

## RESUMO

São considerados os fatores que influem na resistência à tração oferecida pelos arados, para depois serem comparados com as forças trativas exercidas pelos tratores, deduzidas as perdas de potência, devido às condições locais e à redução na força, em função dos fatores de declividade e do coeficiente de rolamento do terreno.

Hã um conjunto de elementos que são variáveis e que influem nos valores finais obtidos, tornando os cálculos muito extensos; contudo, em face do uso das modernas calculadoras ou mesmo de computadores, o cálculo tornou-se mais rápido, permitindo ao técnico a elaboração de tabelas que possibilitam o seu emprego para uma boa programação do uso dos arados.

Obtidos esses valores, são calculadas as potências mínimas dos tratores, em função dos períodos de tempo (horas) para a lavra de diversas extensões de áreas.

## SUMMARY

The factors that exert influence in the resistance to traction offered by the plow are considered so that they might be compared with the tractive forces exerted by tractors, less the loss of power due to local conditions and to reduction in force due to declivity and rolling soil coefficient.

There is a group of variable elements that exert influence in the final values obtained, turning calculations very extensive: nevertheless, in view of the use of modern calculators or even computers, the calculation has become faster, enabling the operator to elaborate tables that allow their use for a correct program for the use of plows.

Once such values are obtained the tractors minimum power are calculated, considering the periods (hours) for the plowing of the various areas.

## INTRODUÇÃO

Para a execução da programação da maquinaria agrícola, há dois aspectos a analisar: um, o agricultor dispõe de conjuntos e deseja conhecer o máximo da capacidade que os equipamentos podem proporcionar; outro, em função da área agrícola existente, saber a capacidade operacional da maquinaria a ser adquirida a fim de programar a sua utilização. Em uma ou outra situação, o período em que as tarefas podem ser executadas é influenciado pelas condições climáticas.

O máximo aproveitamento da capacidade de trabalho da maquinaria, determinado em função da força motora ou trativa disponível e da resistência oferecida

---

(\*) Engenheiro Agrônomo, Professor-Adjunto, Livre Docente do Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



ou esforço requerido pelo equipamento, influenciará no seu custo operacional.

O dimensionamento da maquinaria agrícola estará, também, subordinado aos fatores locais do solo, topografia e área dos terrenos, influenciando diretamente na determinação do quantitativo de força a ser empregado.

Para a determinação das características da maquinaria e da potência necessária à execução dos serviços, vários autores preconizam o emprego de nomogramas ou ábacos, ou mesmo o cálculo manual. O primeiro não apresenta grande precisão nas determinações e o segundo é muito trabalhoso.

Com a utilização de calculadoras programáveis, ou mesmo de computadores, os cálculos se tornaram mais rápidos e permitem uma interação de troca de informações no decurso da operação da programação entre a calculadora e o técnico que deseja proceder à seleção da maquinaria.

O objetivo deste trabalho é o de analisar os fatores que intervêm nos cálculos do dimensionamento da potência do trator e do esforço requerido pela maquinaria. O presente estudo limita-se ao arado, por ser o equipamento que requer maior esforço tratório.

## MÉTODOS

### 1. ESFORÇO RESISTENTE DOS ARADOS

O esforço necessário para o trabalho de um equipamento agrícola é variável. Para um arado, deve ser considerada a largura de corte de cada disco ou aiveca, a profundidade de aradura e o fator de resistência do solo.

A profundidade de trabalho pode variar, dependendo principalmente das condições do terreno, da altura da camada superficial e do grau de umidade. A profundidade está, também, relacionada com o tipo de aradura adotada na região e em função da exploração a ser realizada na área mobilizada.

O fator de resistência do solo, que interfere no esforço requerido pelo arado, é referido em quilogramas por decímetro quadrado ( $\text{kg}/\text{dm}^2$ ) ou em quilogramas por centímetro quadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Este elemento é variável com a constituição física do solo, a sua estrutura, a quantidade de matéria orgânica nele existente, o grau de umidade, o tipo de vegetação e a continuidade de mobilização do terreno.

Há, ainda, dois outros fatores que influem no aumento da resistência do arado: a declividade e as condições de rugosidade do terreno. A velocidade com que o arado é tracionado influi no esforço tratório requerido havendo, portanto, um acréscimo na resistência. Assim, consideramos um percentual sobre a resistência do arado, proporcional à velocidade, fornecendo um novo valor, denominado resistência total do arado, não considerando, deste modo, a influência da declividade da gleba que está sendo utilizada.

No cálculo da margem de segurança com que o trator deve rebocar o arado temos adotado adicionar o percentual à exigência trativa do trator e não à resistência total do arado. Para tal fim, temos empregado a fórmula:

$$MS = \frac{F_{Tr} - R_T}{F_{Tr}} \times 100 \quad (1)$$

em que: MS = Margem de segurança  
 $F_{Tr}$  = Força trativa exercida, em kgf  
 $R_T$  = Resistência total da carga, em kgf.

