 1,29 = \mathbf{2,95 \text{ minutos};}$$

g) Determinação do tempo de ciclo (T):

$$T = (\text{tempo fixo}) + (\text{tempo variável}) = 2,5 + 2,95 = \mathbf{5,45 \text{ minutos};}$$

h) Produção horária:

Com todos os elementos disponíveis, torna-se possível, calcular a produção horária do escreiper considerado.

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E \cdot \varphi) / T = (60 \times 10,7 \times 0,8 \times 0,95) / 5,45 = 89,52 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$P_h = \mathbf{89,52 \text{ m}^3/\text{h}.}$$

4.3. EQUIPAMENTO NIVELADOR (NIVELADORAS)

São máquinas equipadas com lâmina dotada de uma variada movimentação, pois pode ser levantada ou abaixada, girar em torno de um eixo e ter o movimento de translação provocado pelo deslocamento do seu conjunto.

É um equipamento adequado para nivelar, conformar superfícies e taludes, abrir valetas de pouca profundidade e espalhar materiais sobre superfícies.

Podem ser as niveladoras denominadas de:

- Motoniveladora**, quando a unidade propulsora é parte integrante da máquina;
- Niveladora rebocável**, quando a unidade propulsora não é parte integrante da máquina. (TB-51, 1978).

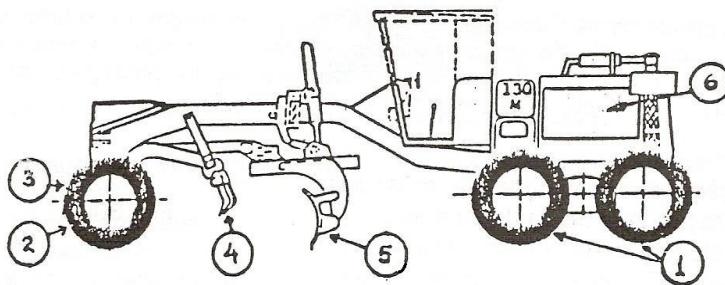


Figura 38 – Motoniveladora – partes principais

Partes principais de uma motoniveladora:

- 1) **Rodas motrizes:** geralmente em número de quatro e em “tandem”, proporcionam elevada tração e permitem ultrapassar desníveis;
- 2) **Eixo dianteiro arcado e oscilante:** permite excelente adaptabilidade das rodas dianteiras com as irregularidades da superfície do terreno devido à possibilidade de girar (oscilar) e ultrapassar sem tocar na leiva do material lançado sobre o solo;
- 3) **Rodas dianteiras inclináveis:** facilitam, com a inclinação, as manobras e contrapõe as forças inclinadas ao eixo longitudinal, quando a lâmina é utilizada em posição diferente da posição reta;
- 4) **Escarificador:** esse implemento permite uma desagregação do material do solo, muitas vezes necessária na recomposição de estradas de terra;
- 5) **Lâmina:** montada em um aro metálico giratório, pode assumir inúmeras posições de trabalho e tem um giro de 360°, no plano horizontal e um giro de até 90°, no plano vertical.

O aro metálico que sustenta a lâmina permite ainda que esta seja abaixada ou levantada no todo ou em um de seus cantos. Em algumas motoniveladoras modernas, a lâmina pode ainda ser alongada à direita ou à esquerda.

Serviços usuais da motoniveladora:

- a) Capina da vegetação rasteira, com um corte leve;
- b) Corte do terreno;
- c) Acabamento de taludes;
- d) Abertura de valetas pouco profundas;
- e) Acabamento de superfícies, nivelamento;
- f) Mistura e espalhamento de materiais;
- g) Escarificação leve (quando tem o implemento escarificador);
- h) Como equipamento escavador deslocador (se dotada de lâmina frontal).

Um dos mais importantes serviços executados pelas motoniveladoras vem a ser o nivelamento de estradas de terra ou com um revestimento primário. Com cinco “passadas” no leito da via, é regularizada a pista.

Duas “passadas”, uma de cada lado, regularizam as valetas e o acostamento deixando duas leivas de material na pista. Seguem mais duas “passadas” que executam meia pista de cada lado e na quinta “passada”, é regularizado o centro da pista. A Fig. 39 ilustra melhor os procedimentos descritos.

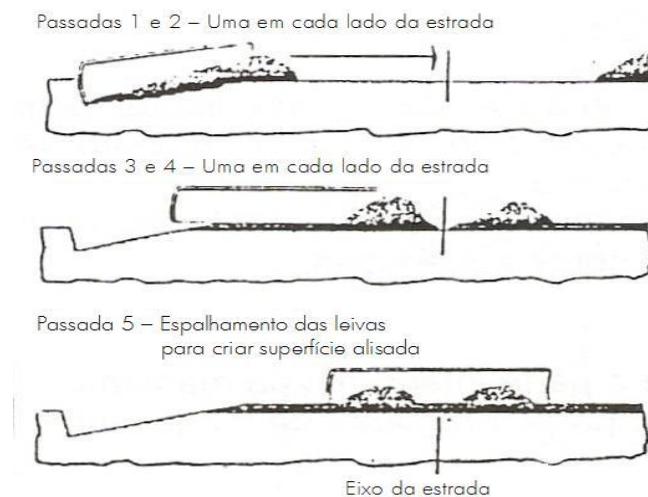


Figura 39 – Regularização de estradas de terra.

Observações:

- Além dos implementos normais adicionados com os já mencionados, existe outro que consiste em um conjunto de conchas que recolhem o material escavado, o elevam e o despejam de certa altura, sobre uma unidade de transporte. Neste caso a motoniveladora é chamada de niveladora elevadora ou "elevating grader".
- A capacidade de escavação e a força de tração são muito dependentes do ângulo de ataque da lâmina em relação ao plano do terreno. O material escavado deve "rolar" em frente da lâmina, quando ela estiver devidamente regulada, para atender as pressões exercidas pelo material de escavação.



Figura 40 – “Rolagem” do material na frente da lâmina.

Produção de motoniveladoras

Como as motoniveladoras são empregadas, na maioria dos casos, na regularização de superfícies e o volume de material escavado é logo revolvido, procura-se conhecer qual o tempo total em horas, despendido na execução de um determinado serviço.

$$t_h = \sum \frac{N \cdot d}{v \cdot E}$$

Sendo:

- t_h = Tempo total, em horas;
- N = Número de “passadas”, para completar um tipo de operação;
- d = distância percorrida, em cada “passada”, em km;
- v = velocidade de cada “passada”, em km/h;
- E = Fator de eficiência, igual a **0,60**.

Exercício:

Determinar o tempo de utilização de uma motoniveladora no serviço nivelamento de 18,0 km de estrada, admitindo-se a necessidade de cinco “passadas”, sobre a pista, assim distribuídas:

Para a execução das valetas de drenagem são previstas duas “passadas” a 6,0 km/h e duas “passadas”, cada uma para regularização de meia pista, feitas a 9,0 km/h. A regularização do centro da pista é feita com uma “passada”, a 15,0 km/h.

Solução:

$$t_h = \sum \frac{N \cdot d}{v \cdot E}$$

- a) $t_{hv} = (2 \times 18,0) / (6,0 \times 0,60) = 10,0 \text{ h};$
- b) $t_{hp} = (2 \times 18,0) / 9,0 \times 0,60 = 6,7 \text{ h};$
- c) $t_{hcp} = (1 \times 18,0) / 15,0 \times 0,60 = 2,0 \text{ h}.$

$$t_h = \sum t_h i = 10,0 + 6,7 + 2,0 = 18,7 \text{ h}$$

4.4. EQUIPAMENTO ESCAVADOR ELEVADOR (ESCAVADEIRAS)

As escavadeiras possuem a característica de executar a escavação com a máquina estacionada, isto é, sem se deslocarem na fase do carregamento de sua concha ou caçamba. Escavam em terrenos brandos e em alguns casos duros, descarregam ao lado o material e podem proceder a descarga em unidades de transporte, se forem do tipo “pás mecânicas”.

Quando efetuam o carregamento de rochas, essas são desagregadas com explosivos. Neste caso a escavadeira, somente, movimenta o material.

Partes principais de uma escavadeira:

- 1) Cabine de comando;
- 2) Base;
- 3) Lança;
- 4) Braço;
- 5) Caçamba ou concha.

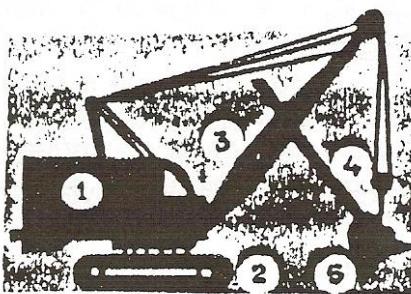


Figura 41 – Partes de uma escavadeira.

As escavadeiras podem ser construídas, quanto à sua base de apoio, sobre:

- Esteiras;
- Rodas pneumáticas;
- Chassi ferroviário;
- Chassi rodoviário;
- Patins;
- Barcaças.

Base de esteiras:

Tem emprego em terrenos de baixa consistência. As esteiras possibilitam o deslocamento em rampas de até 30 %. As escavadeiras de esteiras devem, na escavação, operar com a sua base em terreno plano devido a razões de segurança.

Base de pneus:

Utilizada em escavadeiras de porte relativamente pequeno. O equipamento não tem condições de operar em todo o tipo de terreno. Para dar maior segurança na fase de escavação e giro, tem a escavadeira, apoios de pés metálicos (sapatas) retráteis.

Base sobre chassi ferroviário:

Uso muito restrito e com limitação da área de trabalho.

Base sobre chassi de caminhão:

Para essa base são fabricadas escavadeiras de pequeno porte. Sua principal vantagem é a facilidade de deslocamento de uma frente de trabalho, para outra. Tem limitações de emprego em função do tipo de terreno, exigindo o uso de pés metálicos (sapatas) retráteis.

Base sobre patins:

Uso limitado para escavadeiras de porte descomunal (para serviços de mineração, por exemplo). Possui patins que permitem o posicionamento da escavadeira e o seu deslocamento no local da escavação.

Base sobre barcaças:

Tem o equipamento, facilidade de deslocamento em meio líquido. Utilizam caçambas de arraste ("drag-line") ou mandíbulas ("clam-shell").

Lança:

Estrutura metálica de comprimento variável conforme o tipo de escavadeira e fica apoiada sobre a plataforma da estrutura giratória, podendo ter um movimento de

levantamento ou abaixamento, para o atendimento de condições de serviço. A lança sustenta o braço.

Braço:

Estrutura metálica que completa a escavadeira de caçamba frontal (“shovel”).

Caçamba:

É o recipiente que além de escavar o material, serve de depósito do mesmo, durante a manobra, até o sequente descarregamento.

Embora não se tenha dado destaque à cabine de comando, esta, como nome indica, contém os elementos de comando da escavadeira, assim como também o motor. O motor pode ser de combustão interna ou mesmo elétrico. A cabine de comando é montada em uma plataforma dotada de movimento de giro horizontal sobre a base.

Tipos de escavadeiras:

As escavadeiras, segundo a maneira de proceder a escavação e devido à forma construtiva do implemento escavador, podem ser agrupadas como segue:

- 1) Com caçamba frontal (“shovel”);
- 2) Com caçamba invertida (retro-escavadeira);
- 3) Com caçamba de arrasto (“drag-line”);
- 4) Com caçamba de mandíbula (“clam-shell”);
- 5) Com caçamba de articulação múltipla (“orange peel”);
- 6) Com caçamba de garra.

Escavadeira com caçamba frontal (“shovel”):

É uma máquina automotora ou estacionária, provida de lança articulada, (também chamada de torre, em algumas publicações), com braço igualmente articulado, tendo na sua extremidade uma caçamba de fundo móvel. A combinação do movimento da lança e do braço giratório permite que a escavação se faça no sentido de baixo para cima e para frente e que a caçamba seja levantada. O giro da lança permite que a caçamba seja deslocada no plano horizontal para uma posição de descarga que é executada com a abertura do fundo da caçamba.

O “shovel” é o equipamento ideal para ser empregado em “serviços pesados” devido à grande força de escavação obtida na borda cortante da caçamba e à segurança que possui, em seus movimentos. Fig. 42.

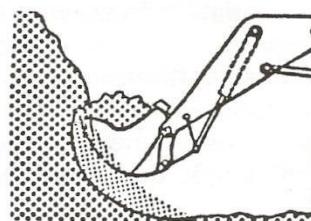


Figura 42 – Escavadeira com caçamba frontal (“shovel”).

Ciclo de trabalho:

Um ciclo de trabalho completo do “shovel” compreende as seguintes operações: escavação, giro, descarga e giro de retorno. Assim:

Escavação:

Na escavação o braço é movimentado à frente até a caçamba encontrar o talude a escavar.

A seguir a caçamba é elevada pelo braço, nessa operação é raspado o talude e o material assim escavado vai preenchendo o bojo da caçamba. O talude deve ter um metro e meio de altura, para que o preenchimento da caçamba se faça em uma única operação, isto para os equipamentos de pequeno e médio porte. Se o talude for baixo e não permitir o preenchimento da caçamba em uma única operação, o material será depositado ao pé do talude e reiniciada uma nova escavação.

Giro:

Ao ser completada a carga da caçamba, a escavadeira deve girar até o ponto de descarga do material. O ponto de descarga pode ser no terreno ao lado da escavadeira ou sobre unidades de transporte. Se em unidades de transporte, estas devem ser posicionadas de um modo que ofereçam um menor giro da lança.

Descarga:

A caçamba deve ser abaixada sobre o terreno (ou veículo de transporte) e através de um meio mecânico ou hidráulico é aberta a parte inferior da caçamba (fundo), para a descarga.

Retorno:

É a fase improdutiva, quanto menor o giro, menor será o tempo de retorno para o início de novo ciclo de trabalho.

Observação: O “shovel” escava o material situado, de preferência, um pouco acima do nível de sua base e em certos casos, em um nível um pouco inferior. O carregamento das unidades de transporte pode ser feito em planos diferentes daquele em que operar o “shovel”.

Empregos do “shovel”:

- a) Escavação de taludes;
- b) Deslocamento, carregamento e descarga de blocos de rocha;
- c) Escavação em áreas restritas;
- d) Carregamento de unidades de transporte;
- e) Carregamento de bocas de alimentação de correias transportadoras;
- f) Formação de depósitos a céu aberto (montes) de materiais.

Escavadeira de caçamba invertida:

Conhecida, também, com retro-escavadeira é equipada com implemento frontal, constituído de lança segmentada que articula na sua extremidade uma caçamba, em posição inversa à do “shovel”. Fig. 43.

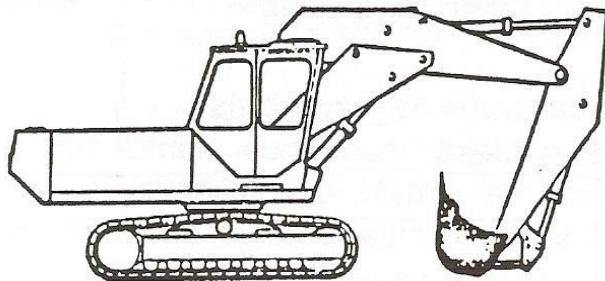


Figura 43 – Escavadeira de caçamba invertida (retro-escavadeira).

Esse implemento tem sua maior eficiência quando escava em um nível inferior ao de apoio de sua base. Fig. 44.

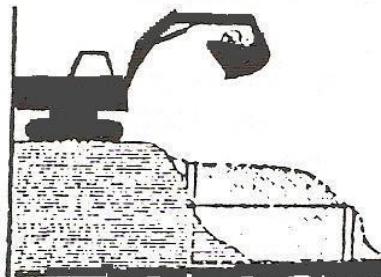


Figura 44 – Operação em nível inferior ao da base.

O funcionamento da retro-escavadeira é semelhante ao do “shovel”, diferindo quanto à descarga da caçamba. O carregamento é feito pela boca e a descarga é, igualmente, pela boca da caçamba.

Escavadeira com caçamba de arrasto (“drag-line”)

As escavadeiras do tipo “drag-line” têm uma longa lança acoplada a polias e cabos de aço que arrastam a caçamba (pá de arrasto) sobre o material que está sendo escavado. Quando cheia a caçamba, esta é levantada e girada no ar até o ponto de descarga. Nesse ponto, pela ação de um cabo de controle, a caçamba é invertida, ficando com sua boca para baixo, despejando assim do seu interior, o material. A Fig.45 ilustra o formato da caçamba.

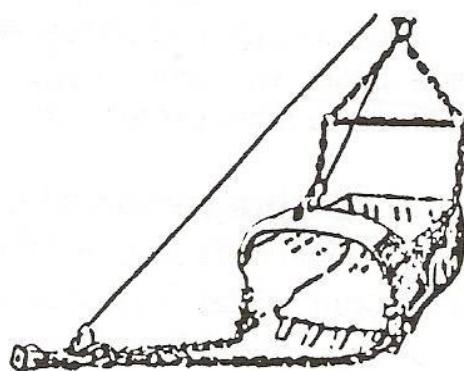


Figura 45 – Caçamba ou pá “de arrasto”.

Emprego da escavadeira com caçamba de arrasto:

- a) Desmonte de capas de jazidas e pedreiras;
- b) Abertura de valas e canais;
- c) Desobstrução de rios;
- d) Extração de areia e pedregulho de cavas.

Vantagens:

- Escava em níveis bem inferiores em relação ao plano de apoio de sua base;
- Escava e deposita o material a uma distância longa (30 a 75 metros) em função do comprimento da lança;
- Deposita, caso se queira, em montes de altura elevada.

Desvantagens:

- A superfície escavada não fica com bom acabamento;
- Apresenta dificuldades de descarga em unidades de transporte;
- Tem risco de tombar, se for mal posicionada;
- Apresenta dificuldade de locomoção.

Escavadeira com caçamba de mandíbula (“clam-shell”)

Esse tipo de escavadeira é semelhante à escavadeira com caçamba ou pá de arrasto, diferenciando-se pelo tipo de caçamba e pelo seu modo de operação. Escava pelo impacto de queda da caçamba sobre o solo e segura a carga com o fechamento de suas mandíbulas. Depois, a caçamba é levantada e deslocada ao ponto de descarga com giro da lança e com a abertura de suas mandíbulas, controlada por cabos de aço, se procede a descarga. Fig. 46.

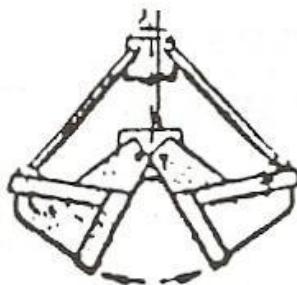


Figura 46 – Caçamba de mandíbula ou “clam-shell”.

Emprego:

- Escavação em níveis inferiores ao nível de apoio de sua base;
- Escavação de fossos profundos e verticais;
- carregamento de materiais em unidades de transporte;
- Formação de depósitos a céu aberto;

Quanto às vantagens e desvantagens, podemos dizer que são idênticas às da escavadeira com pá de arrasto possuindo, porém, maior controle na posição de descarga. As escavadeiras “clam-shell” e “drag-line” são facilmente transformáveis em guindastes.

Escavadeira com caçamba de articulação múltipla

É uma escavadeira semelhante às duas anteriores. Tem como diferença a caçamba que é dotada de dispositivos que permitem o movimento de abertura e fechamento

de seus setores em forma de “gomos”, justificando assim a designação inglesa de “orange peel” (casca de laranja). Fig. 47.

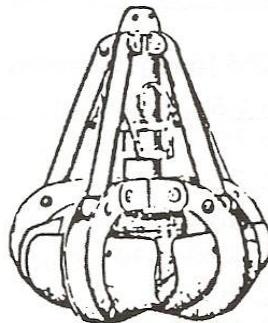


Figura 47 – Caçamba com dispositivo tipo “orange peel”.

Escavadeira com caçamba de garras

O implemento colocado em lugar da caçamba de articulação múltipla é formado por elementos articulados metálicos que se fecham como um torquês ou pinças.

Esse equipamento tem aplicação quando se quer retirar blocos de pedra de rios, canais ou portos. Fig. 48.

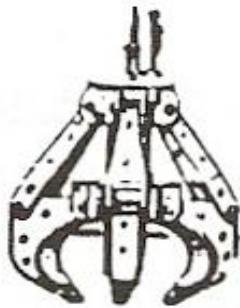


Figura 48 – Implemento com “garras”.

Rendimento das escavadeiras:

O rendimento das escavadeiras dos tipos “shovel” e “drag-line”, pode ser obtido pela expressão:

$$P_h = \frac{3\,600 \cdot Q \cdot f \cdot E \cdot K}{T}$$

Sendo:

- P_h = Produção horária, em metros cúbicos;
- Q = capacidade rasa da caçamba, em metros cúbicos;
- f = Fator de empolamento (Tabela I);
- E = Eficiência de trabalho (adotar 0,5, para as escavadeiras);
- K = fator de eficiência da caçamba (Tabela IX);
- T = tempo de ciclo, em segundos (retirado da Tabela X).

TABELA IX**Fator de eficiência da caçamba (K)**

Corte em terreno fácil	Corte em terreno médio	Corte em terreno meio duro	Corte em terreno duro
K = 0,95 shovel	K = 0,85 shovel	K = 0,70 shovel	K = 0,50 shovel
K = 0,95 drag-line	K = 0,80 drag-line	K = 0,65 drag-line	K = 0,40 drag-line
Material macio, solto, permitindo cargas coroadas. Areia seca.	Material mais duro e que não exige emprego de explosivos. Provoca vazios na caçamba.	Calcários e arenitos bem fracionados por explosivos. Cascalho com aglomerado.	Rocha extraída a explosivos e outros materiais que deixam grandes vazios. Rochas duras.
Cascalho miúdo. Argila arenosa.	Argila úmida. Cascalho graúdo.	Cascalho com matações	Calcários. Arenitos.

TABELA X**Tempo de ciclo do shovel e do drag-line (em segundos e para um giro de 90°)**

Capacidade da caçamba, em m ³	Argila ou barro úmido	Argila ou barro pegajoso	Argila ou barro compacto
Shovel			
0,38	15	18	24
0,53	18	20	26
1,90	20	22	28
2,30	22	24	30
3,00	24	26	32
Drag-line			
0,38	20	24	30
0,57	22	26	32
1,15	24	28	35
1,53	28	34	41
2,30	30	35	42
3,06	32	36	45

Observações:

- Para cada acréscimo de giro de 10°, somam-se 2 segundos, ao tempo de ciclo e para cada decréscimo de 10°, subtraem-se 2 segundos;
- Se o volume da caçamba estiver entre os volumes da tabela, adota-se o tempo de ciclo correspondente ao volume mais próximo daquele do implemento em questão, para o giro de 90°.

Exercício:

Determinar a produção horária da escavadeira tipo "shovel", nas condições seguintes: capacidade rasa da caçamba corresponde a $0,76 \text{ m}^3$; a escavação se processa em argila dura e úmida; o ângulo de giro para descarga do material é igual a 110° . É dada a fórmula de Produção Horária para escavadeiras:

$$P_h = \frac{3\,600 \cdot Q \cdot f \cdot E \cdot K}{T}$$

Resolução:

Da Tabela X, obtemos o tempo de ciclo (T) que será igual a 26 segundos, em argila dura (compacta), para um giro de 90° . Esse tempo será acrescido de 4 segundos, para completar o giro de 110° .

$$T = 26 + 4 = 30 \text{ segundos};$$

$$Q = 0,76 \text{ m}^3;$$

$$f = 0,8 \text{ (Tabela I, argila úmida);}$$

$$E = 0,5 \text{ (valor usual para escavadeiras);}$$

$$K = 0,85 \text{ (Tabela IX, argila úmida).}$$

Substituindo na fórmula dada:

$$P_h = \frac{3\,600 \times 0,76 \times 0,80 \times 0,50 \times 0,85}{30}$$

$$P_h = 31,00 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Nota:

Atualmente os fabricantes de tratores de rodas do tipo agrícola, têm colocado dois implementos nesses tratores, com inteiro êxito. Os implementos são: uma caçamba retro-escavadeira na parte traseira do trator e uma caçamba frontal, tipo usado nas pás carregadeiras.

Esse equipamento se enquadra como sendo um escavador e elevador, porquanto o uso como retro-escavadeira é na ordem de 70 % e como pá apenas 30 %.

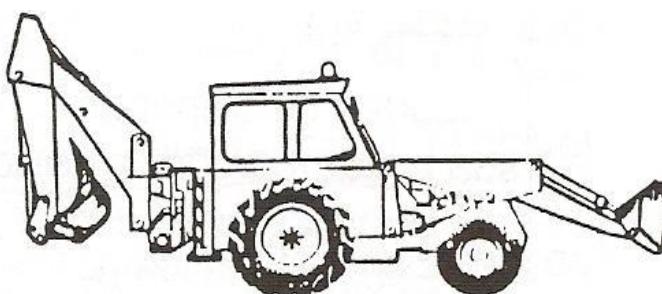


Figura 49 – Retro-escavadeira com caçamba frontal.

Valetadeira

A valetadeira, como indica o nome é um equipamento cuja finalidade específica é a de escavar o solo na abertura de valetas.

O sistema de deslocamento das valetadeiras é, na maioria das vezes, sobre esteiras, existindo, porém, alguns modelos sobre rodas.

Funcionamento: em uma corrente fechada são fixadas, de forma espaçada, pequenas conchas. A corrente gira em torno de suas engrenagens extremas, mantendo as conchas paralelas entre si e no mesmo plano vertical.

As conchas são pressionadas contra o solo, escavando-o, abrindo assim a vala. O material escavado recolhido pelas conchas é levantado pelo movimento ascendente da corrente e no ponto mais alto, com a mudança de sentido da corrente, cai por gravidade sobre uma correia transportadora.

A correia transportadora leva o material para o lado e o lança sobre o próprio terreno ou sobre uma unidade transportadora.

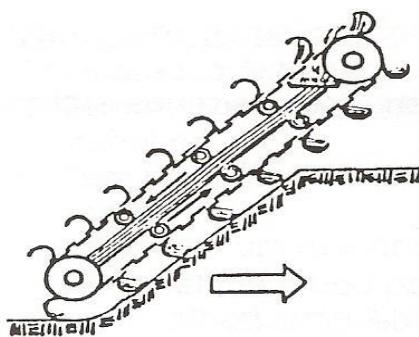


Figura 50 – Valetadeira.

Vantagens:

- a) Apresentam um bom rendimento;
- b) Deixam o fundo nivelado e as bordas limpas;
- c) Dependendo do terreno, escava de $\frac{1}{2}$ a 3 metros, por minuto;
- d) A largura da vala é uniforme;
- e) Executam curvas (raio mínimo de 25 m).

Desvantagens:

- a) Só trabalham em terreno uniforme e pouco duro;
- b) A superfície do terreno deve ser, previamente, regularizada;
- c) A largura da vala é pequena (no máximo de 0,6 m);
- d) A profundidade máxima da vala é inferior a 2 m;
- e) Não pode alargar a vala com uma segunda passada.

Produção horária da valetadeira:

A fórmula da produção horária das valetadeiras é de fácil aplicação e fornece o volume escavado em m^3/h .

$$P_h = 60 \cdot S \cdot v \cdot E$$

Sendo:

- P_h = Produção horária, em m^3/h ;
- S = Área da seção transversal da valeta, em m^2 ;
- v = velocidade de deslocamento, em metros por minuto;
- E = Eficiência de trabalho (adota-se **0,90**, para a valetadeira).

4.5. EQUIPAMENTO ESCAVADOR CARREGADOR (PÁ CARREGADEIRA)

São constituídas pelos tratores de rodas ou esteiras equipados com caçamba frontal a qual é acionada através de um sistema de braços articulados. A caçamba permite a elevação do material nela depositado para um posterior despejo em unidades de transporte. Apresentam essas unidades, a característica de preencher a sua caçamba, com o deslocamento do trator.

Serviços executados pelas pás carregadeiras:

- a) Escavação – limitado a pás de esteira. Se de rodas, todas devem possuir tração;
- b) Carga - corresponde ao preenchimento da caçamba;
- c) Transporte – máximo de 30 metros, para pá de esteira e 50 metros, para pá de rodas;
- d) Descarga – pela ação da gravidade, em unidades de transporte ou sobre o terreno.

Vantagens da pá carregadeira sobre rodas:

- a) Grande facilidade de deslocamento entre frentes de serviço;
- b) O tempo de ciclo é bem curto;
- c) Exige pouca regularização da pista de serviço;
- d) Opera em superfícies rochosas lisas e arenosas, com pouco desgaste dos pneus;

Desvantagens da pá carregadeira de pneus:

- a) Requerem terrenos firmes e planos, para operação;
- b) A pista de operação deve estar seca;
- c) Os pneus exigem mais atenção e manutenção que as esteiras.

Vantagens da pá carregadeira sobre esteiras:

- a) Opera em terrenos pouco consistentes;
- b) Possui maior aderência que os pneus, em terrenos lisos (argilosos);
- c) Tem maior poder de escavação.

Desvantagens da pá carregadeira sobre esteiras:

- a) As manobras são lentas;
- b) Tem elevado desgaste da parte rodante, quando opera em terrenos arenosos;
- c) Exige o uso de carretas, para deslocamento entre diferentes frentes de trabalho.

Classificação das pás carregadeiras:

- 1) Pá carregadeira com tração em duas rodas;
- 2) Pá carregadeira de chassi rígido, com tração em 4 rodas;
- 3) Pá carregadeira articulada, com tração em 4 rodas;
- 4) Pá carregadeira de esteiras.

Pá carregadeira com tração em duas rodas

A adição da caçamba articulada com os seus dispositivos de movimento em um trator do tipo agrícola transforma esse trator em uma pequena pá carregadeira.

Esse equipamento é muito versátil, ágil e de fácil operação. A força de tração desenvolvida por esses tratores não é suficiente para escavação de materiais duros. Eventualmente escava, caso o material esteja um pouco solto ou tenha sido, anteriormente, desagregado. Fig. 51.

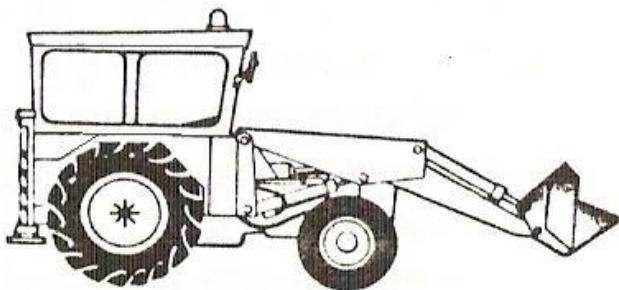


Figura 51 – Pá carregadeira com tração em duas rodas.

Pá carregadeira de chassi rígido e tração em quatro rodas

A pá carregadeira de chassi rígido e tração em quatro rodas, foi projetada e construída, para ser um equipamento de escavação e carregamento do tipo frontal.

O chassi rígido de construção robusta permite o uso dessas pá carregadeiras em condições severas de serviço. A tração nas quatro rodas faz com que essas pá tenham capacidade de escavar diversos materiais do solo.

Para deslocamento da pá, de uma frente de serviço para outra, é possível desligar da transmissão, o movimento de tração de duas rodas.

Atualmente, a pá carregadeira de chassi rígido está sendo preterida nos serviços de escavação e carregamento, pela sua similar articulada, pelos motivos expostos no item seguinte.

Pá carregadeira articulada com tração nas quatro rodas

Esse tipo de pá carregadeira representa uma evolução da pá rígida de tração nas quatro rodas. A diferença maior está na articulação de sua estrutura que se processa na parte central e entre os eixos das rodas.

A pá rígida tem o seu sistema de direção construído de uma forma semelhante a dos automóveis e dos caminhões. A pá articulada é manobrada através da sua articulação. Fig. 52.

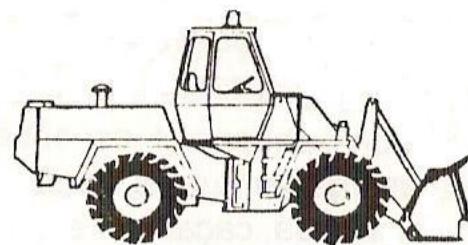


Figura 52 – Pá carregadeira articulada com tração nas quatro rodas

Comparando-se unidades iguais em capacidade de escavação, pode-se estabelecer a seguinte comparação entre os tipos de pá carregadeira:

Vantagens da pá carregadeira articulada, em relação a rígida

- a) Tem menor raio de giro e em consequência, necessita de menor área de manobra;
- b) Apresenta um menor desgaste dos pneus, devido ao menor arraste sobre o solo;
- c) Posiciona-se mais rápida e adequadamente em relação às unidades de transporte;
- d) Quando atolada, tem mais facilidade para desatolar, empregando a articulação.

Desvantagens da pá carregadeira articulada, em relação a rígida

- a) Na máxima inflexão da articulação, tem menor área de base nos pontos de apoio (pneus). Isso resulta em maior facilidade para o tombamento em serviço.
- b) O sistema de direção articulada proporciona menor segurança, quando a operação é feita nas proximidades de pessoal em serviço.

Pá carregadeira de esteiras

A pá carregadeira de esteiras apresenta maior capacidade de escavação em relação à de rodas, pela maior força de tração que possui. Em compensação apresenta reduzidas velocidades de trabalho. O sistema de tração de suas esteiras é semelhante ao dos tratores comuns com apenas uma grande diferença, quanto às sapatas. Na pá carregadeira, a sapata tem um maior número de garras, geralmente, três e de menor altura que as dos tratores de esteiras.

A diferença citada faz com que esta máquina não revolva tanto o solo como o faz aquela que tem garras mais altas. Fig. 53.

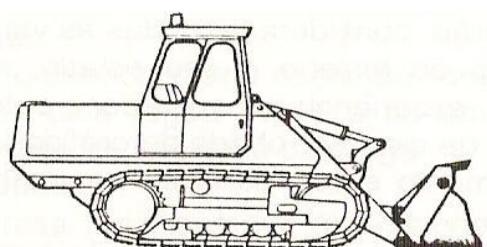


Figura 53 – Pá carregadeira de esteiras.

Produção horária de pás carregadeiras

A produção horária é dada pela seguinte expressão:

$$P_h = \frac{60 \cdot C \cdot E \cdot f}{T}$$

Sendo:

- P_h = Produção horária no corte ou jazida, em m^3 ;
- C = Capacidade coroada da caçamba, em m^3 ;
- E = Eficiência de trabalho. Adota-se: **0,7** (para pá de rodas) e **0,8** (para pá de esteiras);
- f = Fator de correção devido ao empolamento;
- T = Tempo de ciclo.

Observações:

- 1) Se o trabalho for feito com material solto ou empolado, não será usado o fator de correção f ;
- 2) O tempo de ciclo é obtido em tabelas. Para cálculos prévios de carregamento em unidades de transporte, utilizar: **T = 0,40 minutos** (pá de pneus) e **T = 0,32 minutos** (pá de esteiras);
- 3) No carregamento de caminhões basculantes, para volumes iguais de caçambas de pás carregadeiras, as de esteiras têm maior produção, por apresentarem tempo de ciclo menor;
- 4) O tempo de ciclo indicado para o carregamento de unidades de transporte (T) considera uma distância de deslocamento da pá, de no máximo 20 metros;
- 5) Quando as pás escavam o material e o depositam no terreno até distâncias de 20 metros, os valores do tempo de ciclo (T) podem ser iguais aos adotados para as unidades de transporte, isto é, **0,40 minutos (pás de pneus)** e **0,32 minutos (pás de esteiras)**;
- 6) Para distâncias superiores a 20 metros, de preferência, o tempo de ciclo deve ser obtido no local, cronometrando-se a operação. Dessa maneira serão consideradas todas as variáveis que afetam esse tempo como: o tipo do terreno e seu estado, rampas, declives, condições de manobra, técnica do operador e outras;
- 7) Poderá o tempo de ciclo ser obtido de gráficos contidos nos manuais técnicos de operação elaborados pelos fabricantes dos equipamentos;
- 8) A determinação da produção horária para pás poderá ser calculada através dos seguintes parâmetros:
 - 8.1) Como tempo fixo, utilizar no tempo de carregamento de um caminhão basculante e para cada ciclo, o tempo de **0,40 ou 0,32 minutos**, conforme o tipo de pá considerado;
 - 8.2) Determinar o tempo variável pela fórmula já apresentada e utilizar sempre a maior velocidade que for possível em cada marcha, no deslocamento, com e sem carga.

As velocidades máximas, em km/h de pás carregadeiras de emprego usual se situam em torno dos seguintes valores:

RODAS	ESTEIRAS	MARCHA
6,0	3,0	Primeira
12,0	6,0	Segunda
20,0	11,0	Terceira

Exemplo de aplicação:

Determinar a produção horária de uma pá carregadeira de pneus que escava terra seca e deposita esse material a 120,0 metros do local de escavação. A pá tem capacidade coroada de caçamba igual a 3,1 m³, se desloca com carga na ida em primeira marcha (a 6,6 km/h) e no retorno seu deslocamento se faz na segunda marcha (a 12,4 km/h).

Resolução:

$$P_h = \frac{60 \cdot C \cdot E \cdot f}{T}$$

Dados:

- C = 3,1 m³;
- f = 0,79 (Tabela I);
- E = 0,7 (pá carregadeira de pneus);
- T = ?

Cálculo do Tempo de Ciclo:

T = tempo fixo (t_f) + tempo variável (t_v);

O tempo fixo pode ser considerado como: t_f = **0,40 minutos**;

O tempo variável deve ser calculado, como segue:

t_v = $\sum(0,06 \times d_n) / v_n = (0,06 \times 120) / 6,6 + (0,06 \times 120) / 12,4 = 1,09 + 0,58 = 1,67$ minutos;

T = 0,40 + 1,67 = 2,07 minutos;

$$P_h = \frac{60 \times 3,1 \times 0,7 \times 0,79}{2,07}$$

$$P_h = 49,689 \text{ m}^3/\text{h} = 49,7 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Outros pontos relevantes, relacionados ao estudo de pás carregadeiras:

Capacidade rasa

É o volume interno contido em uma caçamba.

Capacidade coroada

É a capacidade rasa mais o volume adicional de material que irá “coroar” ou sobrepor aquele volume de material, com ângulo de repouso de 1:2, em relação a horizontal.

Carga estática de tombamento

Corresponde ao peso mínimo, no centro de gravidade de carga (nominal SAE) na caçamba que levantará a parte traseira da pá até um ponto onde: em carregadeiras de esteiras os roletes inferiores ficam afastados da esteira e em pás de rodas, as rodas traseiras iniciam seu levantamento do solo e isso, nas seguintes condições:

- Pá parada em superfície firme e plana;
- Unidade com peso normal de operação;
- Caçamba inclinada para traz;

- Unidade com implementos e acessórios padrão;
- Posição de articulação em inflexão máxima, para a pá articulada;
- Carga na máxima posição à frente, no ciclo de levantamento.

Carga de operação

Segundo o padrão SAE, não deve ultrapassar a 50 % da carga estática de tombamento para as pás de rodas pneumáticas e de 35 % para as pás de esteiras. Como pode ser deduzido é sempre conveniente, por uma questão de segurança, verificar qual é a carga que está sendo movimentada, em um serviço. Uma carga superior à especificada coloca o equipamento em risco de tombamento.

Posição de transporte

A posição de transporte das pás carregadeiras é dada pela distância vertical do solo até a linha do pino de articulação da caçamba com o ângulo de aproximação de 15°, conforme a Fig. 54.

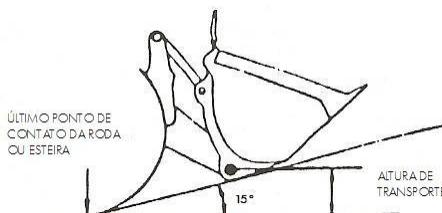


Figura 54 – Posição de transporte das pás carregadeiras.

Altura de descarga

A altura de máxima de descarga da pá carregadeira em relação ao solo deverá ser verificada, porquanto poderá haver incompatibilidade de emprego com as unidades de transporte.

Distância de descarga

Distância entre a frente dos pneus dianteiros e o plano vertical que contém a borda da caçamba na descarga, igualmente necessita ser compatível com as unidades de transporte, portanto deve ser verificada.

5.0. ASSOCIAÇÃO DE UNIDADES

A associação de unidades de transporte, (caminhões basculantes) com unidades escavadoras carregadoras, exige a adoção de algumas medidas para o funcionamento das equipes a serem formadas. Fig. 55.

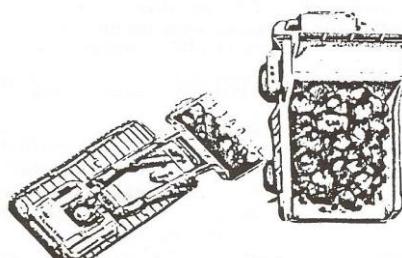


Figura 55 – Associação de unidades.

Número de ciclos

É recomendável que o carregamento do caminhão basculante seja efetuado com três ou quatro ciclos da pá carregadeira. Se o número de ciclos for inferior a três, haverá um grande impacto, ao se descarregar o material sobre a caçamba do caminhão, pondo-se em risco a sua suspensão.

Caso o carregamento seja feito com um número de ciclos superior a quatro, via de regra, isso indica que a caçamba da pá carregadeira (ou ela própria) é inadequada ao caminhão, devido a ser de porte inferior ao necessário.

A inadequação dos equipamentos redonda em custos mais elevados de serviço.

Uniformidade da equipe

Para que haja sincronismo do conjunto [pá(s) x caminhões], tanto as pás carregadeiras como as unidades de transporte devem ser de mesmo modelo e capacidade. Dessa forma é possível executar uma programação de trabalho e diminuir tempos de espera. As unidades apresentarão sempre o mesmo tempo de ciclo.

Tempo de ciclo

A determinação do tempo de ciclo das unidades de transporte levantada no próprio local da obra torna mais exata a composição de custos.

Escala de trabalho

Uma escala de entrada em serviço (horário de trabalho) deve ser aplicada quando forem necessários muitos caminhões basculantes e grandes as distâncias de transporte. Dessa forma todas as unidades de transporte serão, adequadamente, utilizadas e farão igual número de ciclos na jornada diária.

Canteiro de obra

O canteiro de obra deverá ser objeto de muita atenção e deve ser preparado para evitar os obstáculos e sinalizado nos pontos perigosos. A área de manobras e os caminhos de serviço devem ser revestidos e drenados. Providências sobre o acima indicado proporcionam um aumento de produtividade e aumentam a segurança no trabalho.

Número de caminhões basculantes servidos por uma pá carregadeira

O número de caminhões basculantes servidos por uma pá carregadeira, para que não haja unidades paradas, pode ser determinado pela expressão seguinte:

$$n = \frac{T_t}{t_c}$$

Sendo:

- n = Número de caminhões atendidos;
- T_t = tempo de ciclo do caminhão basculante (todos do mesmo modelo);
- t_c = tempo total de carregamento do caminhão.

Determinação do tempo de ciclo do caminhão basculante

Para as unidades de transporte, na determinação do tempo de ciclo, devem ser consideradas duas novas parcelas no tempo fixo: o **tempo de carregamento** e o

tempo gasto de parada, descarga e partida. De acordo com a fórmula geral, tem-se:

$$T = t_f + t_v$$

Para o caminhão basculante o tempo de ciclo será:

$$T_t = t_c + t_{pdp} + t_v$$

O tempo de carregamento t_c é obtido pelo produto correspondente ao número de ciclos que a pá necessita para o carregamento da caçamba do caminhão, pelo tempo de ciclo da pá carregadeira (**0,32** minutos, para a pá de esteiras e **0,40** minutos, para a pá de rodas).

O número de ciclos da pá pode ser determinado dividindo-se o volume coroado do caminhão basculante pelo volume coroado da caçamba da pá carregadeira.

Será adotado um número inteiro caso o resultado seja fracionário.

O tempo de parada, descarga e partida (t_{pdp}) varia com o volume da caçamba do caminhão basculante e pode ser extraído, diretamente da Tabela XI.

TABELA XI
Tempo de parada, descarga e partida

Volume da caçamba do caminhão (m ³)	t_{pdp} (minutos)
4,0	0,8
5,0	1,0
6,0	1,2
7,0	1,4

O tempo variável, preferencialmente, deve ser obtido no local de trabalho. Se não for assim determinado tem que ser calculado pela fórmula geral, exigindo o conhecimento das velocidades de deslocamento do caminhão basculante que podem ser obtidas na Tabela XII. Esta tabela foi utilizada pelo DER/PR, em composições de custo.

TABELA XII
Velocidades médias de trabalho de caminhões basculantes

Tipo do pavimento	Com carga (km/h)	Sem carga (km/h)
Estrada de terra	30,0	39,0
Estrada ensaibrada	35,0	45,5
Estrada asfaltada	40,0	52,0

Observações:

- 1) Os valores das velocidades são aplicados a todos os tipos de caminhões basculantes, levando em consideração que as cargas movimentadas pelas unidades de transporte são sempre compatíveis com as potências motoras desses veículos.

- 2) O retorno vazio ou sem carga proporciona um aumento de velocidade da ordem de 30 %.
- 3) É conveniente, após a quantificação das unidades que compõe a equipe de pácarregadeiras e caminhões, analisar e determinar qual é o equipamento que “comanda” a tarefa (que determina o caminho crítico do cronograma).

A determinação do equipamento que “comanda” a tarefa é feita como segue:

Produção horária da pá..... **A** (m^3/h)
 Produção horária dos caminhões..... **B** (m^3/h)

O menor valor de produção (**A** ou **B**) indica qual é o equipamento que “comanda” a tarefa.

Exercício:

Qual o prazo de execução de um serviço de transporte de 14 160,0 m^3 de areia solta, empregando-se cinco caminhões basculantes e uma pá carregadeira de pneus.