Adotando a fórmula para a resistência do arado à tração ( $R_A$ ) em kgf, temos:

$$R_A = P \times L \times R_s \quad (2)$$

em que:

$P$  = Profundidade, em decímetros  
 $L$  = Largura de corte do arado, em dm  
 $R_S$  = Fator de resistência do solo à tração (kgf/dm<sup>2</sup>).

O acréscimo devido à velocidade é um percentual de  $R_A$ , em função da velocidade com que o arado é tracionado:

$$A_V = \text{Per} \times R_A \quad (3)$$

onde:

$A_V$  = Acréscimo devido à velocidade, em kgf  
 $\text{Per}$  = Percentual adotado, em centésimos  
 $R_A$  = Resistência do arado, em kgf.

A resistência total ( $R_T$ ) em kgf, é igual à resistência do arado ( $R_A$ ) mais o acréscimo devido à velocidade ( $A_V$ ), donde:

$$R_T = R_A + A_V \quad (4)$$

Substituindo (2) e (3) em (4), temos:

$$R_T = (P \times L \times R_S) + (\text{Per} \times P \times L \times R_S); \text{ ou}$$

$$R_T = (P \times L \times R_S) \times (1 + \text{Per}) \quad (5)$$

Substituindo (5) em (1), temos:

$$F_{TR} = \frac{(P \times L \times R_S) \times (1 + \text{Per})}{1 - \frac{MS}{100}} \quad (6)$$

Portanto, para cada valor das variáveis de profundidade de aradura, largura de corte do arado, fator de resistência do solo, percentual de esforço devido à velocidade e margem de segurança, temos um valor da força trativa que deverá exercer o trator.

## 2. FORÇA DESENVOLVIDA PELOS TRATORES

A potência efetiva ou nominal do motor do trator é influenciada pelas condições de altitude (pressão atmosférica), temperatura e grau de umidade do local onde o trator está realizando os seus trabalhos, resultando num percentual de perda sobre a potência efetiva, portanto:

$$P_L = \text{Pot}_{Ef} - (\text{ATU} \times \text{Pot}_{Ef}) \quad (7)$$

onde:

$P_L$  = Potência efetiva local  
 $\text{Pot}_{Ef}$  = Potência efetiva  
 $\text{ATU}$  = Percentual de perda de potência, em função da altitude, temperatura e grau de umidade

ou:

$$P_L = \text{Pot}_{Ef} \times \frac{100 - \text{ATU}}{100} \quad (8)$$

A potência desenvolvida na barra de tração é um percentual da potência efetiva e a sua relação nos é dada pelo coeficiente de transmissão.

$$n = \frac{\text{Pot}_{BT}}{\text{Pot}_L} \times 100 \quad (9)$$

Portanto:

$$\text{Pot}_{BT} = \text{Pot}_L \times \frac{n}{100} \quad (10)$$



Substituindo (8) em (10), teremos:

$$Pot_{BT} = Pot_{Ef} \times \frac{n (100 - ATU)}{10000} \quad (11)$$

Considerando a perda devido à altitude, temperatura e grau de umidade em 5% e o coeficiente de transmissão de 75%, teremos:

$$Pot_{BT} = 0,7125 \times Pot_{Ef} \quad (12)$$

A potência em cavalo-vapor (CV) nos é dada pela fórmula:

$$Pot_{CV} = \frac{F \times V}{75} \quad (13)$$

Considerando a potência na barra de tração ( $Pot_{BT}$ ), a força desenvolvida será a da barra de tração ( $F_{BT}$ ) e adotando a velocidade ( $V$ ) em quilômetros por hora (kg/h), teremos:

$$Pot_{BT} = \frac{F_{BT} \times V}{270} \quad (14)$$

donde:

$$F_{BT} = \frac{Pot_{BT} \times 270}{V} \quad (15)$$

ou, substituindo (12) em (15):

$$F_{BT} = \frac{0,7125 \times Pot_{Ef} \times 270}{V} = 0,7125 \times Pot_{Ef} \times \frac{270}{V} \quad (16)$$

A força trativa ( $F_{TR}$ ) que o trator desenvolve é a força que ele é capaz de produzir na barra de tração ( $F_{BT}$ ), menos a força necessária ou gasta no seu deslocamento ( $F_R$ ) e a força devido à declividade do terreno ( $F_i$ ).