Dados:

Tempo de ciclo da pá	0,40 minutos
Volume coroado da caçamba da pá	0,96 m^3
Volume coroado da caçamba dos caminhões	4,00 m^3
Tempo de ciclo dos caminhões	11,00 minutos
Eficiência de trabalho dos caminhões	0,70
Jornada de trabalho	8,00 horas/dia

Resolução:

- a) Número de ciclos necessários ao carregamento da unidade de transporte:

$$N = (\text{volume coroado da caçamba dos caminhões}) \div (\text{volume coroado da caçamba da pá})$$

$$N = 4,00 \div 0,96 = 4,166 \text{ (adota-se um número inteiro)} = 4$$

Com quatro ciclos o volume transportado pelo caminhão não será mais de 4,0 metros cúbicos e sim $4 \times 0,96 = 3,84 m^3$;

- b) Tempo de carregamento (t_c):

O tempo de carregamento corresponde ao tempo de ciclo da pá, multiplicado pelo número de ciclos para o enchimento do caminhão basculante:

$$t_c = 0,40 \times 4 = 1,60 \text{ minutos;}$$

- c) Número de caminhões, necessário para o serviço contínuo da pá:

$$n = T_t \div t_c = 11,00 \div 1,60 = 6,8 \text{ (adota-se um número inteiro);}$$

$$n = 7 \text{ caminhões.}$$

No caso, necessita-se para o trabalho contínuo da pá, 7 caminhões, porém, só estão disponíveis **5 unidades**.

d) Produções horárias:

d.1) Da pá carregadeira:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E) / T = (60 \times 0,96 \times 0,70) / 0,40 = 100,8 \text{ m}^3/\text{h};$$

d.2) De um caminhão basculante:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E) / T = (60 \times 3,84 \times 0,70) / 11,00 = 14,86 \text{ m}^3/\text{h};$$

d.3) De cinco caminhões basculantes:

$$P_{h5} = 5 \times 14,86 = 73,30 \text{ m}^3/\text{h};$$

Observações:

- 1) Não foi considerado o fator de empolamento f na expressão de Produção Horária, devido a tratar-se de **areia solta**. ($f = 1$, pois empolamento $e = 0$).
- 2) Como a produção dos cinco caminhões é inferior à produção da pá, serão as unidades de transporte que “comandarão” a tarefa.

e) Tempo de execução da tarefa:

e.1) Tempo em horas:

$$T(\text{em horas}) = (\text{volume de material}) \div (\text{produção horária de cinco caminhões}); T = 14\,160 \text{ m}^3 \div 73,30 \text{ m}^3/\text{h} = 193,178 \text{ horas} \approx 194 \text{ horas};$$

e.2) Tempo em dias (jornada de 8 horas/dia):

$$T(\text{em dias}) = T(\text{em horas}) \div (\text{jornada}) = 193,178 \text{ horas} \div 8,00 \text{ (horas/dia)} = 24,147 \text{ dias} \approx 24 \text{ dias, 1 hora e 11 minutos.}$$

6.0. ESCARIFICADORES

Para auxiliar a desagregação de terrenos e pavimentos, são utilizados equipamentos auxiliares de escavação como os escarificadores (“rooters”) ou de porte mais reforçado como os empregados na remoção de tocos de árvores (“rooters ripers”).

Os escarificadores são hastes de aço, dotadas de uma ponta substituível, também de aço, porém de maior dureza.

Essas hastes são cravadas no solo e arrastadas pela força de tração de um trator ou de uma motoniveladora.

Quanto aos tipos de escarificadores, estes podem ser classificados como: a) rebocados e b) acoplados a máquinas de tração.

Os escarificadores revolvem os terrenos onde os escreipers e pás carregadeiras irão proceder a movimentação do material do solo. Prestam-se ainda, para desagregar revestimentos de estradas ensaibradas ou macadamizadas, quando acoplados à motoniveladoras. Fig. 56.

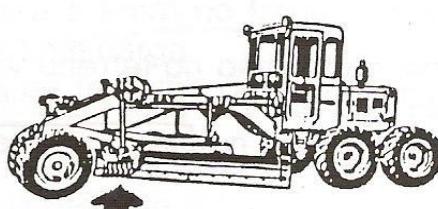


Figura 56 – Motoniveladora com escarificador

Os mais reforçados escarificadores são usados para o rompimento de concretos asfálticos, remoção de raízes e de blocos de pedra.

Recomendações de interesse, quando são empregados os escarificadores:

- a) Os custos dos serviços de escarificação devem ser sempre comparados com outros métodos de desagregação (devido a serem um pouco caros);
- b) A escarificação deve ser feita de preferência, em declive;
- c) As hastes devem ser colocadas em posições simétricas, em relação ao eixo longitudinal do escarificador;
- d) O número de hastes deve ser reduzido quando a escarificação se processa em terrenos muito duros;
- e) A altura de escarificação deve ser regulada conforme o terreno permitir;
- f) A escarificação deve ser feita contra os planos de sedimentação do terreno;
- g) Uma escarificação feita em direções cruzadas tem maior poder de desagregação do terreno ou do pavimento.

7.0. ORGANIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM GRUPO

A organização de equipamentos em grupos de trabalho se faz necessária quando em uma obra são empregados diferentes tipos de unidades, executando diversos serviços, alguns em conjunto.

Na escolha dos tipos de unidades são levadas em conta as produções horárias, os custos por metro cúbico de material trabalhado e outros fatores. Na prática, nem sempre é possível contar com os equipamentos ideais e sim com os que estão disponíveis. Nesse caso, maior será o cuidado ao colocá-los em serviço, devido a questões de segurança, tempo de execução, custos de produção e imprevistos que poderão ocasionar.

Com os exercícios seguintes e soluções sugeridas, pretende-se abordar melhor o tema:

7.1. TERRAPLENAGEM COM BOTA FORA – ESTUDO DE CASO 1.

a) Apresentação:

Pretende-se executar um serviço de terraplenagem em um terreno de formato regular, medindo 400,0 x 600,0 metros. O terreno é relativamente plano e destinado a um conjunto habitacional.

O serviço de sondagem revelou que o material do solo é constituído por argila natural.

Dentro da área há necessidade de aterrinar uma depressão e compactar o material do aterro. O volume da depressão foi determinado e corresponde a 7 200,0 m³. Essa depressão, em relação ao material de aterro, está a uma distância de transporte de 60,0 metros, percurso esse, a ser feito em declive de 10 %. O volume de material a ser escavado de todo o terreno foi calculado como sendo de 96 000,0 metros cúbicos.

Estão previstas duas opções para o depósito do material de escavação a ser retirado e transportado do terreno:

Opção A:

Bota-fora situado no ponto **A** que apresenta as distâncias de transporte de 250,0 metros, a ser percorrida no próprio terreno, 1 450,0 metros, em uma estrada asfaltada e 1 000,0 metros, em uma estrada ensaibrada;

Opção B:

Bota-fora situado numa depressão, no terreno vizinho, ponto **B** que apresenta um percurso de transporte de 750,0 metros, com acidente de 4 %. O material do solo até o ponto **B** é constituído por argila natural.

O desenho da Fig. 57 representa a situação do local, para as duas opções.

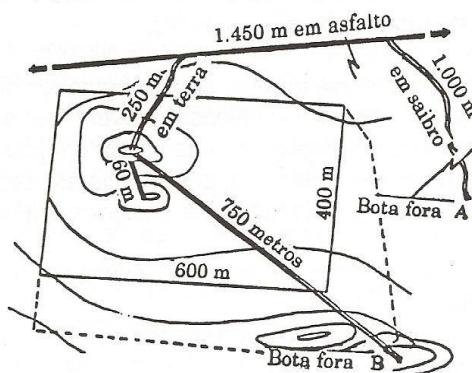


Figura 57 – Planta esquemática de situação

Equipamentos disponíveis:

- Dois (2) tratores de esteiras com peso de 24 000,0 kg e lâmina angulável com 4,14 m, de comprimento e 1,12 metros de altura;
- Custo horário do trator de esteiras: R\$ 107,93;
- Dez (10) caminhões basculantes de caçambas com volume coroado de 5,0 metros cúbicos;
- Custo horário de cada caminhão: R\$ 25,34;
- Três (3) pás carregadeiras de pneus, tração em quatro rodas, peso total de 11 550,0 kg e capacidade coroada na caçamba, de 1,72 metros cúbicos;
- Custo horário da pá carregadeira: R\$ 51,62;
- Três (3) moto-escreipers, com capacidade rasa de 15,3 m³ coroada de 18,6 m³, peso vazio de 28 500,0 kg, dotados de transmissão direta de 8 marchas, com o seguinte desempenho:

Marchas	Força de tração (t)	Velocidade (km/h)
Primeira	27,0	4,0
Segunda	24,0	6,0
Terceira	20,0	10,0
Quarta	14,8	18,0
Quinta	10,3	21,0
Sexta	7,6	29,0
Sétima	4,1	32,0
Oitava	2,8	39,0

- Custo horário do moto-escreiper: R\$ 116,15;

Observações:

- 1) Todas as unidades são iguais entre si;
- 2) Em 04/1995: US\$ 1,00 = R\$ 0,93.

Dados complementares:

Os tratores com lâmina frontal podem operar no terreno em questão, na segunda marcha à frente, a 5,0 km/h no transporte do material e na terceira marcha à ré, a 7 km/h, no retorno sem carga;

A eficiência de trabalho das unidades de transporte foi testada no local e pode ser elevada para 0,8;

A jornada de trabalho está prevista para 8 horas diárias e o trabalho será de 25 dias úteis ao mês.

Objetivo do estudo de caso:

Obter uma indicação justificada dos equipamentos que deverão ser usados, dentre os disponíveis, levando em conta que deve ser alcançado o menor custo e o menor prazo, para a realização da tarefa.

b) Desenvolvimento do estudo:

b.1) Volumes de materiais a serem movimentados:

b.1.1) Aterro da depressão do terreno (serviço de terraplenagem):

Dentro da área do terreno, uma depressão deve ser preenchida com argila, a ser retirada próximo ao local e situada a uma distância de transporte de 60,0 m.

O volume calculado, a ser aterrado, corresponde a 7 200,0 m³, previstos.

Para determinar o volume real a ser retirado do corte será necessário usar a Tabela II (coeficientes de compactação).

A argila, no estado natural, tem um coeficiente igual a 1,0 e quando bem compactada tem coeficiente de compactação igual a 0,9 (Tabela I). Esses coeficientes permitem que se estabeleça a seguinte relação proporcional:

$$\frac{7\ 200,0}{0,9} = \frac{x}{1,0}$$

Logo: $x = 7\ 200 / 0,9 = 8\ 000,0\ m^3$ (no corte) = **Vaterro**;

b.1.2) Volume de material a ser transportado do terreno:

O volume de material que irá ser colocado em um bota fora, ainda a ser escolhido, corresponde ao volume total a ser escavado, menos o volume a ser usado no aterro interno.

$$V_{bfora} = 96\ 000,0 - 8\ 000,0 = \mathbf{88\ 000,0\ m}^3 \text{ (referido ao corte);}$$

Caso fosse necessário conhecer o volume movimentado de material no estado solto (ou empolado) seria adotado o valor do empolamento da argila natural, extraído da Tabela I e que corresponde a 21 %.

O volume do material solto corresponde a:

$$V_{solto} = 88\ 000,0 \times 1,21 = \mathbf{106\ 480,0\ m}^3;$$

b.2) Aterro da depressão do terreno:

Comentário:

Dentre os equipamentos disponíveis, somente dois tipos poderão ser empregados: os tratores com lâmina frontal e pás carregadeiras. Justificativa: a área de trabalho é restrita, pois possui uma distância de transporte de somente, 60,0 metros.

Portanto, poucas unidades poderão ser empregadas, talvez no máximo duas. Não é um serviço para caminhões basculantes e nem para moto-escreipers.

Serão calculadas, somente as produções horárias do trator dotado de lâmina frontal e da pá carregadeira.

b.2.1) Produção horária de um trator com lâmina (para aterro):

b.2.1.1) Capacidade de transporte da lâmina:

$$C = (c \cdot h^2) / 2 \operatorname{tg} \alpha$$

Sendo:

- $C = 4,14\ m$;
- $h = 1,12\ m$;
- $\operatorname{tg} \alpha = 0,81$ (Tabela I);

$$C = (4,14 \times 1,12^2) / 2 \times 0,81 = \mathbf{3,205\ m}^3;$$

Cálculo da produção horária:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E \cdot f \cdot \eta) / T$$

Sendo conhecidos:

- $C = 3,205\ m^3$;
- $E = 0,80$ (ver Item 4.0);
- $f = 0,82$ (Tabela I);
- $\eta = 1$ (Tabela V);
- $T = ?$

Há necessidade de determinar o tempo de ciclo (T) do trator. Assim:

b.2.1.2) Cálculo do tempo de ciclo (T), do trator:

$$T = \text{tempo fixo (}t_f\text{)} + \text{tempo variável (}t_v\text{)}$$

O tempo fixo poderá ser estabelecido em função das mudanças de marchas a serem efetuadas em serviço, pelos equipamentos.

Os dados complementares indicam que os tratores podem operar na segunda marcha à frente, a 5,0 km/h e na terceira marcha à ré, a 7,0 km/h, no retorno sem carga.

Conforme consta no item 4.0, o tempo gasto na mudança de marcha frente e ré (ou ré e frente) em velocidades diferentes, corresponde a 0,20 minutos. Neste caso, serão efetuadas duas mudanças:

$$t_f = 2 \times 0,20 = \mathbf{0,40 \text{ minutos};}$$

O tempo variável é determinado em função da distância de transporte e das velocidades de deslocamento, pela expressão:

$$t_v = \sum \mathbf{0,06 (d_n / v_n)}$$

Sendo, no caso:

- $d_n = 60,0 \text{ m};$
- $v_n = 5,0 \text{ km/h (ida) e } v_n = 7,0 \text{ km/h (retorno);}$

Assim:

$$t_v = 0,06 \times (60 / 5,0) + 0,06 \times (60 / 7,0) = 0,72 + 0,51 = \mathbf{1,23 \text{ minutos};}$$

Desta forma, o tempo de ciclo do trator, será:

$$T = t_f + t_v = 0,40 + 1,23 = \mathbf{1,63 \text{ minutos}}$$

Então, a Produção Horária do trator, será:

$$P_h = (60 \times 3,205 \times 0,80 \times 0,82) / 1,63 = \mathbf{77,39 \text{ m}^3/\text{h}.}$$

b.2.1.3) Tempo de trabalho de um trator:

Para obter-se o tempo necessário para aterrarr 8 000,0 m³, de terreno com um trator, divide-se esse volume pela produção horária do trator:

$$T_{trator} = 8 000,00 \text{ m}^3 / 77,39 \text{ m}^3/\text{h} = 103,37 \text{ h} \approx \mathbf{104 \text{ horas};}$$

Em dias de serviço, considerando a jornada de 8 horas:

$$T_{trator} = 103,37 \text{ h} / 8 (\text{h/dia}) = 12,96 \text{ dias} \approx \mathbf{13 \text{ dias}.}$$

b.2.2) Produção horária de uma pá carregadeira (para aterro):

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E \cdot f) / T$$

Sendo, nesse caso, conhecidos os valores:

- $C = 1,72 \text{ m}^3$ (caçamba);
- $E = 0,70$ (pás de rodas);
- $f = 0,82$ (Tabela I);
- $T = ?$

Novamente, há a necessidade de ser determinado o tempo de ciclo da pá carregadeira. Assim:

b.2.2.1) Cálculo do tempo de ciclo da pá carregadeira (T):

$$T = \text{tempo fixo (}t_f\text{)} + \text{tempo variável (}t_v\text{)};$$

O tempo fixo pode ser considerado como igual a 0,40 (pá de rodas).

O tempo variável depende de distâncias de transporte e velocidades de deslocamento. (Ver item 4.5).

$$t_v = \sum 0,06 (d_n / v_n)$$

Sendo, para esse caso:

- $d_n = 60,0 \text{ m};$
- $v_n = \text{Não fornecidas. (Nesse caso pode ser considerada a primeira marcha para o transporte e a mesma marcha para o retorno, devido à forte rampa de 10 \%.)}$

Do quadro contido no item 4.5, Observações, item 8, obtém-se a velocidade em 1ª marcha, igual a **6,0 km/h**.

Assim:

$$t_v = (0,06 \times 60) / 6,0 + (0,06 \times 60) / 6,0 = 0,6 + 0,6 = \mathbf{1,2 \text{ minutos}};$$

O tempo de ciclo da pá será:

$$T = 0,40 + 1,2 = \mathbf{1,6 \text{ minutos}}$$

Assim, a produção horária da pá carregadeira poderá ser calculada:

$$P_h = (60 \times 1,72 \times 0,7 \times 0,82) / 1,6 = \mathbf{37,022 \text{ m}^3/\text{h}}$$

b.2.2.3) Tempo a ser trabalhado, no aterro (8 000,0 m^3), por uma pá carregadeira (em horas):

$$Tpá = 8 000,0 \text{ m}^3 / 37,022 \text{ m}^3/\text{h} = 216,087 \text{ h} \approx \mathbf{216 \text{ horas}}$$

Tempo trabalhado, pela pá, em dias:

$$Tpá = 216,087 \text{ h} / 8 \text{ h/dia} = \mathbf{27 \text{ dias}}$$

b.3) Escavação e transporte de material, para o bota fora A:

Para o bota fora A, o equipamento ideal (dentre os disponíveis) corresponde ao uso de pás carregadeiras e caminhões basculantes, uma vez que envolve o deslocamento a ser efetuado em estradas e vias públicas, o que impede o uso de moto-escreipers.

Para prosseguimento da análise, é necessário calcular a seguir, a produção de pás carregadeiras e caminhões basculantes.

b.3.1) Produção horária de uma pá carregadeira:

Determinação da produção horária de uma pá carregadeira, no carregamento dos caminhões basculantes:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E \cdot f) / T$$

Sendo:

- $C = 1,72 \text{ m}^3$ (caçamba);
- $E = 0,70$;
- $f = 0,82$ (Tabela I – argila natural);
- $T = 0,40$ minutos.

Assim: $P_h = (60 \times 1,72 \times 0,70 \times 0,82) / 0,40 = 148,09 \text{ m}^3\text{h}$;

b.3.2) Produção horária de um caminhão basculante:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E \cdot f) / T$$

Sendo:

- $C = 5,0 \text{ m}^3$;
- $E = 0,80$;
- $f = 0,82$ (Tabela I);
- $T = ?$

b.3.2.1) Cálculo do tempo de ciclo (T) do caminhão:

$$\text{Tempo de ciclo (T)} = \text{tempo fixo (t}_f\text{)} + \text{tempo variável (t}_v\text{)}$$

b.3.2.1.1) Cálculo do tempo fixo (t_f):

$$\text{tempo fixo (t}_f\text{)} = \text{tempo de parada, descarga e partida (t}_{pd\text{p}}\text{)} + \text{tempo de carregamento (t}_c\text{)}$$

Sendo:

- $t_{pd\text{p}} = 1,0$ minuto (Tabela XI – caminhão de 5 m^3);
- $t_c = 1,2$ minutos;

Observação: o tempo de carregamento é função do número de ciclos (n_c) (“conchadas”) que necessita a pá, para carregar o caminhão.

nc = volume da caçamba do caminhão / volume da concha da pá;

$$nc = 5,0 \text{ m}^3 / 1,72 \text{ m}^3 = 2,906 \approx 3 \text{ ciclos};$$

Logo, $t_c = nc \times \text{tempo de ciclo da pá};$

$$t_c = 3 \text{ ciclos} \times 0,40 = \mathbf{1,2 \text{ minutos.}}$$

b.3.2.2) Cálculo do tempo variável (t_v):

O tempo variável é dependente das distâncias a serem percorridas, nos diferentes pavimentos, retiradas da Tabela XII.

$$t_v = \sum 0,06 (d_n / v_n)$$

As distâncias a serem percorridas são as seguintes: em terra, 250,0 m; em saibro, 1 000,0 m; em asfalto, 1 450,0 m. Substituindo-se na fórmula do tempo variável as diversas distâncias a serem percorridas e as velocidades que os caminhões podem desenvolver, com e sem carga, obtém-se:

$$t_v = 0,06 [(250,0 / 30,0) + 250,0 / 39,0] + (1 450,0 / 40,0) + (1 450,0 / 52,0) + (1 000,0 / 35,0) + (1 000,0 / 45,5)];$$

$$t_v = 0,06 (8,33 + 6,41 + 36,25 + 27,88 + 28,57 + 21,97);$$

$$t_v = 0,06 \times 129,41 = \mathbf{7,76 \text{ minutos;}}$$

O tempo de ciclo do caminhão basculante será então determinado por:

$$T = t_v + t_{pd} + t_c = 7,76 + 1,0 + 1,2 = 9,96 \approx \mathbf{10,0 \text{ minutos;}}$$

A produção horária do caminhão basculante, pode então ser calculada:

$$P_h = (60 \times 5,0 \times 0,8 \times 0,82) / 9,96 = \mathbf{19,76 \text{ m}^3/\text{h.}}$$

b.3.3) Número de caminhões basculantes servidos por uma pá carregadeira:

N = Tempo de ciclo do caminhão basc. / Tempo de carregamento

$$N = 9,96 \text{ minutos} / 1,2 \text{ minutos/unidade} = 8,30 \text{ ud} \approx \mathbf{8 \text{ unidades}}$$

No presente caso, são suficientes oito caminhões basculantes, para o trabalho da pá carregadeira.

Se fossem usadas duas pás e os dez caminhões, poderia haver redução no prazo de execução, porém ter-se-ia o inconveniente de ficarem as unidades de transporte, muito tempo paradas.

b.3.4) Produção horária de 8 caminhões basculantes:

$$P_h = 8 \text{ ud} \times 19,76 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{158,08 \text{ m}^3/\text{h.}}$$

Comparando-se com a produção horária da pá carregadeira que é de 148,09 m^3/h , pode ser afirmado o equipamento que “comanda” a tarefa é a pá carregadeira. (A pá irá trabalhar de forma contínua e os caminhões terão algum tempo de espera).

b.3.5) Tempo de execução da tarefa (escavação e bota fora):

O tempo de execução da tarefa com o emprego de uma pá carregadeira e oito caminhões basculantes, pode ser obtido com o resultado da divisão do volume (a ser colocado no bota fora) pela produção horária da pá carregadeira (equipamento que “comandará” a tarefa).

Em horas: $T_{\text{horas}} = 88\,000,0 \text{ m}^3 / 148,09 \text{ m}^3/\text{h} = 594,23 \text{ h} \approx 595 \text{ horas.}$

Em dias: $T_{\text{dias}} = 594,23 \text{ h} / 8 \text{ h/dia} = 74,28 \text{ dias} \approx 75 \text{ dias.}$

b.4) Escavação e transporte para o bota fora B:

Para esse bota fora o equipamento mais adequado dentre os disponíveis, parece ser o composto pelos moto-escreipers, porquanto o terreno é relativamente plano (rampa de 4 %) e a distância de 750 metros está dentro de seu limite de emprego.

b.4.1) Produção horária de cada moto-escreiper:

$$P_h = (60 \cdot C' \cdot E \cdot \varphi) / T$$

Sendo:

- $C' = 15,3 \text{ m}^3$ (rasa);
- $E = 0,7$ (item 4.0);
- $\varphi = 0,85$ (Tabela VIII);
- $T = ?$

Como não se conhece o tempo de ciclo do moto-escreiper, esse tempo tem que ser determinado.

O tempo de ciclo é composto pelo tempo fixo mais o tempo variável. Como tempo fixo, pode ser tomado o tempo de 3,0 minutos, para volumes de caçamba rasa que tenham valores superiores a 11,7 metros cúbicos (ver produção horária de moto-escreipers).

O tempo variável é calculado pela fórmula que utiliza as distâncias percorridas e respectivas velocidades.

Nesse exemplo, não são conhecidas as velocidades de trabalho quer na ida, quer na volta do moto-escreiper.

Essas velocidades serão extraídas das especificações técnicas, em função das forças de tração disponíveis e das resistências ao movimento do equipamento.

R = resistência oposta ao movimento do equipamento, na ida, com carga;

$$R = RR_o + RR_a$$

Resistência ao rolamento (RRo):

Obtém-se a resistência ao rolamento, em kg, com o resultado do produto do fator de resistência ao rolamento pelo peso, em toneladas (equipamento + carga).

O fator de resistência ao rolamento, para uma estrada de terra não estabilizada é de 75,0 kg/t (Tabela III).

O peso do material a ser transportado pelo moto-escreiper é igual ao seu volume coroado, multiplicado pelo peso específico desse material no estado solto.

A argila natural solta tem densidade igual a 1,661 t/m³ (Tabela I).

Peso da carga = 18,6 m³ x 1,661 t/m³ = 30,894 t;

RRo = 75,0 x (28,5 + 30,894) = 4 462,0 kg (na ida);

RRo = 75,0 x 28,5 = 2 137,0 kg (na volta sem carga).

Resistência de Rampa (RRa):

RRa = 10 . P . i

Na ida: $P = 28,5 + 30,894 = 59,494$ t;

Na volta: $P = 28,5$ t;

$RRa = 10 \times 59,494 \times 4 = 2 379,0$ kg (na ida);

$RRa = 10 \times 28,5 \times (-4) = - 1 140,0$ kg (a rampa, na volta, ajuda o trabalho de tração).

As resistências ao movimento podem ser então, determinadas:

Na ida: **R = 4 462,0 + 2 379,0 = 6 841,0 kg**;

Na volta: **R = 2 137,0 + (-1 140,0) = 997,0 kg**.

Comparando as forças opostas ao movimento com as forças de tração disponíveis, constata-se que o moto-escreiper poderá se deslocar co carga na sexta marcha e que esta marcha corresponde a uma velocidade de 29,0 km/h.

O retorno vazio permite o deslocamento na última marcha, a 39,0 km/h.

Determinação do tempo variável:

$t_v = 0,06 \times (750,0 / 29,0) + 0,06 \times (750,0 / 39,0) = 2,7$ minutos;

Tempo de ciclo do moto-escreiper:

$T = 3,0 + 2,7 = 5,7$ minutos.

Produção horária de cada moto-escreiper:

$$P_h = (60 \times 15,3 \times 0,7 \times 0,85) / 5,7 = 95,82 \text{ m}^3/\text{h}.$$

b.4.3) Produção de três moto-escreipers:

$$P_{h3M} = 3 \times 95,82 \text{ m}^3/\text{h} = 287,46 \text{ m}^3/\text{h}.$$

b.4.4) Tempo de execução da escavação com os moto-escreipers:

Em horas: $T_{hexec} = 88\ 000,0 \text{ m}^3 / 287,46 \text{ m}^3/\text{h} = 306,12 \text{ h} \approx 307 \text{ horas}.$
 Em dias: $T_{dexec} = 306,12 \text{ h} / 8 \text{ h/dias} = 38,27 \text{ dias} \approx 39 \text{ dias}.$

b.5) **Determinação de custos:**

Todos os custos necessários estão disponíveis para a determinação dos grupos de equipamentos que poderão executar a tarefa:

b.5.1) Custo total do Grupo 1:

Composto por um trator de esteiras, uma pá carregadeira e oito caminhões basculantes para, considerando o **Bota fora A**:

Um trator com lâmina frontal	$1 \times 104 \times 107,93 = \text{R\$ } 11\ 224,72$
Uma pá carregadeira de rodas	$1 \times 595 \times 51,62 = \text{R\$ } 30\ 713,90$
Oito caminhões basculantes	$8 \times 595 \times 25,34 = \text{R\$ } 120\ 618,40$
Total	R\\$ 162 557,02

O prazo de execução do trabalho com o Grupo 1, será de 595 horas ou 75 dias úteis de serviço.

b.5.2) Custo total do Grupo 2:

Composto por uma pá carregadeira de rodas para o aterro interno e uma para atendimento dos caminhões basculantes (**Bota fora A**):

Uma pá carregadeira de rodas	$1 \times 216 \times 51,62 = \text{R\$ } 11\ 149,92$
Uma pá carregadeira de rodas	$1 \times 595 \times 51,62 = \text{R\$ } 30\ 713,90$
Oito caminhões basculantes	$8 \times 595 \times 25,34 = \text{R\$ } 120\ 618,40$
Total	R\\$ 162 482,22

Prazo de execução com o Grupo 2 será de 595 horas ou 75 dias úteis de serviço.

b.5.3) Custo total do Grupo 3:

Composto por um trator de esteiras com lâmina frontal para o aterro interno e três moto-escreipers (Bota fora B).

Um trator de esteiras com lâmina	$1 \times 104 \times 107,93 = \text{R\$ } 11\ 224,72$
----------------------------------	---

Três moto-escreipers	$3 \times 307 \times 116,15 = R\$ 106\,974,15$
Total	R\\$ 118 198,87

Prazo de execução do serviço com o Grupo 3 será de 307 horas ou 39 dias úteis.

b.5.4) Custo do Grupo 4:

Composto por uma pá carregadeira de rodas para o aterro interno e três moto-escreipers (Bota fora B).

Uma pá carregadeira de rodas	$1 \times 216 \times 51,62 = R\$ 11\,149,92$
Três moto-escreipers	$3 \times 307 \times 116,15 = R\$ 106\,974,15$
Total	R\\$ 118 124,07

Prazo de execução do serviço com o Grupo 4, será de 307 horas ou 39 dias úteis.

c) **Conclusão:**

Os equipamentos que oferecem o menor custo total e o menor prazo de execução, pertencem ao Grupo 4. Entretanto, parece ser mais prudente que o serviço seja executado pelo Grupo 3.

Justificativas:

- 1) O aterro da depressão do terreno tem um transporte com declive de 10%, o que torna menos seguro o emprego de uma pá de rodas, em vista do risco de tombamento.
- 2) O trator de esteiras, no aterro da depressão, poderá operar com qualquer condição de pista, constituída pelo material argila natural. O mesmo não ocorrerá com a pá de pneus.
- 3) A diferença de custos de execução do serviço é muito pequena, o menor custo do Grupo 4 em relação ao Grupo 3, não justifica operar a pá carregadeira, em condições de insegurança.

7.2. DRAGAGEM COM BOTA FORA – ESTUDO DE CASO 2.

a. **Apresentação**

Pretende-se proceder a recuperação de um canal na extensão de 1 750,0 metros. A seção transversal do canal, inicialmente, correspondia a 43,8 metros quadrados e atualmente tem uma obstrução que corresponde, em média, a 28,0 metros quadrados. O material da obstrução é constituído de detritos de natureza orgânica, misturados com argila e areia.

O material de escavação deve ser lançado no Bota fora A, conforme desenho seguinte:

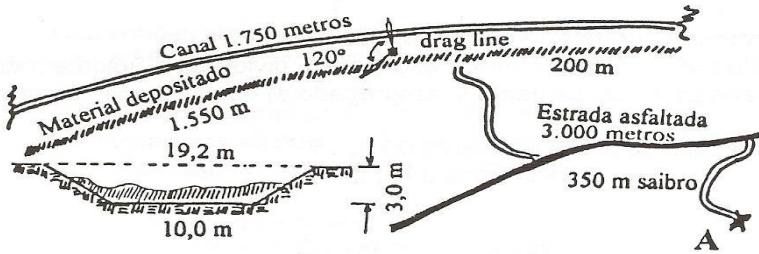


Figura 58 – Desenho esquemático do serviço de dragagem.

Com equipamentos disponíveis, quer-se compor um grupo de equipamentos que execute a dragagem dentro do menor prazo, sem equipamentos ociosos.

Equipamentos disponíveis:

- Uma (1) pá mecânica (shovel) de esteiras, caçamba de 1,529 metros cúbicos (2,0 jardas cúbicas);
- Uma (1) pá de arraste (drag-line) de esteiras, caçamba de 0,765 metros cúbicos (1,0 jardas cúbicas);
- Uma (1) pá de arraste (drag-line) de esteiras, caçamba de 1,174 metros cúbicos (1 ½ jardas cúbicas);
- Três (3) páis carregadeiras de esteiras, caçamba de 0,95 metros cúbicos, coroada (1 ¼ jardas cúbicas);
- Quatorze (14) caminhões basculantes com caçambas de 4,0 metros cúbicos de capacidade.

Dados complementares:

Foi determinado, experimentalmente, o tempo de ciclo do caminhão basculante para o percurso, realizado em 875,0 metros (média de 1 550,0 + 200,0 metros) em pista de terra, 550,0 metros em estrada ensaibrada e 300,0 metros, sobe asfalto. Essas distâncias correspondem, conforme o desenho esquemático do local, às distâncias de transporte.

Tempos de ciclo determinados:

Com o caminhão carregado, com quatro (4) ciclos de pá:

$T = 14 \text{ minutos e } 33 \text{ segundos} (T = 14,55 \text{ segundos})$;

Com o caminhão carregado cinco com (5) ciclos de pá:

$T = 14 \text{ minutos e } 53 \text{ segundos} (T = 14,88 \text{ segundos})$.

Considerar uma eficiência de dos caminhões basculantes igual a 0,8.

A pá de arraste tem necessidade de executar um giro de 120°, para descarregar o material no próprio terreno.

b. Desenvolvimento:

b.1) Comentário:

Analizados os equipamentos disponíveis, a primeira conclusão que se tira é que a pá mecânica (shovel de esteiras) não é adequada para a escavação de um canal como o presente. Igualmente não é opção para proceder a caga de

unidades de transporte uma vez que as pás carregadeiras são mais adequadas.

b.2) Volume de material a dragar e remover:

Corresponde ao produto da seção média obstruída, pelo comprimento do canal:

$$V = S_m \cdot L$$

$$V = 28,0 \text{ m}^2 \times 1\ 750,0 \text{ m} = 49\ 000,0 \text{ m}^3$$

O volume de material solto pode ser obtido pelo produto de 49 000,0 m³, pelo coeficiente de empolamento da areia molhada que corresponde a 1,13.

$$V_{\text{solto}} = 49\ 000,0 \times 1,13 = 55\ 370,0 \text{ m}^3$$

b.3) Determinação do tempo de escavação:

Para determinação do tempo de escavação, divide-se o volume total a escavar pela produção horária do(s) equipamento(s) empregados(s) na escavação do material.

b.3.1) Produção horária da pá de arraste nº 1, de 0,765 m³:

$$P_h = (3\ 600 \cdot Q \cdot f \cdot E \cdot k) / T$$

Sendo:

- Q = 0,765 m³;
- f = 0,88 (Tabela I);
- E = 0,5 (ver item 4.4);
- k = 0,80 (Tabela IX);
- T = 22 segundos (argila e barro úmido e giro de 90°, mais 3 x 2 segundos, para completar o giro de 120°, Tabela X);

$$P_h = (3\ 600 \times 0,765 \times 0,88 \times 0,5 \times 0,8) / (22 + 6) = 34,62 \text{ m}^3/\text{h};$$

b.3.2) Produção da pá de arraste nº 2, de 1,174 m³:

Os fatores são idênticos à pá anterior, com exceção da capacidade da caçamba. (T = 30 segundos, Tabela X).

$$P_h = (3\ 600 \times 1,174 \times 0,88 \times 0,5 \times 0,8) / (24 + 6) = 49,59 \text{ m}^3/\text{h};$$

b.3.3) Tempos de escavação:

Pá de arraste nº 1.....49 000,0 / 34,62 = 1 415,37 horas;

Pá de arraste nº 249 000,0 / 49,59 = 988,10 horas;

Pás de arraste nº 1 e 2 (juntas)49 000,0 / 84,21 = 581,87 horas.

b.4) Determinação do tempo de transporte:

A determinação dos tempos de transporte do material até o bota fora A, será obtida pela divisão do volume total de material no estado solto a ser

transportado, pela produção horária do(s) equipamento(s) que “comandará(ão) a tarefa [as pá(s) carregadeira(s) ou as unidades de transporte].

b.4.1) Produção horária de uma pá carregadeira:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot f \cdot E) / T$$

Sendo:

- $C = 0,95 \text{ m}^3$;
- $E = 0,80$ (ver item 4.0);
- $T = 0,32$ (pá de esteiras);
- $f =$ (não será considerado para material solto);

Substituindo os valores conhecidos, tem-se a produção horária:

$$P_h = (60 \times 0,95 \times 0,80) / 0,32 = 142,5 \text{ m}^3/\text{h};$$

b.4.2) Produção de pás carregadeiras, em conjunto:

- 1 Pá carregadeira..... $142,5 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 2 Pás carregadeiras = $2 \times 142,5 = 285,0 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 3 Pás carregadeiras = $3 \times 142,5 = 427,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

b.4.3) Números de ciclos dos caminhões basculantes:

São dadas duas opções para o carregamento dos caminhões basculantes: com quatro e com cinco ciclos de pás carregadeiras.

Com cinco ciclos, o caminhão transportará quatro metros cúbicos, porém no quinto ciclo da pá, esta deverá levar na caçamba, um volume de apenas $0,2 \text{ m}^3$.

Com quatro ciclos a pá carregadeira irá depositar no caminhão $4 \times 0,95 = 3,8 \text{ m}^3$, reduzindo a capacidade do caminhão, porém levando um menor tempo de carregamento ($t_c = 4 \times 0,32 = 1,28$ minutos).

A opção será então, pelo carregamento em quatro ciclos.

b.4.4) Número de caminhões atendidos pela pá carregadeira:

$$N = T / t_c = 14,55 / 1,28 = 11,36 \approx 12 \text{ unidades.}$$

b.4.5) Associação de pás carregadeiras e caminhões basculantes:

Uma pá carregadeira é suficiente para atender 12 caminhões basculantes. Se fossem utilizadas duas unidades, seriam necessários 24 caminhões basculantes.

b.4.6) Produção horária de caminhões basculantes:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E) / T$$

Sendo:

- $C = 3,8 \text{ m}^3$;
- $E = 0,8$ (fornecido);
- $T = 14,55$ minutos.

$$P_h = (60 \times 3,8 \times 0,8) / 14,55 = 12,536 \text{ m}^3/\text{h}.$$

A produção horária de 12 caminhões será:

$$P_{h12} = 12 \times 12,536 = 150,43 \text{ m}^3/\text{h}.$$

b.4.7) Definição do caminho crítico (equipamento que “comanda” a tarefa):

Pá carregadeira produz.....142,5 m³/h;
Doze caminhões basculantes produzem...150,43 m³/h.

A pá carregadeira irá trabalhar de forma contínua e os caminhões terão tempo de espera, portanto a pá é o equipamento que define o caminho crítico, isto é, é o equipamento que “comanda” a tarefa.

b.4.8) Prazo de desobstrução do canal:

O menor prazo de desobstrução do canal será obtido com o emprego de duas pás de arraste e será igual a **581,87 horas de trabalho**.

b.4.9) Tempo total de transporte de material:

O tempo total de transporte de material de escavação para bota fora A, será:

$$T_{total} = 55\ 370 / 142,5 = 388,561 \text{ h} \approx 389 \text{ horas.}$$

c. Conclusão do estudo:

O tempo total de execução da tarefa corresponde a **581,87 horas de serviço** ou de $581,87 \text{ horas} / 8 \text{ horas/dia} = 72,73 \text{ dias úteis} \approx 73 \text{ dias úteis}$.

Para que todos os equipamentos trabalhem de forma contínua, o serviço de remoção do material de escavação deverá ter início algum tempo após o início da escavação:

$$\Delta_h = 581,87 - 388,56 = 193,31 \text{ h} \approx 194 \text{ horas depois}$$

ou $193,31 \text{ h} / 8 \text{ h/dia} = 24,16 \text{ dias} \approx 24 \text{ dias depois.}$

7.3. COMPARAÇÃO DE EQUIPAMENTOS CONGÊNERES

Determinar qual o trator de lâmina frontal, entre os três descritos a seguir que fará um serviço de terraplenagem no menor prazo e também, qual o menor custo.

Características dos tratores:

Unidades	A	B	C
Potência, em cv (kW)	240 (176,60)	220 (161,81)	258(189,76)
Peso (t)	10,2	10,0	10,8
Dimensões da lâmina (m)	3,5 x 1,3	3,3 x 1,4	3,5 x 1,4
Tempo fixo (minutos)	0,4	0,4	0,4
Velocidade à frente (km/h)	6,3	7,2	6,4
Velocidade à ré (km/h)	10,6	10,8	11,9
Eficiência de trabalho	0,8	0,8	0,8

Custos horários:

Trator A	R\$ 98,75
Trator B	R\$ 93,68
Trator C	R\$ 107,11

Dados complementares:

- Trabalho em nível;
- Fator de empolamento: $f = 0,79$;
- Distância de transporte: $d = 75,0$ m;
- Volume a escavar: $V = 1\ 350,0\ m^3$;
- Fator de perdas no transporte: $\eta = 1,0$;
- Ângulo de talude do material: $\alpha = 45^\circ$.

a. Desenvolvimento:

a.1) Determinação da capacidade de transporte da lâmina:

$$C = c \cdot h^2 / 2 \operatorname{tg} \alpha$$

Os tratores A, B e C, têm as seguintes capacidades de transporte:

$$C_a = (3,5 \times 1,3^2) / 2 = 2,957\ m^3;$$

$$C_b = (3,3 \times 1,4^2) / 2 = 3,324\ m^3;$$

$$C_c = (3,5 \times 1,4^2) / 2 = 3,430\ m^3.$$

a.2) Tempos de ciclo:

$$T = t_f + t_v$$

Sendo:

- Tempo fixo: $t_f = 0,4$;
- Tempo variável: ?

a.2.1) Cálculo do tempo variável de cada trator:

$$\text{Trator A: } t_{va} = 0,06 (75,0 / 6,3) + 0,06 (75,0 / 10,6) = 1,138 \text{ minutos;}$$

$$\text{Trator B: } t_{vb} = 0,06 (75,0 / 7,2) + 0,06 (75,0 / 10,8) = 1,041 \text{ minutos;}$$

$$\text{Trator C: } t_{vc} = 0,06 (75,0 / 6,4) + 0,06 (75,0 / 11,9) = 1,081 \text{ minutos.}$$

a.2.2) Cálculo do tempo de ciclo de cada trator:

Trator A: $T_A = 0,4 + 1,138 = 1,538$ minutos;

Trator B: $T_B = 0,4 + 1,041 = 1,441$ minutos;

Trator C: $T_C = 0,4 + 1,081 = 1,481$ minutos.

a.3) Produções horárias:

$$P_h = (60 \cdot C \cdot E \cdot f \cdot \eta) / T$$

Trator A: $P_h = (60 \times 2,957 \times 0,8 \times 0,79 \times 1,0) / 1,538 = 72,906 \text{ m}^3/\text{h}$;

Trator B: $P_h = (60 \times 3,234 \times 0,8 \times 0,79 \times 1,0) / 1,441 = 85,102 \text{ m}^3/\text{h}$;

Trator C: $P_h = (60 \times 3,430 \times 0,8 \times 0,79 \times 1,0) / 1,481 = 87,822 \text{ m}^3/\text{h}$.

a.4) Horas trabalhadas:

Trator A: $H_A = 1350,0 / 72,906 = 18,516 \approx 19$ horas;

Trator B: $H_B = 1350,0 / 85,102 = 15,863 \approx 16$ horas;

Trator C: $H_C = 1350,0 / 87,822 = 15,370 \approx 15,5$ horas.

a.5) Custo da tarefa, por trator:

Trator A: $18,516 \times 98,75 = R\$ 1\,828,46$;

Trator B: $15,863 \times 93,68 = R\$ 1\,486,05$;

Trator C: $15,370 \times 107,11 = R\$ 1\,646,28$.

a.6) **Conclusão:**

O trator B tem o menor custo de execução e o trator C, o menor prazo.

Os valores encontrados foram muito próximos e não poderia ser diferente, uma vez que os tratores possuem características semelhantes.

8.0. EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO

8.1. INTRODUÇÃO

Conceito de Compactação:

A compactação consiste na maior aproximação e acomodamento dos grãos e partículas dos materiais constituintes dos solos ou de outros materiais de construção de pavimentos, obtida através de meios mecânicos.

A compactação proporciona um aumento da densidade do material trabalhado e em consequência provoca a redução dos seus vazios.

Objetivos da compactação:

1) Aumentar a capacidade de suporte do material do solo ou pavimento;

- 2) Aumentar a estabilidade do material compactado;
- 3) Aumentar a resistência do material ao intemperismo;
- 4) Aumentar a impermeabilidade do material do solo ou pavimento;
- 5) Dar acabamento superficial em alguns casos.

8.2. COMPACTAÇÃO DE SOLOS

A resistência ou capacidade de suporte do material de um solo depende do entrosamento das partículas que o compõe e que entram em sua formação, assim os materiais de granulometria variável e bem escalonada são os mais fáceis de serem compactados.

Os solos podem ser classificados nos seguintes grupos básicos, segundo a classificação HRB / AASHO.

a) Coesivos

Compostos por partículas aparentemente microscópicas, de aspecto pegajoso quando úmidos e na forma de torrões, quando secos. Exemplos: argilas e siltos.

São solos que têm mais de 35% do peso de sua amostra, passantes pela peneira 200 (ou abertura de malha igual a 0,074 milímetros) no ensaio de peneiramento.

b) Não coesivos

Compostos de partículas granulares de diâmetros que estejam entre 0,5 e 76 mm e tenham menos de 35% do peso da amostra passando pela peneira 200.

c) Turfas

São solos com partículas de argila e materiais orgânicos em decomposição, materiais de origem vegetal, mantidos, em geral, em um meio líquido.

8.3. TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO

Uma compactação mecanizada exige o conhecimento da umidade ótima para a obtenção da densidade máxima, de acordo com os ensaios de compactação realizados em laboratório, como os primeiros elaborados pelo engenheiro americano R. Proctor e outros ensaios posteriormente desenvolvidos.

O Ensaio de Proctor, basicamente, consiste em compactar uma amostra do material coletado no local da obra, dentro de um cilindro metálico de 10,0 cm de diâmetro e 12,75 cm de altura, resultando em um corpo de prova de 1 000,0 cm³.

Compactam-se corpos de prova com teores de umidade variáveis e crescentes, comparando-se depois as suas massas, em um gráfico cartesiano: umidade x massa. Isso permite que se obtenha a umidade ideal (ótima), com a qual se consegue a melhor compactação (densidade máxima) para um determinado material.

A compactação se faz em três camadas, utilizando-se de uma haste soquete que com massa de 2,5 kg e que deve cair de uma altura de 30,0 cm, sendo executadas 25 quedas ou golpes, em cada camada. (Ensaio Proctor Normal).

A quantidade de energia (constante) aplicada na compactação da amostra, no ensaio Proctor pode ser calculada como segue:

$$e = 3 \times 25 (2,5 \times 30,0) / 1000,0 = 5,6 \text{ kgf} \cdot \text{cm} / \text{cm}^3$$

Existem outros ensaios de laboratório fundamentados no Ensaio Proctor Normal, chamados de Proctor Intermediário, Proctor Modificado e o Ensaio CBR (Califórnia Bearing Ratio). Esses ensaios pretendem reproduzir em laboratório as energias de compactação aplicadas pelos equipamentos utilizados.

Esses ensaios têm, se comparados ao Proctor Normal, diferenças como: hastas com massas maiores; maior número de camadas e alturas de queda maiores.

Como consequência esses ensaios apresentam maiores energias de compactação e se observa que o teor de umidade ótima diminui com o aumento da energia de compactação.

A umidade ótima necessária à obtenção de uma densidade máxima, é dependente de outros fatores, como o tipo de solo, porcentagem de seus elementos componentes, granulometria e outros. A Fig. 59, extraída do Manual de Compactação Vibratória, publicação da Dynapac é, nesse sentido, bastante esclarecedora.

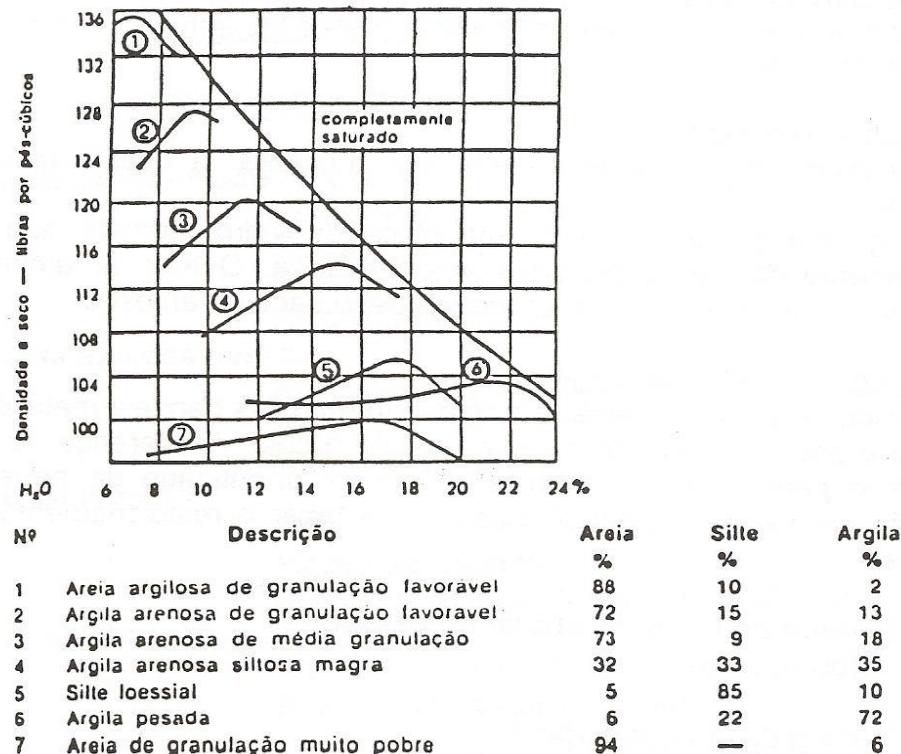


Figura 59 – Curvas de compactação para diversos tipos de solo

No laboratório, com o ensaio de compactação, pode-se obter a densidade seca máxima, em função de uma umidade ótima.

Se for obtida a densidade do solo em compactação no próprio local da obra e isso feito após um determinado número de passadas do equipamento compactador, será possível conhecer-se o **Grau de Compactação** atingido, o qual pode ser expresso como segue:

Grau de Compactação = (densidade seca do material compactado / densidade seca máxima de laboratório) x 100 ou

$$GC = \frac{\delta_{campo}}{\delta_{laboratório}} \times 100$$

Quando se atinge um **Grau de Compactação de 95%**, considera-se concluída a compactação mecanizada, na maioria dos casos.

Não se deve esquecer que a densidade de um solo compactado na obra é dependente do número de passadas do equipamento, da espessura da camada, do tipo de compactação e da pressão exercida sobre o solo.

Obtenção da umidade de um solo, em campo:

Os métodos usuais para obtenção da umidade dos solos, em campo, são os seguintes:

a) Método “Speedy”

Utiliza-se um cilindro metálico de fecho hermético, no qual é colocada uma amostra do solo e uma cápsula (ampola de vidro) de carbureto de cálcio.

O conjunto fechado, hermeticamente, é agitado, manualmente, com o que se quebra a ampola de carbureto. O carbureto de cálcio combina-se, imediatamente, com a água que umedecia o solo formando gás acetileno, gerando uma pressão interna no cilindro que é medida por um manômetro acoplado ao conjunto. Essa pressão é proporcional a umidade da amostra de solo.

A comparação da pressão medida com dados tabelados permite a avaliação do teor de umidade da amostra.

b) Método da frigideira

A amostra do solo é posta em uma frigideira, a qual é colocada sobre um fogareiro aceso.

A frigideira é coberta com uma placa de vidro e quando não houver mais o embaçamento do vidro, tem-se a amostra completamente seca. O teor de umidade da amostra é obtido, relacionando-se o peso úmido anterior e o peso seco da amostra.

c) Método da secagem a álcool

A amostra de solo é pesada. Depois é embebida em álcool e posta a queimar sobre uma bandeja metálica, até ficar, completamente, seca. A diferença entre o

peso úmido e o peso seco fornece, diretamente, a quantidade de água que estava presente na amostra. A obtenção em valor percentual consiste em fazer o relacionamento entre os pesos medidos.

Observação:

Solos muito orgânicos podem ter a determinação de umidade mascarada nos dois últimos métodos, pela queima ou calcinação de seus componentes o que fará com que o “peso seco” seja menor que o peso seco verdadeiro, prejudicando, assim, o cálculo final da umidade.

Densidade de um solo, obtida em campo

A densidade de um solo em condições de campo é, usualmente, obtida por um dos seguintes métodos:

a) Método do cilindro cortante

Retira-se uma amostra de solo com um cilindro cortante (shelby), relaciona-se o peso da amostra com o seu volume obtendo-se, assim, a respectiva densidade.

b) Método do “frasco de areia ou óleo”

Retira-se com uma espátula ou pá, uma amostra do solo e no vazio que é deixado, se procede o preenchimento com areia ou um óleo, vazados a partir de um frasco graduado em volume. Conhecido o peso da amostra e seu volume, obtém-se a densidade. Esse é o método mais utilizado.

c) Penetrômetro

Utiliza-se um aparelho denominado de “Agulha de Proctor”.

d) Métodos nucleares

Utilizam aparelhos sofisticados de irradiação de “partículas Beta” e são acoplados a um Contador Geiger.

8.4. PROCESSOS DE COMPACTAÇÃO

São quatro os principais processos mecanizados empregados na compactação de solos e pavimentos:

- 1) Compressão ou pressão;
- 2) Amassamento;
- 3) Impacto;
- 4) Vibração.

O processo de compressão ou pressão consiste na aplicação de forças verticais sobre o terreno ou pavimento.

No processo de amassamento tem-se além da aplicação de forças verticais, outras forças inclinadas ou mesmo ortogonais, agindo de forma concomitante.

No processo de impacto tem-se a ação de forças verticais agindo de forma intermitente e com o limite máximo de setecentos (700) impactos por minuto.

Caso o equipamento promova mais de setecentos impactos por minuto, o equipamento passa a ser considerado como vibratório. (*)

8.5. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- a) Processo de compressão ou pressão:
 - Rolos metálicos lisos de três rodas;
 - Rolos metálicos lisos, tandem;
 - Rolos pés de carneiro, rebocados;
 - Rolos de grelha.
- b) Processo de amassamento:
 - Rolos de pneus, rebocáveis;
 - Rolos de pneus, autopropelidos;
 - Rolos pés de carneiro, autopropelidos.
- c) Processo de impacto:
 - Pilão;
 - Placas de impacto;
 - Soquetes de impacto (sapos mecânicos).
- d) Processos de vibração:
 - Rolos metálicos lisos, vibratórios;
 - Rolos metálicos pés de carneiro, vibratórios.

(*) – alguns fabricantes de equipamentos consideram o limite de definição, se o equipamento é de impacto ou de vibração, como sendo de 500 ciclos por minuto.

Descrição dos equipamentos mais utilizados:

1) **Rolo metálico liso de três rodas**

Como o nome indica, possui como rodas três cilindros metálicos, sendo dois traseiros de tração e um dianteiro de direção.

É um equipamento muito robusto e de construção mecânica simples. É empregado na compactação de macadame, saibros e britas nos serviços de revestimentos de estradas.

As rodas traseiras exercem maior pressão de contato, em comparação com as de direção.

Os cilindros de compactação podem ser lastrados com água, areia úmida ou lastro concentrado, o que permite obter-se maior pressão de contato.

A Figura 60, mostra um rolo compactador fabricado pela Tema Terra Maquinaria S.A., rolo que tem um peso sem lastro de 9 200,0 kgf e podendo alcançar até 14 000,0 kgf, com lastro.

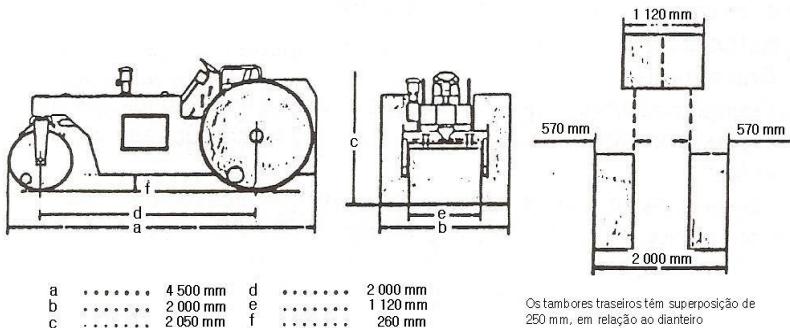


Figura 60 – Rolo compactador de três rodas

O cilindro da roda dianteira bipartida proporciona um melhor acabamento de superfícies compactadas quando o rolo executa movimentos em curvas.

Esses rolos possuem raspadores nos cilindros, destinados a proceder a sua limpeza durante o serviço.

2) Rolo metálico liso, em tandem

Esses rolos possuem dois cilindros, um dianteiro e um traseiro, posicionados em tandem. Os cilindros são de igual largura, mas têm variação quanto aos seus diâmetros. O cilindro dianteiro costuma ser maior.

O cilindro dianteiro, devido a apresentar pressão de contato superior à do traseiro, é considerado como cilindro de compressão, sendo o outro o de direção.

Os rolos tandem possuem raspadores nos cilindros, para a remoção de material aderente.

Têm também um sistema de aspersão de água sobre os rolos, necessário para evitar que agregados sólidos grudem em suas superfícies, quando a compactação se faz em pavimentos trabalhados a quente (asfaltos).

São os rolos tandem usados em serviços mais leves que os de três rodas. A Figura 61 apresenta um rolo tandem de 6 400,0 kgf, de peso operacional.

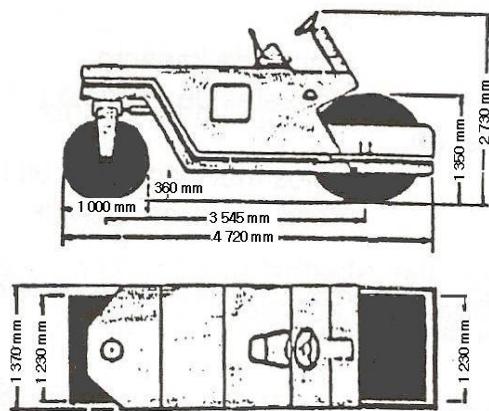


Figura 61 – Rolo de duas rodas, em tandem.

Os rolos lisos metálicos comprimem o solo com uma pressão de contato elevada, porém as pressões exercidas no interior do solo ficam menores a medida que se afastam se sua superfície de contato. À medida que a superfície fica mais dura, menores são as pressões internas e aparentemente, se forma uma casca que impede o adensamento das camadas inferiores.

Na Figura 62, procura-se explicar esse efeito, onde o cilindro de compactação de um rolo de três rodas tem as pressões sobre o solo determinadas na primeira “passada” e após n “passadas”.

Foram determinadas as pressões em diferentes profundidades, na primeira passada, quando o cilindro de compactação aplica todo o seu peso na largura de 15,24 cm (6") e quando a largura de contato fica reduzida a 2,54 cm (1").

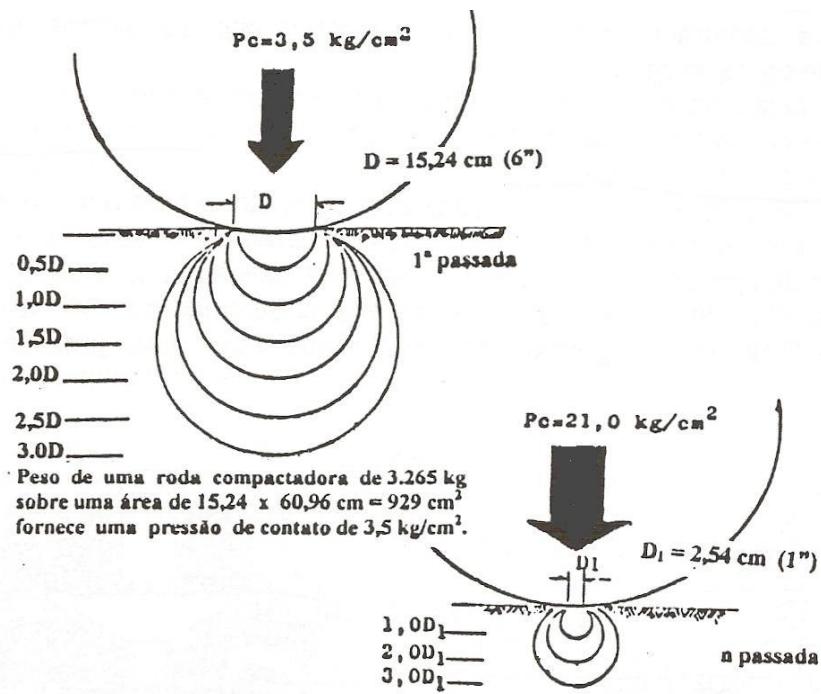
O exemplo esclarece que a pressão de contato tem um gradativo aumento com as novas passadas do rolo sobre o solo, isto porque cada vez mais fica reduzida a área de contato com o terreno. De outro lado, sob o cilindro ficam cada vez menores as zonas de influência.

Comentário:

Pode ser observado que na primeira passada, na profundidade de 7,5 cm, em relação à superfície, a pressão efetiva correspondia a $2,1 \text{ kgf/cm}^2$, quando a pressão de contato era de $3,5 \text{ kgf/cm}^2$.

Na enésima passada, a 7,5 cm da superfície a pressão efetiva se reduziu a $0,63 \text{ kgf/cm}^2$, portanto menor que a da primeira passada, embora a pressão de contato tenha aumentado para $21,0 \text{ kgf/cm}^2$.

Com essa explicação, fica mais fácil de compreender porque este tipo de equipamento só deve ser usado para compactação de camadas finas do material de um aterro.



Após n passadas quando D₁ fica com 2,54 cm² a área de contato será 2,54 x 60,96 = 155 cm² e a pressão de contato = 21,0 kg/cm².

Pressão de contato kg/cm ²	Raio de atuação (cm)	Fator de influência	Pressão efetiva kg/cm ²
3,5	0,5D = 7,5 1,0D = 15,0 1,5D = 22,5 2,0D = 30,0 3,0D = 45,0	0,6 0,3 0,15 0,09 0,03	2,1 1,05 0,52 0,31 0,10

Pressão de contato kg/cm ²	Raio de atuação (cm)	Fator de influência	Pressão efetiva kg/cm ²
21,0	0,5D ₁ = 1,25 1,0D ₁ = 2,50 1,5D ₁ = 3,77 2,0D ₁ = 5,00 3,0D ₁ = 7,50	0,6 0,3 0,15 0,09 0,03	12,6 6,3 3,15 1,69 0,63

Figura 62 – Efeito de compactação, em função do número de passadas do cilindro.

(*) – Exemplo extraído da publicação: “Equipamentos de Compactação: Seleção e Aplicação”, da Tema Terra Maquinaria S. A.

3) Rolos metálicos pés de carneiro

Os rolos pés de carneiro podem ser encontrados na forma de unidades compostas de um ou mais rolos, acoplados e rebocáveis ou ainda, na forma de rolos auto propelidos.

Os rolos rebocáveis compactam pela pressão ao passo que os cilindros de propulsão, proporcionam a compactação pelo amassamento.

Os rolos pés de carneiro são empregados no adensamento de solos siltosos e argilosos, desenvolvem pressões de contato elevadas e servem ainda para fragmentar inúmeros materiais.

Outro serviço especial a que se presta este tipo de rolo é o de auxiliar na aeração de solos argilosos muito úmidos, com o aumento da superfície exposta ao ar, objetivando uma secagem mais rápida.

As patas dos rolos penetram no solo, profundamente e à medida que compactam o solo a penetração diminui e em vista deste fato diz-se que a compactação procede de baixo para cima.

As patas denominadas “normais” têm um comprimento de 18 a 23 cm (7 a 9 polegadas). A altura da camada a compactar com eficiência poderá ser igual a 1,25 vezes o comprimento da pata.

Os cilindros podem ser lastrados com água, areia ou sem aumento de peso.

A pressão de contato é obtida dividindo-se o peso do rolo, pela área de contato das patas que estão no momento considerado, apoiadas no terreno.

Os rolos pés de carneiro tracionados podem ter os seus cilindros oscilantes, como é mostrado na Figura 63, para melhor distribuição das pressões sobre o solo.

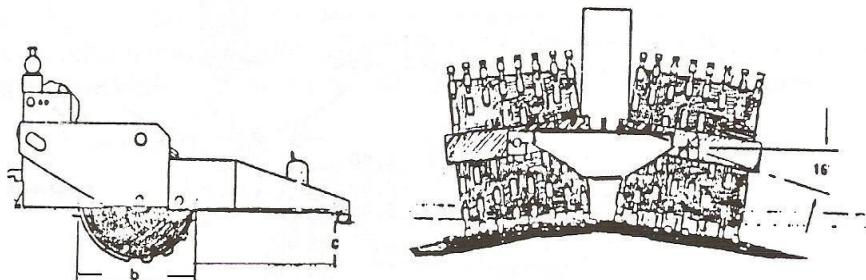


Figura 63 – Rolo metálico pés de carneiro.

4) Rolos de grelha

São rolos rebocados, possuindo a superfície do cilindro que entra em contato com o solo, a configuração de uma grelha.

A grelha é formada através de uma série de barras de aço cruzadas, apresentando nos cruzamentos nódulos salientes.

Nos nódulos concentram-se pressões da ordem de 105,45 kgf/cm², ou seja, 1500 psi (libras por polegada quadrada).

Os rolos de grelha provocam fraturas nos materiais granulares de maiores diâmetros, bem como podem aumentar sua pressão de contato com o uso de lastro de blocos de concreto.

Esses rolos são pouco usados no Brasil e têm emprego na fragmentação de rochas e rompimento de pavimentos de fraco suporte. Fig. 64.

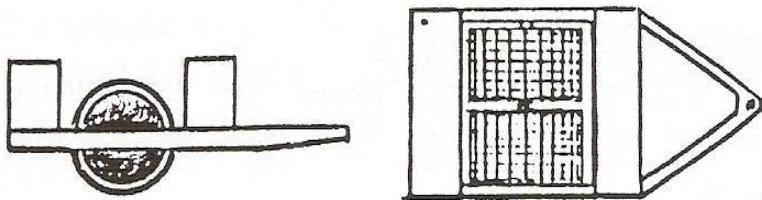


Figura 64 – Rolo de grelha.

5) Rolos de pneus

São equipamentos de compactação que apresentam uma grande versatilidade de aplicações, como sejam: compactações de aterros, bases de estadas, bases de aeroportos, alisamento de misturas betuminosas aplicadas a quente ou a frio.

Classificação de rolos de pneus:

a) Quanto à propulsão

- rebocados;
- autopropelidos.

b) Quanto ao peso

- Leves (até 13 tf);
- Médios (de 14 a 25 tf);
- Pesados (de 26 a 50 tf).

c) Quanto ao número de rodas

- Leves, com 9, 11 ou 13 rodas;
- Médios, com 4, 7, 9 ou 11 rodas;
- Pesados, com 4 rodas.

A determinação da pressão de contato se faz pela relação entre a carga aplicada ao solo pelo pneu e sua área de contato, considerada como circular e com o diâmetro igual à largura do pneu. (A área de contato, na realidade, é ovalada).

Exemplo:

Determinar a pressão de contato de um rolo de pneus que transmite ao solo um peso de 1 270,0 kgf, deixando uma largura de impressão de 15 cm.

$$P_c = 1\ 270,0 / (\pi D^2 / 4) = 1\ 270,0 / (3,14 \times 15^2 / 4) = 1\ 270 / 176 = \quad = 7\ 215,0 \text{ kgf/cm}^2.$$

Nos compactadores de rodas pneumáticas, se for aumentada a pressão interna, fica diminuída a largura de impressão e como consequência aumentará a pressão de contato.

Essa propriedade é usada na compactação de capas asfálticas que exigem de início baixas pressões e maiores nas passadas finais. Fig. 65.

A compactação com pneus se faz pelo amassamento e pela interação dos bulbos de pressão de rodas contíguas, conforme mostra a Figura 66.

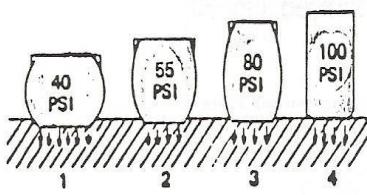


Figura 65 – Compactação de capas asfálticas.

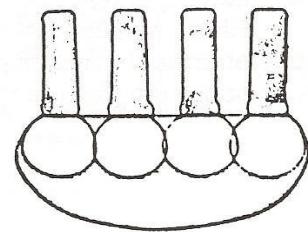
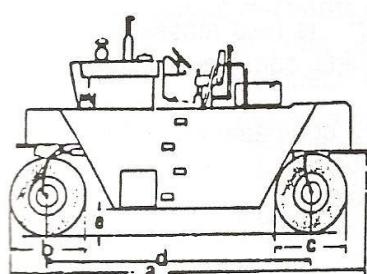


Figura 66 – Interação de bulbos de pressão.

A Figura 67 permite visualizar um rolo de pneus do tipo médio, autopropelido (ou autopropulsado) com de sete rodas.



DIMENSÕES:

a	5.900 mm
b	1.270 mm
c	1.270 mm
d	4.420 mm
e	430 mm
f	3.890 mm
g	1.543 mm
h	2.160 mm
i	2.500 mm

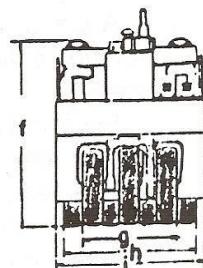


Figura 67 – Rolo de pneus, autopropulsado com sete rodas.

O rolo de pneus tem uma superposição de faixas compactadas pelos pneus, como mostra a Fig. 68.

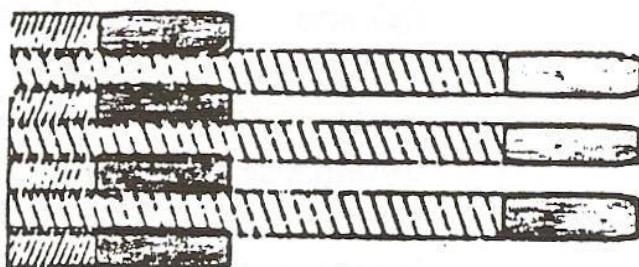


Figura 68 – Superposição das faixas de compactação

Para que a compactação se faça pelo amassamento e de uma forma eficiente, as rodas devem estar sempre em contato com o solo, tendo eixos que permitem sua oscilação, como pode ser visto na Figura 69.

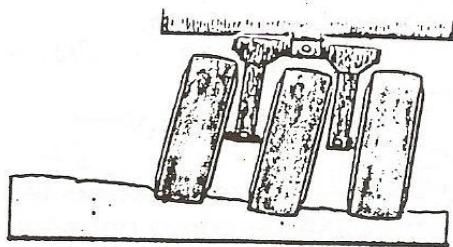


Figura 69 – Pneus em contato com o solo.

6) **Pilão**

Consiste o pilão, no conjunto de três “pontaletes” ou pilares esbeltos de madeira (ou tubos de aço) que têm no seu ponto de junção uma roldana. Na roldana é passada uma corda de cânhamo que tem preso em sua extremidade, um cilindro ou uma esfera de aço.

Essa massa de metal é suspensa manual ou mecanicamente e depois liberada em queda livre. Se a queda for diretamente sobre o solo, compacta-o por impacto e se for sobre um pavimento, provoca sua fragmentação. Fig. 70.

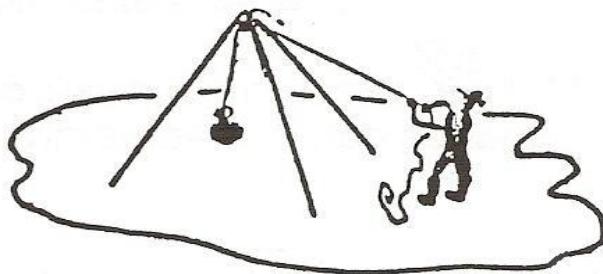


Figura 70 – Pilão com acionamento manual.

7) **Placa de impacto ou vibratória**

Consiste em uma placa de aço presa a um mecanismo constituído por uma massa metálica excêntrica que é posta a girar. O movimento de giro é proporcionado através de um motor a explosão.

A placa, sob a ação das forças centrífugas geradas pela massa em movimento giratório, é ligeiramente levantada e cai em seguida, com certo impacto sobre o terreno.

Essa ação ocorre várias vezes por minuto. Os equipamentos considerados de impacto têm um limite máximo de 700 impactos por minuto. Se os impactos forem em número maior, o equipamento será considerado como vibratório.

A placa de impacto é conduzida de forma manual, por um guidão semelhante ao de uma motocicleta, contendo o mesmo, a alavanca de controle de aceleração e parada do motor. Fig. 71.

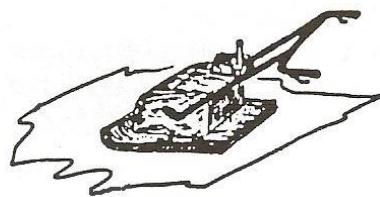


Figura 71 – Placa de impacto.

8) Soquete mecânicos

Os soquetes mecânicos também chamados, popularmente, de “sapos mecânicos”, são construídos em diversas formas, tamanhos e pesos, pesos esses que variam de 100 a 400 kgf.

São projetados e construídos de forma a possuírem uma haste ou “perna” que se alonga mecanicamente, fazendo-os por esta forma saltarem, intermitentemente, para uma posição à frente da anterior, sendo assim conduzidos, facilmente, por um operador, sobre o terreno a ser compactado.

Assim como as placas vibratórias, são usados na compactação de aterros, muros de arrimo, compactação de cabeceiras de pontes e locais confinados, onde não haja acesso para equipamentos de maior porte. Fig. 72.



Figura 72 – Soquete de Impacto

9) Rolos vibratórios

Os rolos vibratórios rebocados ou autopropelidos, lisos ou pés de carneiro, têm a ação vibratória obtida pelo movimento giratório de uma massa excêntrica com rotação controlada e superior a 700 RPM (Rotações por minuto).

A maior aplicação e o melhor rendimento dos rolos vibratórios, se verifica na compactação de materiais não coesivos, ou seja, materiais granulares.

Os rolos vibratórios têm uma zona de influência muito superior aos demais tipos de equipamentos de compactação, razão ela qual, camadas com maior espessura podem ser compactadas. Fig. 73.

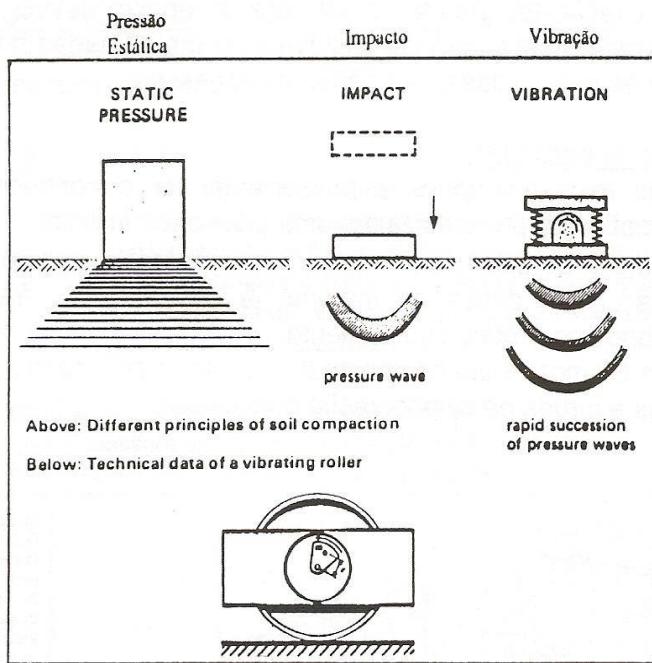


Figura 73 – Diferentes princípios utilizados na compactação de solos.

Propriedades relevantes:

- Número de vibrações por minuto (VPM);
- Frequência ótima ou de ressonância;
- Força estática;
- Força dinâmica;
- Amplitude de vibração;
- Número de passadas.

a) Número de vibrações por minuto:

O número de vibrações por minuto ou a frequência de vibrações pode ser alterada e deve ser conjugada com a velocidade e o deslocamento do rolo.

Se a frequência de vibração não for a mais adequada ou a velocidade imprimida ao rolo for mais elevada que a necessária, será preciso aumentar o número de passadas do equipamento.

b) Frequência ou ressonância

É a frequência à qual o solo responde com maior rendimento à compactação. Nos solos não coesivos a frequência ótima está na faixa de 1 100 a 1 500 VPM (Vibrações por minuto).

c) Força estática

Corresponde, somente, ao peso estático do equipamento, em kgf, sem estar em vibração (rolo + chassi).

d) Força dinâmica

Corresponde à força exercida pelo peso estático mais as forças presentes no impacto com o solo, resultantes da força centrífuga e da queda do cilindro (em kgf).

e) Amplitude de vibração

Varia na razão inversa da frequência e consiste na elevação do rolo em relação ao solo. É expressa em milímetros.

Se a elevação for grande, maior será o impacto devido à queda. São usadas amplitudes baixas para misturas instáveis ou em camadas finas e amplitudes altas se as misturas são rígidas ou as camadas espessas.

f) Número de passadas

Para os rolos vibratórios é fundamental ter o conhecimento do número de passadas, obtido de preferência em uma pista experimental.

Um número de passadas superior ao necessário poderá provocar uma super compactação, com danos ao material já comprimido, fragmentando-o, além de provocar danos ao próprio equipamento.

A Figura 74 mostra um compactador vibratório com rodas de tração constituídas pelos pneus e a roda de compactação, pelo cilindro de aço.

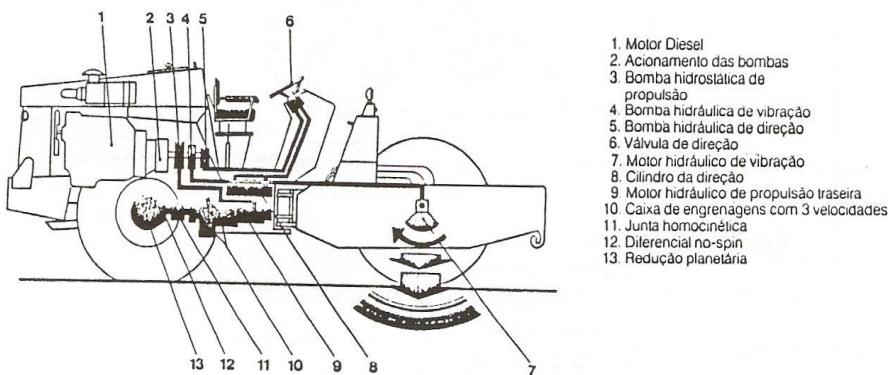
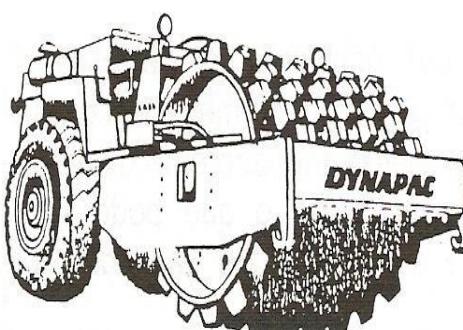


Figura 74 – Compactador vibratório com rodas de tração pneumáticas.

A Figura 75 mostra outra modalidade de equipamento vibratório, no caso com rolo pé de carneiro.



CA35PD - 15.3 tons.

Comprimento total	5.635 mm
Largura total	2.560 mm
Largura de compact.	2.140 mm
Amplitude	1,7 mm
Imp. dinâmico total	37.150 kg
Motor (diesel)	MB-OM 352A 145 HP (107 kW) a 2.400 rpm

Figura 75 – Compactador vibratório com rolo pé de carneiro.

g) Velocidades de trabalho recomendadas

São recomendadas as seguintes velocidades:

- Rolos vibratórios..... 1,5 a 2,5 km/h;
- Rolos pés de carneiro 5,0 a 6,0 km/h;
- Rolos de pneus 7,0 a 8,0 km/h.

As velocidades foram extraídas de publicações de fabricantes de equipamentos com base em recomendações do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América. Empreiteiros de obras utilizam outros valores, um pouco mais elevados valendo-se de resultados obtidos através de pistas experimentais.

8.6. PRODUÇÃO HORÁRIA DE ROLOS COMPACTADORES

A produção horária de rolos compactadores de todos os tipos pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$P_h = \frac{L \cdot V \cdot E \cdot e}{N}$$

Sendo:

- **P_h** = Produção horária, em m³/h;
- **L** = Largura útil de rodagem (largura do rolo – largura de superposição de faixas, em metros);
- **V** = velocidade de deslocamento do rolo, em m/h;
- **E** = Eficiência de trabalho (adota-se E = 0,9);
- **e** = Espessura da camada compactada, em metros;
- **N** = Número de passadas.

Quadro geral de utilização de rolos compactadores:

Tipo de rolo	Peso (t) máximo	Espessura da camada (cm)	Uniformidade adensamento	Número passadas	Materiais a compactar
Aço, tandem	14/16	15	Regular	PE	Granulares, macadame hidráulico, concreto asfáltico
Aço, rodas	20	10	Regular	PE	Igual ao tandem, menos concreto asfáltico
Vibratório liso	30	10	Muito boa	PE	Granulares siltosos, argilosos e arenosos
Pé de Carneiro	20	(*)	Boa	8 a 02	Argilosos e siltosos
Pneus, leve	15	15	Boa	6 a 16	Argilosos, misturas betuminosas à quente/frio
Pneus, pesado	35/50	50	Muito boa	6 a 16	Todos, menos os pavimentos asfálticos

(*) – A espessura é igual a 1,25 da altura da pata. PE = Pista experimental

8.7. NÚMERO DE PASSADAS EM PISTA TESTE

É muito pequena a parcela do custo de compactação, em relação ao custo total de uma rodovia ou de uma barragem, porém se a mesma for mal executada, todo o investimento da obra pode ficar comprometido em um intervalo de tempo bem inferior ao previsto.

O manejo correto dos equipamentos, a escolha e o acompanhamento dos fatores que afetam a compactação, as medidas corretivas feitas a tempo, permitem a obtenção de um adensamento adequado e de boa qualidade.

Dentre os fatores explanados o que pode ser considerado como de maior relevância, corresponde ao número de passadas que deve ser obtido de modo experimental.

A respeito da pista experimental, informações detalhadas encontram-se no texto do livro: "Equipamentos de construção" de autoria do Eng. Antônio Lopes Pereira, citado na bibliografia que indica de uma forma geral, as seguintes condições para construção de uma pista experimental:

- 1) A camada do solo suporte deve ser superior em grau de compactação ao solo a ser compactado;
- 2) Deve ser conhecida a densidade seca máxima e a umidade ótima obtida no laboratório;
- 3) Deve ser escolhida a espessura da camada (do material, inicialmente, solto) e compactada essa camada em função do equipamento escolhido e do tipo do espalhador;
- 4) O solo deve ser irrigado para se obter o teor de umidade ótima, ou deve-se esperar o tempo necessário para que se obtenha esse teor de umidade através de uma secagem natural;
- 5) Efetuada a compactação parcial da pista, serão retirados da camada compactada (após determinado número de passadas), corpos de prova, para a medição da densidade;
- 6) Com os resultados das densidades, obtidos em várias passadas, pode ser construído o gráfico "densidade x número de passadas" e dessa forma determinado o "número ideal de passadas", correspondente ao material em estudo.

Exemplo de aplicação:

Quer-se atingir em uma estrada, um grau de compactação de 97%, para um material que alcançou a densidade de $2,28 \text{ kgf/dm}^3$, no Ensaio Proctor Normal.

Na pista experimental serão retirados corpos de prova e determinadas as densidades a cada quatro passadas.

Determinar o número de passadas para se alcançar o grau de compactação desejado.

Resolução:

O grau de compactação GC de 97% corresponde a uma densidade de:

$$\begin{array}{l}
 100\% - 2,28 \\
 97\% - x
 \end{array}$$

$$x = 2,21 \text{ kgf/dm}^3$$

Densidades obtidas com as passadas do compactador:

- 4 passadas 1,8 kgf/dm³;
- 8 passadas 2,1 kgf/dm³;
- 12 passadas 2,17 kgf/dm³;
- 14 passadas 2,25 kgf/dm³.

Construído o gráfico “densidade x número de passadas”, torna-se fácil determinar o número de passadas para atingir o grau de compactação de 97% que corresponde a 13 passadas. Fig. 76.

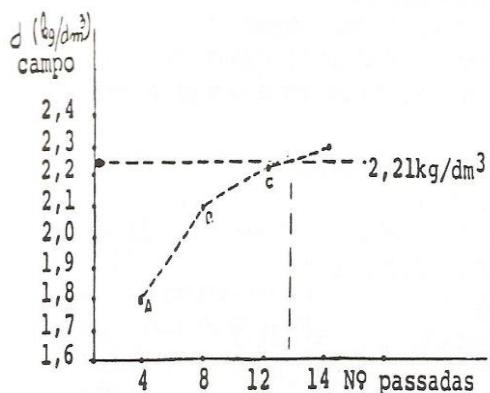


Figura 76 – Gráfico “densidade de campo x número de passadas”.

O sistema utilizado na Suécia, de determinação do número de passadas em pista experimental, utiliza uma pista na forma de rampa (cunha), com a retirada de corpos de prova em vários lugares e a diferentes profundidades. O processo determina o número de passadas ideal para um determinado material do terreno, bem como a espessura que deve ter o material solto para ser obtido um maior grau de compactação.

8.8. CONCRETO COMPACTADO A ROLO

Pode-se dizer que o concreto compactado a rolo, conhecido pela sigla CCR, é um novo tipo de concreto hidráulico.

Difere o concreto usado no processo CCR, do concreto dito convencional, porque utiliza uma menor quantidade de cimento (superior a 50 kgf/m³ e inferior a 200 kgf/m³) e pouca quantidade de água de amassamento que fica reduzida a um mínimo tal que o “*slump test*” é igual a zero.

Por usar uma quantidade muito pequena de água diz-se que o CCR é um concreto aplicado a seco.

É utilizado o CCR em barragens e pretende-se que o mesmo seja muito impermeável e para que isso ocorra, utiliza-se o agregado com bastante agregado fino, constituído por siltes e pó de pedra.

Em barragens o CCR tem sido denominado de concreto pasta, pois com o cimento acrescido de 50 a 150 kgf/m³ de finos (como o pó de pedra) o concreto tem aumentada a sua densidade, alcançando valores da ordem de 2,55 kgf/dm³.

A compactação do CCR se faz com rolos compactadores vibratórios empregando-se elevada energia de compactação, em camadas da ordem de 40 cm de material solto.

Se forem usadas camadas com espessuras maiores que 60 cm, poderá ocorrer a segregação do agregado graúdo.

Nas bordas das barragens, são usadas as placas vibratórias face a necessárias medidas de segurança e para evitar danos às formas, causados pelos equipamentos de maior porte.

8.9. ESTUDO DE UMA COMPACTAÇÃO

Uma pequena barragem será construída com material argiloso e possui as características seguintes: comprimento 280 metros; largura da plataforma 12 metros; largura da base 18 metros e altura de 3 metros. Para a sua execução, poderão ser empregados 13 caminhões basculantes, com caçamba de 6 metros cúbicos, alimentados por uma pá carregadeira de esteiras, com caçamba de 1,90 m³.

O material descarregado pelos caminhões será espalhado em camadas de 20 centímetros, com o emprego de uma motoniveladora.

Quer-se conhecer o custo de compactação, em relação ao custo total da obra, sabendo-se que será empregado um compactador pé de carneiro rebocado por um trator de pneus.

Características do rolo pé de carneiro:

- Altura da pata: 16,0 cm;
- Largura total do rolo: 1,95 m;
- Velocidade de trabalho: 5,0 km/h.

Custos horários:

- Caminhão basculante: . R\$ 23,18;
- Pá carregadeira: R\$ 114,34;
- Motoniveladora: R\$ 64,32;
- Trator agrícola: R\$ 19,74;
- Rolo pé de carneiro: R\$ 4,05.

Dados complementares:

- Horas de trabalho, previstas para a pá carregadeira, motoniveladora e caminhões basculantes: $H_t = 154$ horas.
- Eficiência de trabalho do rolo pé de carneiro e trator: $E = 0,9$;

- Número de passadas do rolo: $N = 18$;
- Espessura da camada de argila solta: $h = 0,20 \text{ m}$;
- Coeficiente de compactação da argila: $c = 0,9$;
- Empolamento da argila: $e = 25\%$;
- Largura de sobreposição de faixas de compactação: $s = 0,30 \text{ m}$.

Resolução:

- 1) Custo do serviço de transporte e espalhamento do material:

Equipamento	nº ud.	H _t	Custo Unit.	Total parcial
Caminhão basculante	13	154	23,18	R\$ 46 406,36
Pá carregadeira	1	154	114,34	R\$ 17 608,36
Motoniveladora	1	154	64,32	R\$ 9 905,36
Total				R\$ 73 920,00

- 2) Determinação do custo de compactação:

A camada de argila solta tem a espessura de 0,20 m, não sendo conhecida a espessura da camada após a compactação.

$$m = \delta_c \cdot V_c; \quad m = \delta_s \cdot V_s; \quad \delta_c \cdot V_c = \delta_s \cdot V_s;$$

Porém, não foram fornecidas as densidades e sim relações de volume ou sejam: e (empolamento) e c (coeficiente de compactação). Assim, a argila solta, tem um aumento de volume de 25% e o seu volume compactado sofre uma redução de 10%, em relação à mesma massa na jazida.

Relacionando-se o volume solto com o volume compactado na forma de cubos de arestas a_s e a_c , respectivamente e considerando-se que a compactação em campo ocorre, unidirecionalmente, na dimensão vertical, teremos:

$$V_s = a_s \times a_s \times a_s \times a_s = a_s^3 \quad \text{e} \quad V_c = a_s \times a_s \times a_c = a_s^2 \times a_c;$$

Em vista do exposto, podemos estabelecer as seguintes relações de volumes, sendo:

- V_n = volume na jazida;
- V_s = volume solto;
- V_c = volume compactado.

$$\text{Como: } V_n = V_s / 1,25 \text{ e } V_n = V_c / 0,90; \quad V_s / 1,25 = V_c / 0,90;$$

$$V_c = (0,90 \times V_s) / 1,25; \quad a_s^2 \times a_c = (0,90 \times a_s^3) / 1,25;$$

$$a_c = (0,90 \times a_s^3) / 1,25 \times a_s^2; \quad a_c = (0,90 \times a_s) / 1,25 = 0,72 \times a_s.$$

2.1) Determinação da altura da camada a ser compactada:

- a_c = altura da camada compactada;
- a_s = altura da camada solta;

$$a_c = 0,72 \cdot a_s = 0,72 \times 0,20 = 0,144 \text{ m};$$

2.2) Número de camadas a compactar:

$$N_{\text{camadas}} = h_{\text{barragem}} / a_c = 3,0 \text{ m} / 0,144 \text{ m} = 20,83 \text{ camadas};$$

$N_{\text{camadas}} \approx 21 \text{ camadas.}$

2.3) Área a compactar:

Pode-se utilizar a área média e obter, a partir dela, a área total:

$$\text{Área média} = [(12 + 18) / 2] \times 280 = 4\,200,0 \text{ m}^2;$$

$$\text{Área total} = 4\,200,0 \times 21 = 88\,200,0 \text{ m}^2.$$

2.4) Produção horária do compactador:

$$P_h = (L \cdot V \cdot E \cdot h) / N$$

Sendo:

- L = Largura do rolo, menos a largura de transpasse (sobreposição de faixas de compactação);
- V = Velocidade do rolo, em m/h;
- E = Eficiência (adotar, $E = 0,9$);
- h = Espessura final da camada, em metros;
- N = Número de passadas.

No caso em estudo, como se obteve a área a compactar, pode-se prescindir do valor da espessura da camada, obtendo-se, assim, P_h , em m^2/h :

$$P_h = [(1,95 - 0,30) \times 5\,000,0 \times 0,9] / 18 = 412,5 \text{ m}^2/\text{h}.$$

2.5) Cálculo do número de horas de compactação(T_{compac}):

$$T_{\text{compac}} = A_{\text{total}} / P_h = 88\,200,0 \text{ m}^2 / 412,5 \text{ m}^2/\text{h} = 213,82 \text{ h};$$

$T_{\text{compac}} \approx 214 \text{ horas.}$

Está definido que os caminhões basculantes, pá carregadeira e a motoniveladora necessitam de 154 horas de trabalho para o espalhamento e regularização do material ou:

$$T_{\text{esp-reg}} = 154 \text{ h} / 8 \text{ horas/dia} = 19,25 \text{ dias de 8 horas trabalhadas.}$$

Como os equipamentos devem trabalhar em conjunto, o rolo deverá trabalhar um maior número de horas ao dia, por duas razões:

1. Por ser o último equipamento a trabalhar no terreno;

2. Por ter um elevado número de passadas a realizar, por camada compactada.

2.6) Ajustamento das horas de trabalho do rolo compactador:

Diferença de horas a trabalhar:

$$\Delta ht = T_{compac} - T_{esp-reg} = 213,82 / 154 = 60,82 \text{ horas}$$

Horas a acrescentar na jornada do rolo:

$$\Delta hr = \Delta ht / 19,25 \text{ dias da equipe} = 60,82 / 19,25 = 3,16 \text{ horas/dia.}$$

Assim, a jornada de trabalho do rolo deverá ser de:

$$J_{rolo} = 8h/\text{dia} + 3,16 h/\text{dia} = 11,16 h/\text{dia} \approx 11 h 12 \text{ min /dia.}$$

2.7) Custo da compactação:

Equipamento	nº unid.	H _t	Custo Unit.	Total parcial
Trator agrícola	1	213,82	19,74	R\$ 4 148,10
Rolo compactador	1	213,82	4,05	R\$ 865,97
Total				R\$ 5 014,07

2.8) Custo da compactação, em relação ao custo total:

$$C\% = [C_{compac} / (C_{esp-reg} + C_{compac})] \times 100$$

$$C\% = [5 014,07 / (73 920,0 + 5 014,07)] \times 100 = 6,35\%$$

Conclusão:

O custo de compactação representa apenas 6,35% do custo total da obra.

9.0. EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE

9.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os equipamentos tratados neste capítulo destinam-se ao transporte de materiais no sentido horizontal, não sendo abordados aqueles destinados ao transporte em outros sentidos como o inclinado e o vertical (gruas, guindastes, esteiras rolantes, elevadores, etc.).

Desde os tempos primitivos, o ser humano teve a necessidade de mover materiais, com os mais diferentes objetivos, dentre os quais podem ser citados: construção de abrigo, desobstrução de caminhos, acumulação e ou esgotamento de água, construção de paliçadas, armazenamento de alimentos, etc.

Para alcançar melhores resultados no movimento de materiais, com menor desgaste físico, utilizou ferramentas, como a alavanca, cordas de fibras naturais, cestas vasilhas, padiolas e outras.

Pode ser feita uma breve reflexão sobre esses meios auxiliares de movimentação de materiais.

A alavanca pode ser considerada como uma ferramenta que multiplica a força nela aplicada. Tome-se com exemplo uma alavanca com 2,00 metros de comprimento que tenha um braço de aplicação de força com 1,90 m de comprimento e entre o ponto de apoio e o ponto de resistência (ou de aplicação) 0,10 m. Caso fosse aplicada uma força de 80,0 kgf (peso de um homem médio) a força resultante seria $(80,0 \times 1,90) / 0,10 = 1\ 520,0$ kgf, ou seja, 19 vezes maior.

Um carrinho de mão (Fig. 77), poupa o operário braçal de um esforço exagerado, por exemplo, no levantamento e transporte de uma massa de 100 kg (correspondente a dois sacos de cimento).

Considerando-se no carrinho que o braço da potência tenha 3 unidades de comprimento e o braço de resistência 1 unidade (como, geralmente, ocorre com esses equipamentos) tem-se um esforço de levantamento dos dois sacos de cimento, como sendo: $(100 \times 1) = f \times 3$ ou $f = (100 \times 1) / 3 = 33,3$ kgf

No transporte horizontal com carrinho de mão, considerando-se o uso de uma roda pneumática em uma superfície dura e plana, pode ser estimado um fator de resistência ao rolamento de 20% ou seja, de 20 kgf.

No total o operário era exercer uma força de 33,3 kgf para levantar o carrinho e mais 20kgf para movimentar, no sentido horizontal, essa carga de 100 kg. Sem o uso do carrinho de mão, dificilmente, o operário poderia deslocar essa carga, individualmente.

O esforço físico reduziu-se em 50% nessa tarefa, de forma aproximada, não se considerando no cálculo, o peso do carrinho.

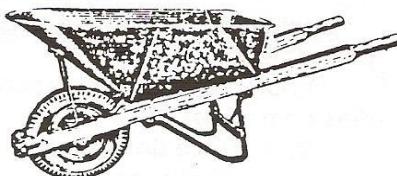


Figura 77 – Carrinho de mão

Outras formas de modificar e ou aumentar a força aplicada podem ser obtidas com o emprego de cordas e roldanas. Com uma única roldana, consegue-se apenas a mudança de direção de uma força.

Com duas roldanas, é reduzido pela metade o esforço aplicado e com mais roldanas ficam ainda menores os esforços aplicados para uma mesma carga.

Para ser deslocado um bloco de pedra de forma cúbica, com massa de 5,0 toneladas, sobre uma superfície plana e lisa, por um grupo de operários com peso médio de 80 kgf e considerando que esse peso seja transformado em uma força horizontal, será necessário, estimando-se o coeficiente de atrito igual a 1,0 ($5\ 000,0 / 80$) = 63 indivíduos.

Se o bloco de pedra for deslocado sobre rolos, haverá uma redução de esforço de 80% e o deslocamento exigirá o emprego de 13 operários.

Observe-se que nos exemplos apresentados foram somente, considerados os esforços efetuados, não sendo considerados os deslocamentos relativos.

9.2. CLASSIFICAÇÃO

Uma classificação segundo o procedimento empregado, permite dizer que o transporte horizontal pode ser feito através de um meio manual ou mecanizado.

Meio manual:

Pode ser subdividido em função da ferramenta ou dispositivo empregado, conforme segue:

- Alavanca – para mover blocos, toras de madeira;
- Barras – para mover postes, vigas de madeira e metálicas;
- Rolos – para movimentação de blocos, máquinas;
- Padiolas – para transporte de pedras, sacarias, caixas;
- Carrinhos de mão – para uso geral;
- Galeotas – para cargas como materiais argilosos ou granulares;
- Vagonetes – para materiais de escavação em tuneis e galerias.

Meio mecanizado:

- a) Caminhões comuns
 - carroceria fixa;
 - basculantes.
- b) Caminhões especiais
 - fora de estrada;
 - tanques de água (pipa);
 - distribuidores de asfalto;
 - multicaçambas;
 - transporte de cimento à granel;
 - betoneira;
 - pranchas ou carretas.

9.3. CAMINHÕES COMUNS

Os caminhões comuns têm a permissão de trafegar nas rodovias, estradas e ruas urbanas.

Estão, no entanto, sujeitos a determinadas restrições com respeito às suas dimensões, como comprimento, largura e altura e a respeito da carga transmitida ao solo, são maiores ainda, as exigências. Em casos especiais e com autorização especial de trânsito (AET) expedida pelo DNIT e Departamentos de Estradas de Rodagem estaduais, os limites legais podem ser ultrapassados, sob determinadas condições.

Todos os países têm suas leis de trânsito visando a manter uma disciplina de trânsito, a segurança viária e evitar a destruição precoce dos pavimentos com o tráfego de veículos excessivamente pesados.

No Brasil, o conjunto de normas que fixam os valores e medidas máximas tem denominação popular de Lei da Balança, regulamentada pelo Conselho Nacional do Trânsito – CONTRAN e oficializada pelo Decreto Lei nº 98.933, de 7 de fevereiro de 1990.

A seguir, nas figuras de 78 a 90, estão reproduzidos os desenhos da legislação brasileira que por si só, esclarecem quais são as dimensões máximas, os pesos brutos limites em cada eixo que podem ser transmitidos pelas rodas, ao pavimento.

Fig. 78

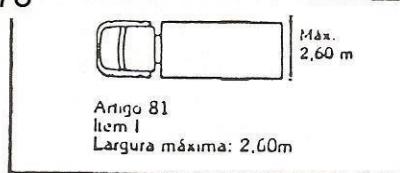


Fig. 79



Fig. 80

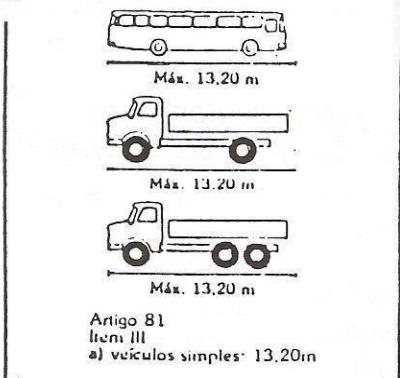


Fig. 81

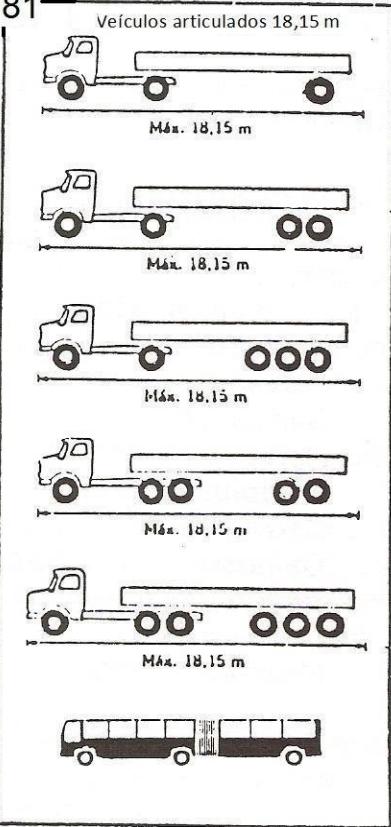
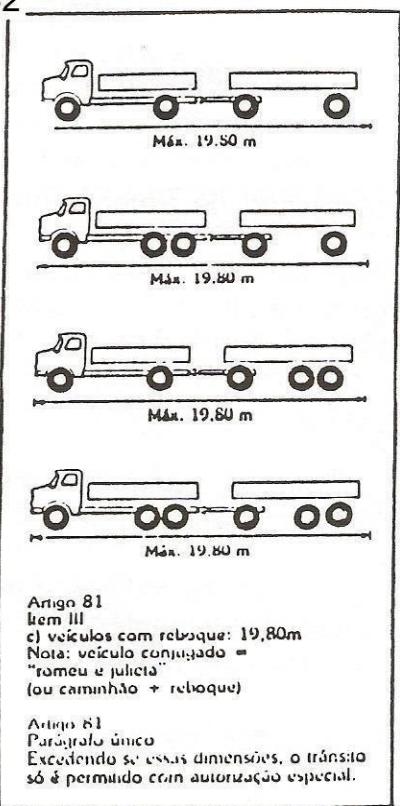
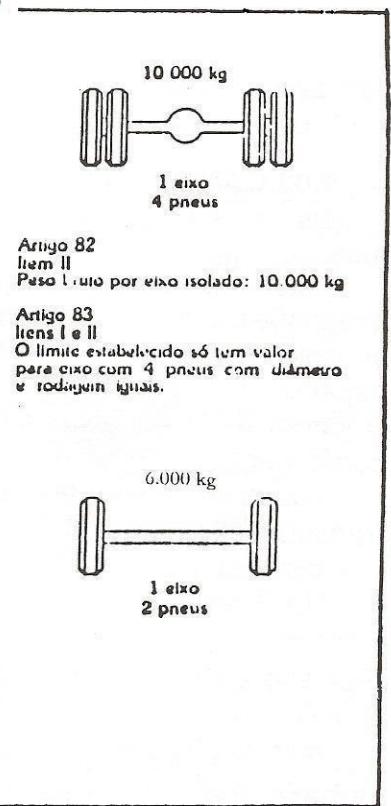


Fig. 82



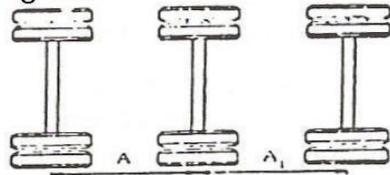
Peso máximo por eixo isolado

Fig. 83



Peso máximo para conjunto de três eixos em tandem.

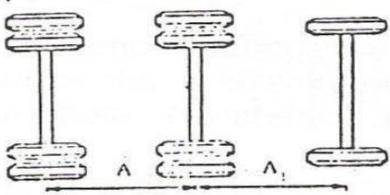
Fig. 84



3 eixos em tandem 12 pneus
 (A) 1,20 m-2,40 m 17 t os dois primeiros
 (A₁) 1,20 m-2,40 m 17 t os dois últimos
 25,5 t os três

Observação muito importante:

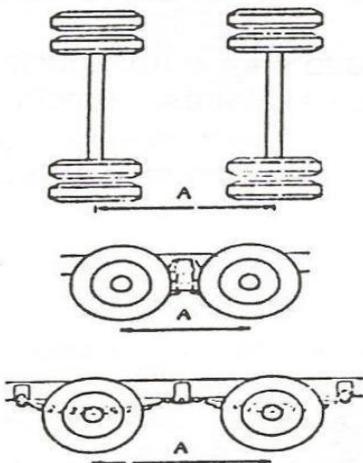
Os conjuntos de 3 eixos com 4 pneus em cada eixo não recebem emparo no texto legal, porém seu uso, pelo que se observa, foi incentivado e aceito pelo DINER, pois nos folhetos elucidativos sobre os pesos máximos permitidos editados por aquela autoridade constam como legais, podendo transportar 25,5 t (somente para semireboque).



3 eixos em tandem 10 pneus
 Resolução n.º 127 do Geimot
 (A) 1,20 m-2,40 m 17 000 kg
 (A₁) 1,20 m-2,40 m 6 000 kg

Peso máximo para conjunto de eixos em tandem

Fig. 86



2 eixos traseiros em tandem 8 pneus

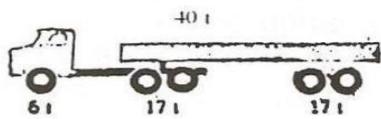
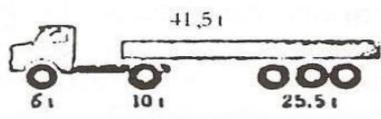
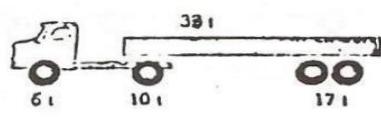
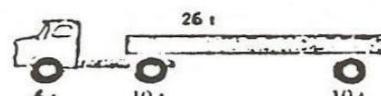
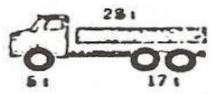
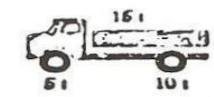
Artigo 82
 Item III
 Medida A Para o conjunto

1,20 m-2,40 m 17 000 kg
 Acima de 2,40 m 20 000 kg

Artigo 83
 Item II
 Os pneus devem ser de rodagem igual e com aros de diâmetro igual.

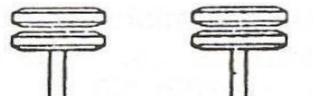
Exemplos de pesos máximos por unidade

Fig. 85



Peso máximo para conjunto de eixos não em tandem

Fig. 87



2 eixos traseiros não-tandem 8 pneus

Artigo 82
 Item IV
 Medida A Para o conjunto

1,20 m-2,40 m 15 000 kg
 Acima de 2,40 m 20 000 kg

Artigo 83
 Item II
 Os pneus de rodagem igual com aros de diâmetro igual

Fig. 88

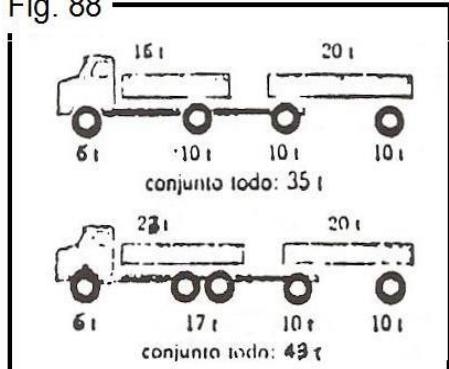


Fig. 90

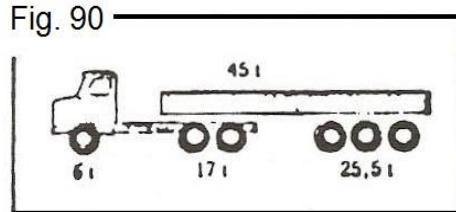


Fig. 89



Artigo 79

Nenhum veículo ou combinação de veículos poderá transitar com peso bruto total superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração da unidade tratora. Com base no artigo 79 a portaria de 10/04/89 do IMETRO estabeleceu os seguintes limites mínimos de peso/potência:

veículos de transporte de carga	5,71 cv/t;
ônibus urbano comum	5,71 cv/t;
ônibus urbano tipo II	12,24 cv/t;
ônibus rodoviário	10,06 cv/t.

Quando há necessidade de ser transportada uma carga com dimensões superiores às estabelecidas no código de trânsito, o veículo transportador deve ser acompanhado por veículos de apoio (batedores), além de ser necessária Autorização Especial de Trânsito, a AET.

O mesmo ocorre quando é movimentada uma carga com peso superior ao limite, carga que exigirá uma carreta especial com elevado número de rodas, isto com vistas à segurança do pavimento e obras de arte (pontes e viadutos).

a) Caminhões comuns de carroceria fixa:

São caminhões convencionais, de chassis longo aos quais foi adaptada uma plataforma de madeira de lei, dotada de tampas móveis (grades) de madeira, ou metálicas, nas laterais e na traseira. Essas tampas, durante o transporte, ficam engatadas entre si.

Esses caminhões têm seu uso indicado para transporte de carga geral, como sacos de aglomerantes, tubos de concreto, tijolos, tabus, pranchas e outros materiais de construção. Fig. 91.

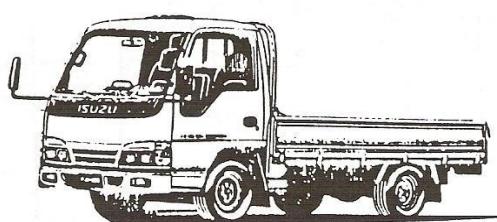


Figura 91 – Caminhão comum de carroceria fixa.

b) Caminhões basculantes:

Os caminhões basculantes se diferenciam dos caminhões comuns devido à necessidade que têm de possuírem um chassi mais curto, mais reforçado e de possuírem uma tomada de força acoplada ao sistema de transmissão a qual é acionada da própria cabine.

A tomada de força irá movimentar uma bomba de óleo que acionará os êmbolos hidráulicos do sistema de levantamento da caçamba.

Os caminhões basculantes podem ser classificados em dois grupos:

- 1) Basculantes para pedras;
- 2) Basculantes para britas, areias e argilas.

Os basculantes para pedras têm uma caçamba metálica feita com chapas grossas, bem como, chapas perfiladas de reforço, não possuindo tampa traseira. A existência de uma tampa traseira seria imprópria, pois o impacto das pedras, no ato da descarga, danificá-la-ia. Fig.92.

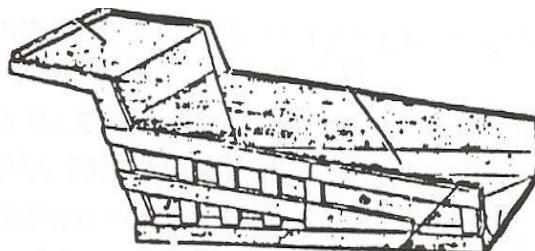


Figura 92 – Caçamba para basculante de pedras

Os basculantes para materiais granulares e argilas, possuem uma tampa traseira de abertura e fechamento automático. Fig. 93.

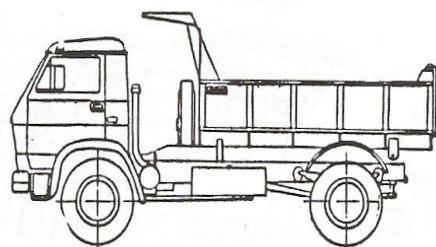


Figura 93 – Caminhão basculante com caçamba para materiais granulares e argila.

As caçambas possuem nas suas bordas superiores a laterais, encaixes para colocação de tábuas de madeira com espessura em torno de 5,0 cm (2").

Essas tábuas são denominadas de sobrelaterais de madeira e têm duas funções:

- a) Receber e absorver os impactos produzidos pela caçamba das unidades de carregamento (se houver);
- b) Proporcionar um aumento da capacidade volumétrica do próprio caminhão, quando se trabalhar com materiais de menor densidade.

Outra característica que devem ter as caçambas é de possuírem os seus cantos internos arredondados, como mostra a Figura 94, pois com essa configuração é evitado o acúmulo de material argiloso úmido, no seu interior. O material assim acumulado reduziria a capacidade de transporte e provocaria, com o tempo, corrosão metálica.

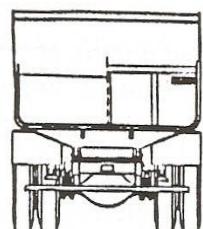


Figura 94 – Caçamba com cantos inferiores arredondados (aberta/fechada).

Outra parte imprescindível da caçamba é o protetor de cabine, necessário quando o carregamento é feito por pás carregadeiras ou pás mecânicas que têm pelas suas características, dificuldade para o direcionamento do material durante o despejo sobre o caminhão. Sendo assim, esse protetor é fundamental para garantir a segurança do operador do caminhão que permanece no interior da cabine.

Os sistemas hidráulicos usados nos caminhões basculantes podem ser de dois tipos: de alta pressão ou de baixa pressão.

Os conjuntos de alta pressão, de um modo geral, são mais leves que seus congêneres de baixa pressão, para uma mesma carga de operação, porém são mais sujeitos a vazamentos de óleo em suas buchas, caso as hastes dos êmbolos tenham sido riscadas pelo uso.

b.1) Caminhões basculantes fora de estrada:

Têm essa denominação devido ao fato de não necessitarem de estradas para o seu deslocamento, pois possuem rodas de grande diâmetro, largas e pneus de baixa pressão que oferecem maior área de distribuição das cargas sobre o apoio.

As dimensões desses caminhões são superiores às permitidas para tráfego normal em vias de rodagem. Alguns operam com cargas da ordem de 100,0 toneladas.

Trabalham com velocidades que podem atingir a 60 km/h e em vista da elevada carga que podem transportar, dispõe de freios potentes, acionados a ar comprimido.

A caçamba desses caminhões é do tipo específico para minérios, muito reforçada, tendo em alguns modelos, o fundo em forma de "V", construído assim para baixar o centro de gravidade do conjunto carga-caminhão e reduzir o impacto de rochas, durante o carregamento. Fig. 95.

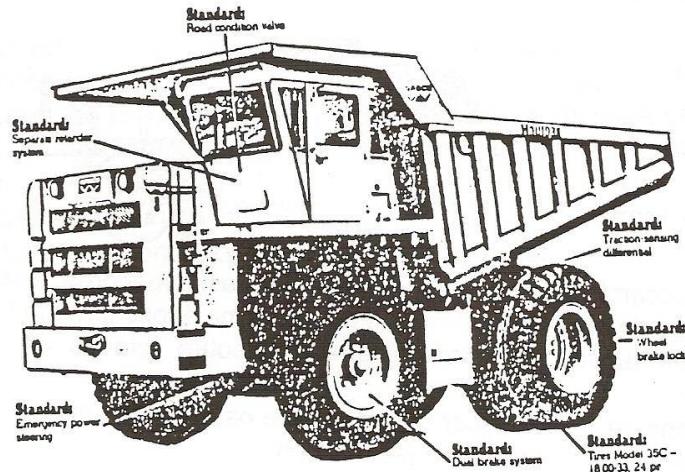


Figura 95 – Caminhão basculante “fora de estrada”.

b.2) Produção horária de caminhões basculantes:

A produção horária dos caminhões basculantes e dos fora de estrada pode ser obtida aplicando-se a expressão geral:

$$P_h = \frac{(60 \cdot C \cdot E \cdot f)}{T}$$

Sendo:

- P_h = Produção horária, em m^3/h ;
- E = Eficiência de trabalho. Deve ser obtida, de preferência, no local de trabalho. (Se desconhecida adotar: $E = 0,70$);
- f = Fator de conversão (Tabela I);
- T = Tempo de ciclo em minutos.

c) Caminhões tanque:

Quando sobre um chassi de um caminhão comum é acoplado um tanque ou reservatório, obtém-se uma unidade que pode transportar materiais líquidos.

Conforme a natureza do líquido, são construídos reservatórios apropriados, com dispositivos de carga, descarga, de segurança e outros.

Classificação dos caminhões tanques:

Material transportado	Denominação
Água	Caminhão cisterna, pipa, irrigador, d'água
Combustíveis	Caminhão tanque de combustível
Asfalto	Caminhão tanque de asfalto, Caminhão espargidor de asfalto

Observação: Será dada, neste item, ênfase aos caminhões irrigadores e espargidores de asfalto (Fig. 96), visto que esses caminhões exigem algumas atenção especiais, em sua aplicação.

Partes principais dos caminhões irrigadores e espargidores de asfalto:

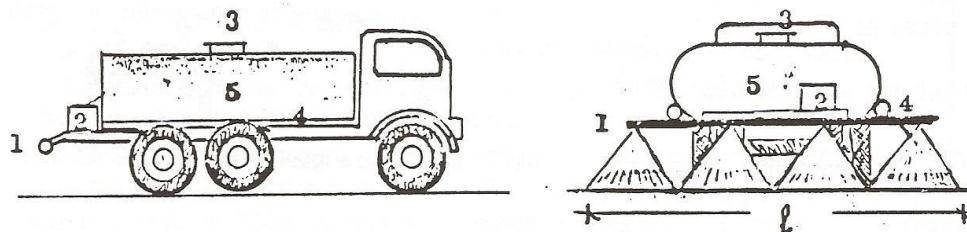


Figura 96 - Caminhão espargidor/irrigador.

- 1) Barra de irrigação (água) e espargimento (asfalto);
- 2) Moto bomba;
- 3) Abertura de inspeção;
- 4) Porta mangotes (água);
- 5) Reservatório.

Características que devem ser consideradas, no estudo do caminhão irrigador de água e espargidor de asfalto:

- a) Peso do conjunto vazio;
 - b) Capacidade do tanque, em litros (C);
 - c) Vazão ou descarga, em litros por minuto (Q_d);
 - d) Vazão de enchimento, em litros por minuto (Q_e);
 - e) Eficiência de trabalho. $E = 0,8$ (para caminhão irrigador);
 - f) Tempo de ciclo:
 - $T = t_e + t_v + t_d$
- Sendo:
- t_e = Tempo de enchimento ($t_e = C / Q_e$);
 - t_v = Tempo variável ($t_v = \sum 0,06 d_n / v_n$) (*);
 - t_d = tempo de descarga ($t_d = C / Q_d$).
- g) Largura de espargimento (ou irrigação), (L);
 - h) Produção horária:
 - $P_h = (60 \cdot C \cdot E) / T$

(*) – Na determinação do tempo variável, são utilizadas as velocidades da Tabela XXI, no deslocamento do caminhão desde a fonte de abastecimento (vazio) e o retorno com a carga.

A velocidade do caminhão na irrigação é o parâmetro que deve ser determinado com a maior precisão, quando se quer obter o grau de umidade ótima de um solo.

Essa velocidade deve ser mantida sob controle e devido a ser muito pequena, é determinada em metros/ minuto.

Se for usada uma velocidade maior que a necessária, não será atendida adequadamente a irrigação, com falta de água e se for inferior, haverá excesso de umidade.

Forma de obtenção da velocidade a ser empregada durante a irrigação:

Para a determinação da velocidade do caminhão irrigador deve ser conhecida, inicialmente a necessidade de água, em litros por metro quadrado, necessária para a obtenção da umidade ótima (h_{ot}).

“H”, é a quantidade de água, em litros por metro quadrado, a ser distribuída sobre uma superfície “S”, em metros quadrados, resultante do espaço (percurso) percorrido pelo caminhão, em metros (“e”), multiplicado pela largura de irrigação (“L”) também em metros e durante um período determinado (“t”), em minutos. Fig. 97.

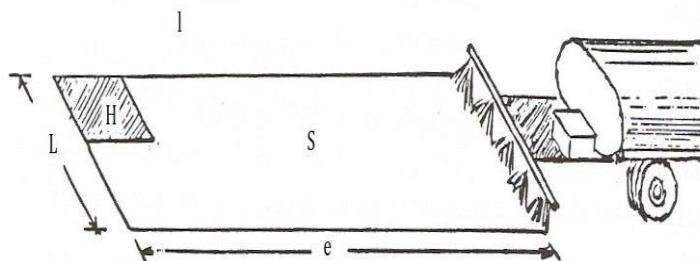


Figura 97 - Figura esquemática para cálculo de irrigação

A igualdade seguinte deve ser atendida:

$$H = (Q_d \cdot t) / S, \text{ onde: } S = e \cdot L$$

Substituindo-se o valor de “S”, obtém-se:

$$H = (Q_d \cdot t) / (e \cdot L)$$

O caminhão desloca-se a uma velocidade “v” ($v = e / t$), o que resulta em ($e = v \cdot t$), onde: “e” é dado em metros, “v” em metros por minuto e “t”, em minutos.

Substituindo-se o valor de “e”, teremos:

$$H = (Q_d \cdot t) / (v \cdot t \cdot L)$$

Simplificando “t”, teremos: $H = Q_d / (v \cdot L)$, que nos leva a:

$$v = Q_d / (H \cdot L)$$

Onde:

- v = velocidade do caminhão irrigador, em metro/minuto;
- Q_d = vazão de descarga, em litros/minuto;
- H = Necessidade de água, em litros/m²;
- L = largura de espargimento, em metros.

Exercício:

Quer-se determinar o volume de água a ser utilizada e a velocidade a ser imposta ao caminhão irrigador para a obtenção da umidade ótima de um revestimento em saibro, de uma pista de um campo de pouso.

Sabe-se que a largura da pista é de 20 metros, seu comprimento é de 800 metros e que o material será compactado mecanicamente, até uma espessura final de 10 centímetros.

Sabe-se também que a umidade do saibro na pista (h_p) é de 4% e que a sua umidade ótima (h_{ot}), obtida no laboratório, correspondeu a 9%.

A espessura do saibro solto espalhado na pista é igual a 15 cm, sua densidade solta corresponde a 1 650 kgf/m³ e compactada a 2 180 kgf/m³.

O caminhão irrigador tem capacidade de 7 500 litros, sua barra de irrigação tem 3,15 m de comprimento e que ele possui vazão de descarga de 500 litros/minuto e de enchimento de 500 litros /minuto.

Resolução:

a) Teor de umidade a adicionar:

$$h_{ad} = h_{ot} - h_p = 9\% - 4\% = 5\%$$

b) Peso do saibro compactado:

$$P_t = \text{volume total} \times \text{densidade compactada} = (0,10 \times 20 \times 800) \times (2,18) = 3\,488 \text{ t}$$

c) Massa de água a adicionar:

$$m = 5\% \text{ de } 3\,488 \text{ t} = 0,05 \times 3\,488 = 174,4 \text{ t}$$

$$V = 174,4 \text{ t} \times 1\,000 \text{ litros/t} = \mathbf{174\,400 \text{ litros}}$$

d) Necessidade de água, por metro quadrado de pista:

$$H = 174\,400 / (20,0 \times 800,0) = 10,9 \text{ litros/m}^2$$

e) Número de viagens do caminhão:

$$N = \text{volume a transportar} / \text{volume do caminhão}$$

$$N = 174\,400 / 7\,500 = 23,25 \text{ viagens} \approx 24 \text{ viagens}$$

f) Velocidade do caminhão irrigador:

$$v = Q_d / (H \cdot L) = 500 / (10,9 \times 3,15) = \mathbf{14,56 \text{ m/minuto}}$$

Observações:

- 1) O caminhão irrigador deverá ter um dispositivo chamado “roda taquimétrica”, roda que é levantada quando o veículo faz manobras ou se desloca de um local para outro. Esse dispositivo aciona um tacômetro no painel, aparelho esse, calibrado em metros por minuto.
- 2) No local da obra, a umidade do terreno deve ser verificada em intervalos regulares de tempo, para corrigir a velocidade do caminhão, se for necessário.

d) Caminhões de espargimento de asfalto:

Os princípios de espargimento de asfalto são semelhantes aos de irrigação de água, como o controle de velocidade do caminhão, o controle da vazão de descarga e outros.

Nesses caminhos de espargimento, uma grande atenção tem que ser dada à velocidade da bomba, de alimentação da barra de irrigação.

Conhecendo-se a largura de espalhamento, a velocidade imposta ao caminhão com a roda taquimétrica e com ábacos fornecidos pelo fabricante do espargidor, é possível a determinação da rotação da bomba, com o que é obtida uma dosagem prescrita.

A massa do material espargido por unidade de área é conseguida com o uso de uma cuba metálica de aferição.

A altura de espargimento também pode ser regulada para melhor ajuste da dosagem.

Outros dispositivos que possuem os caminhões de espargimento de asfalto são os maçaricos, os quais proporcionam o aquecimento que visa manter a temperatura e em consequência, a viscosidade do asfalto no ponto adequado.

e) Caminhões multicaçambas:

Podem ter outra denominação como policaçambas, são assim designadas pelo fato de utilizarem várias caçambas, as quais, uma a uma, podem ser transportadas pelo veículo.

As caçambas depositadas no canteiro de serviço são preenchidas manualmente com auxílio de carrinhos de mão e quando totalmente carregadas é avisado o motorista do caminhão para proceder sua remoção. O caminhão ao buscar a caçamba carregada deposita outra vazia no local, desse modo com o emprego de uma única unidade de transporte, pode ser feito o atendimento de inúmeras caçambas durante o dia.

O implemento colocado no caminhão corresponde a uma armação em forma de "U" invertido que tem um movimento de sua articulação, feita com um mecanismo hidráulico para o levantamento e deposição da caçamba e possibilita essa armação um movimento basculante na descarga, com auxílio de correntes e ganchos.

O uso dessas unidades se faz presente na remoção de detritos sólidos, em obras de construção. Fig.98.

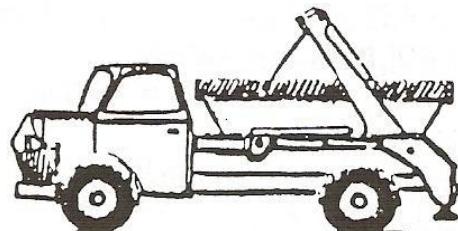


Figura 98 – Caminhão multicaçamba ou policaçamba

f) Caminhões de transporte de cimento à granel:

Nas construções de grandes obras de engenharia (barragens, por exemplo) e quando é muito grande o consumo de cimento, é conveniente o emprego de caminhões que façam o transporte do cimento a granel.

O caminhão transportador possui um tanque metálico que pode ser fechado hermeticamente, sendo preenchido com o cimento em pó, carregado diretamente na fábrica. A descarga do cimento desse caminhão se faz com o auxílio de ar comprimido, sendo levado através de condutos e mangueiras até os silos de depósito.

g) Caminhões betoneira:

Transportam o concreto fresco, manufaturado em centrais, diretamente para a obra.

Com seu emprego não há necessidade de usar uma área no canteiro de serviço, para o armazenamento de aglomerantes e agregados e para o preparo do concreto.

Essas unidades de transporte se parecem com uma betoneira de grande porte, de eixo inclinado, adaptada a um chassi de caminhão.

A rotação lenta que se observa quando essas unidades estão carregadas de cimento, não corresponde ao movimento necessário à mistura do concreto e sim a um movimento dado ao tambor, para evitar que os materiais segreguem. No retorno vazio, esse movimento auxilia a lavagem do tambor.

Dispõe esses caminhões, de um reservatório de água com dispositivo de controle de volume (dosador).

A água é lançada dentro do tambor, na quantidade requerida pelo fator água/cimento (A/C) somente, no local de descarga, quando então se processa a mistura, empregando-se uma rotação mais enérgica.

Associados aos caminhões betoneira estão sendo usados os caminhões com bombas de recalque de concreto que através de tubulações e mangueiras, levam o concreto fresco até o local de concretagem.

A Figura 99 apresenta uma usina de concreto e um caminhão betoneira.

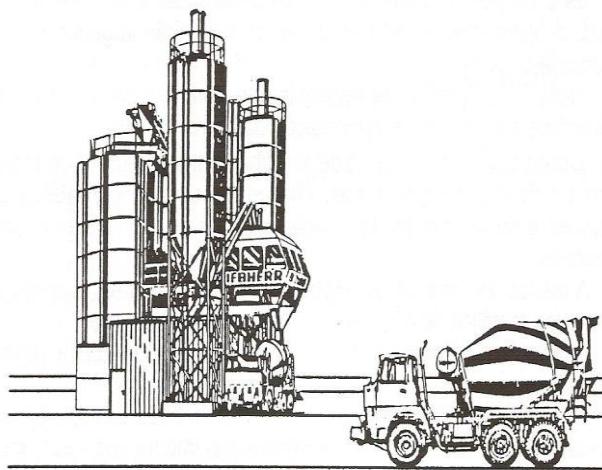


Figura 99 – Usina de concreto e caminhão betoneira

h) Carretas ou pranchas (trailers):

Unidades usadas no transporte de inúmeros equipamentos descritos neste trabalho, como tratores, pás de esteiras, pás mecânicas, rolos compactadores, britadores e outros.

O conjunto de um cavalo mecânico associado a uma prancha ou carreta, caracteriza esse tipo de equipamento.

Podem ser de pequeno porte e de grande porte. As de grande porte podem dispor de dezenas de eixos com até centenas de rodas.

No transporte de grandes cargas ou de cargas com dimensões superiores às fixadas pela legislação pertinente, necessitam de licença especial das autoridades competentes.

A Figura 100 mostra uma prancha com 16 rodas em seus eixos traseiros.

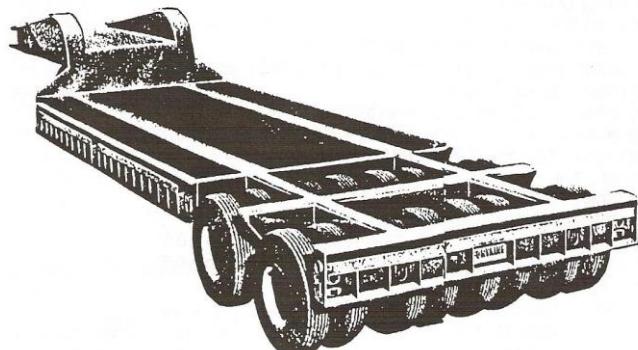


Figura 100 – Carreta ou prancha rodoviária de 16 rodas.

10.0 CONCLUSÃO

Nos exemplos e explanações apresentadas, procurou-se mostrar que conhecida a produção horária e o custo horário de um equipamento ou grupo de equipamentos, é possível prever o tempo de execução e orçar uma obra de engenharia mecanizada.

A obra será bem executada se tiver um projeto técnico correto, se forem utilizados materiais de boa qualidade, se empregados equipamentos adequados, operados por indivíduos capacitados e treinados, tendo todos os serviços presente e competente supervisão técnica de um Engenheiro Civil.

II. ANEXOS

II.1. FATORES DE CONVERSÃO

Foram utilizados fatores de conversão com aproximação de três casas decimais, para as unidades a seguir:

1 kW	1,3596 cv
1 HP	1,0139 cv
1 cv	0,9863 HP
1 polegada	2,54 m
1 pé	30,480 cm
1 jarda	91,440 m
1 jarda cúbica	0,764 m ³
1 galão (americano)	3,785 litros
1 libra	0,4536 kg
1 cv (elétrico)	0,746 kW
1 cv (métrico)	0,735499 kW
1 libra por polegada quadrada (psi)	0,0703069 kgf/cm ²

II.2. PROGRAMAS

a) Produção horária de um trator com lâmina frontal (Utilizar Q Basic)

```
10CLS
20PRINT "NOME DO PROGRAMA PROD-TR"
30PRINT "PRODUÇÃO HORÁRIA DE TRATORES"
40PRINT "INDIQUE EM METROS"
50PRINT "A ALTURA DA LÂMINA h"
60INPUT h
70PRINT "INDIQUE O COMPRIMENTO DA LÂMINA d"
80INPUT d
90PRINT "INDIQUE O VALOR DE ETA n"
100PRINT "TERRA COMUM, ARGILA SECA SOLTA ETA n=1,0"
110PRINT "AREIA, CASCALHO, TERRA MOLHADA ETA n=0,8"
120PRINT "ROCHA ESCARIFICADA, DINAMITADA ETA n=0,6"
130INPUT n
140PRINT "COMO SE REALIZA O TRABALHO ?"
150PRINT "INDIQUE O VALOR DE tg α' = j"
160PRINT "TABELA IV"
170PRINT "DECLIVE EM % 0% tg α' = 1,0"
180PRINT "DECLIVE EM % 5% tg α' = 0,9"
190PRINT "DECLIVE EM % 10% tg α' = 0,81"
200PRINT "DECLIVE EM % 15% tg α' = 0,74"
210PRINT "DECLIVE EM % 20% tg α' = 0,66"
220PRINT "DECLIVE EM % 25% tg α' = 0,60"
```

```

230 PRINT "ACLIVE EM % 5% tg α' = 1,10"
240 PRINT "ACLIVE EM % 10% tg α' = 1,22"
250 PRINT "ACLIVE EM % 15% tg α' = 1,35"
260 PRINT "ACLIVE EM % 20% tg α" = 1,50"
270 INPUT j
280 PRINT "CAPACIDADE DE TRANSPORTE DA LÂMINA C EM METROS CUBICOS"
290 C = n*d*(h*h)/2*j)
300 PRINT C
310 PRINT "INDIQUE A EFICIÊNCIA DE TRABALHO DO TRATOR, SE CONHECIDA"
320 PRINT "NÃO CONHECIDA, ADOTE e = 0,8, PARA ESTEIRAS; E = 0,7, PARA RODAS"
330 INPUT E
340 PRINT "PARA OBTER A PRODUÇÃO HORÁRIA CONSIDERANDO"
345 PRINT "UM VOLUME DE MATERIAL SOLTO ADOTE f = 1,0"
350 PRINT "USAR O FATOR f DA TABELA I, PARA OBTER O VOLUME DE MATERIAL"
355 PRINT "REFERIDO AO SEU ESTADO NATURAL (JAZIDA)"
360 PRINT "TABELA I"
370 PRINT "ARGILA NATURAL..... f = 0,82"
380 PRINT "ARGILA SECA OU MOLHADA..... f = 0,80"
390 PRINT "TERRA SECA OU ÚMIDA ..... f = 0,79"
400 PRINT "ARENITO..... f = 0,59"
410 PRINT "AREIA SECA OU MOLHADA..... f = 0,88"
420 PRINT "PEDRA BRITADA ..... f = 0,60"
430 PRINT "TERRA ÚMIDA 50% ROCHA 50% ..... f = 0,75"
440 PRINT "PEDRAS SOLTAS ATÉ 20% ..... f = 0,50"
450 INPUT f
460 PRINT "INFORME O TEMPO FIXO, SE CONHECIDO m"
465 PRINT "SE NÃO CONHECIDO"
470 PRINT "CONSIDERAR SE O TRATOR SE DESLOCA À FRENT E RÉ COM A MESMA"
475 PRINT "MARCHA, O TEMPO FIXO m = 2 X 0,2 = 0,40 MIN"
480 PRINT "SE FRENT E RÉ EM MARCHAS DIFERENTES m = 2 X 0,2 = 0,40 MIN"
485 INPUT m
490 PRINT "INFORME A DISTÂNCIA DE TRANSPORTE, EM METROS dt"
500 INPUT dt
510 "INFORME A VELOCIDADE COM CARGA, NA IDA, EM km/h i"
520 INPUT i
530 PRINT "INFORME A VELOCIDADE NO RETORNO, A RÉ, SEM CARGA, EM km/h r"
540 INPUT r
550 T = m + (0,06*dt)/i +(0,06*dt)/r
560 PRINT T
570 PRINT "TEMPO DE CICLO EM MINUTOS"
580 PRINT "PRODUÇÃO HORÁRIA DO TRATOR, EM METROS CÚBICOS POR HORA"
590 P = (60/T)*C*E*f

```

```
600 PRINT P
610 END
```

b) Produção horária de um caminhão basculante

```
10 CLS
20 PRINT "NOME DO PROGRAMA PROD-CB"
30 PRINT "PRODUÇÃO HORÁRIA DE CAMINHÕES BASCULANTES"
40 PRINT "INDIQUE, EM METROS CÚBICOS"
50 PRINT "VOLUME COROADO DA CAÇAMBA DO CAMINHÃO BASCULANTE =
C"
60 INPUT C
70 PRINT "TEMPO DE PARADA, DESCARGA E PARTIDA A, EM MINUTOS"
80 PRINT "PARA CB DE 4 METROS CÚBICOS           A = 0,8"
90 PRINT "PARA CB DE 5 METROS CÚBICOS           A = 1,0"
100 PRINT "PARA CB DE 6 METROS CÚBICOS          A = 1,2"
110 INPUT A
120 PRINT "TEMPO DE CARREGAMENTO, EM MINUTOS"
130 PRINT "IGUAL AO NÚMERO DE CICLOS VEZES O TEMPO DE CICLO DA PÁ
CARREGADEIRA"
140 PRINT "NÚMERO DE CICLOS VEZES 0,32, PARA PÁ DE ESTEIRAS = B"
150 PRINT "NÚMERO DE CICLOS VEZES 0,40, PARA PÁ DE PNEUS    = B"
160 INPUT B
170 PRINT "INFORME DISTÂNCIAS, EM METROS DO CB CARREGADO, NA IDA"
175 PRINT "CASO NÃO PERCORRA O TIPO DE PAVIMENTO, INDIQUE O VALOR
ZERO"
180 PRINT "EM ESTRADA PAVIMENTADA OU ASFALTADA"
190 INPUT D
200 PRINT "EM ESTRADA REVESTIDA COM SAIBRO"
210 INPUT J
220 PRINT "EM ESTRADA DE TERRA OU LEITO NATURAL"
230 INPUT K
240 PRINT "INFORME DISTÂNCIAS, EM METROS NO RETORNO VAZIO"
250 PRINT "EM ESTRADA PAVIMENTADA OU ASFALTADA"
260 INPUT G
270 PRINT "EM ESTRADA REVESTIDA COM SAIBRO"
280 INPUT H
290 PRINT "EM ESTRADA DE TERRA OU LEITO NATURAL"
300 INPUT I
310 PRINT "TEMPO DE CICLO, EM MINUTOS"
320 T = A + B + 0,06*(D/40 + J/35 + K/30 + G/52 + H/45,5 + I/30)
330 PRINT T
340 PRINT "INDIQUE A EFICIÊNCIA DE TRABALHO DO CB"
350 PRINT "SE NÃO CONHECIDA, ADOTE E = 0,8"
360 INPUT E
370 PRINT "PARA OBTER A PRODUÇÃO HORÁRIA COM UM MATERIAL SOLTO
f = 1,0"
380 PRINT "USAR O FATOR f DA TABELA I, PARA OBTER O VOLUME REFERIDO
NA JAZIDA"
390 PRINT "TABELA I"
```

```

400 PRINT "ARGILA NATURAL.....f = 0,82"
410 PRINT "ARGILA SECA OU MOLHADA.....f = 0,80"
420 PRINT "TERRA SECA OU ÚMIDA.....f = 0,79"
430 PRINT "ARENITO.....f = 0,59"
440 PRINT "AREIA SECA OU MOLHADA.....f = 0,88"
450 PRINT "PEDRA BRITADA.....f = 0,60"
460 PRINT "TERRA ÚMIDA 50% ROCHA 50%.....f = 0,75"
470 PRINT "PEDRAS SOLTAS ATÉ 20%.....f = 0,50"
480 INPUT f
490 PRINT "PRODUÇÃO HORÁRIA DO CB, EM METROS CÚBICOS POR HORA"
500 P = (60/T)*C*f
510 PRINT P
520 END

```

III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Caterpillar – Manual de produção Caterpillar; 22^a edição; outubro de 1991;
2. Caterpillar – Princípios básicos de terraplenagem; Edição maio de 1977;
3. Chaves, C. R. – Terraplenagem mecanizada; Editora Rodovia;
4. Euclids – Cálculos para avaliar produção e custos;
5. Guimarães, N. – Equipamentos de construção e conservação; Livro texto; 1992;
6. Heiple, D. K. – Terraplenagem uma arte e uma ciência; Le Torneau – Westinghouse Company;
7. Douschke, A. – Motores de combustão interna de êmbolo; Escola Politécnica da USP;
8. Mobil Oil do Brasil – Lubrificação correta e manutenção preventiva dos motores diesel;
9. Normas Técnicas Brasileiras – ABNT;
10. Texaco do Brasil S. A. – Fundamentos de lubrificação; 1991;
11. Pereira, A. L. – Equipamentos de compactação;
12. Tema Terra Maquinaria S. A. – Equipamentos de compactação – Seleção e Aplicação;
13. Dynapac – Manual de compactação vibratória;

Revisão e digitalização:

Prof. Dr. Camilo Borges Neto, Eng. Civil; Novembro/2018.