A força dispendida para o deslocamento é, também, dependente do coeficiente de rolamento, que é variável com o tipo de piso.

$$\text{Assim, temos: } F_{RT} = F_{BT} - (F_R + F_i) \quad (17)$$

Como  $F_R$  e  $F_i$  dependem do peso, vamos adotar valores que relacionem a potência do trator na barra de tração com o seu peso. Para os tratores nacionais, temos adotado a relação de um cavalo-vapor de potência (C.V) na barra de tração, para cada 50 kg de peso.

Para a força devido ao deslocamento do trator, temos:

$$F_R = P_e \times K_R \quad (18)$$

em que:  $F_R$  = Força gasta para deslocamento do trator, devido ao coeficiente de rolamento (kgf)

$P_e$  = Peso, em quilos (kg)

$K_R$  = Coeficiente de rolamento (kgf/kg)

Para a força gasta em função da declividade, temos:

$$F_i = P_e \times \frac{i}{100} \quad (19)$$

Como estamos considerando o peso do trator  $P_e = 50 \times Pot_{BT}$ , temos:

$$F_R = 50 \times Pot_{BT} \times K_R$$

$$\text{e, } F_i = 50 \times Pot_{BT} \times \frac{i}{100} = 0,5 Pot_{BT} \times i$$

$$\text{ou: } F_R + F_i = \text{Pot}_{BT} (50 K_R + 0,5i) \quad (20)$$

Substituindo (16) e (20) em (17), obtemos:

$$F_{TR} = 0,7125 \times \text{Pot}_{Ef} \frac{270}{V} - (50 K_R + 0,5i) \quad (21)$$

Podemos, assim, determinar as forças trativas desenvolvidas em função das variáveis: potência efetiva, velocidade de trabalho, coeficiente de rolamento ( $K_R$ ) e declividade ( $i$ ).

Obtidos esses valores da força atrativa, podemos, então, confrontá-los com os determinados para os arados em (6), levando em conta a mesma velocidade de trabalho.

### 3. CAPACIDADE OPERACIONAL

A capacidade de trabalho das máquinas que se deslocam é igual à área trabalhada, em hectares (ha), ou metros quadrados ( $m^2$ ), em uma unidade de tempo especificada (hora).

Na determinação da capacidade de serviço das máquinas que se deslocam, observamos: 1º) a capacidade calculada; 2º) a capacidade efetiva ou real.

Na capacidade calculada, o serviço é total, como se o conjunto estivesse continuamente em trabalho; enquanto na capacidade efetiva, é considerado que o conjunto (trator + equipamento) gasta certo tempo, além do serviço no campo, em manobras, ajustagens, embuchamentos, reabastecimento etc.

A capacidade calculada é igual à largura utilizada do equipamento ( $L$ ), multiplicada pela velocidade de deslocamento ( $V$ ).

$$\text{Cap}_{Cal} = L \text{ (m)} \times \text{Vel} \text{ (m/h)} \quad (22)$$

Com estes valores, a capacidade calculada é fornecida em  $m^2/h$ .

A relação entre a capacidade de trabalho efetiva e a capacidade calculada é denominada de coeficiente de eficiência de serviço de campo. Esse rendimento é expresso em porcentagem e variável para os diversos equipamentos e com as condições locais de trabalho.

$$Ef = \frac{\text{Cap. Efetiva}}{\text{Cap. Calcul.}} \times 100 \quad (23)$$

onde:  $Ef = \text{Coeficiente de eficiência de serviço de campo (em porcentagem)}$   
 donde:

$$\text{Cap}_{ef} \text{ (ha/h)} = \frac{\text{Cap. Calc.} \times Ef}{100} = \frac{\text{Vel} \times L \times Ef}{1000000} \quad (24)$$

Adotando a velocidade de deslocamento em  $kg/h$ , a largura de corte do arado em decímetros e o coeficiente de eficiência de serviço em porcentagem, a capacidade de trabalho efetiva, em  $ha/h$ , é igual a:

$$\text{Cap}_{ef} \text{ (ha/h)} = \frac{\text{Vel} \text{ (km/h)} \times L \text{ (dm)} \times Ef \text{ (\%)}}{10000} \quad (25)$$

O tempo gasto para a aradura de um (1) hectare (ha) é igual a:

$$T_{h/ha} = \frac{10000}{\text{Vel} \times L \times Ef} \quad (26)$$

Adotando o coeficiente de eficiência, em centésimos, temos:



$$Cap_{tr} = \frac{Vel \times L \times Ef}{100} \quad (27)$$

logo:

$$T_{h/ha} = \frac{100}{Vel \times L \times Ef} \quad (28)$$

Como estamos com os valores de velocidade e de largura do arado já estabelecidos, resta-nos fazer variar os coeficientes de eficiência para a aradura, e teremos os valores da capacidade de trabalho efetiva, bem como os tempos necessários para mobilizar um hectare (h/ha).

#### 4. POTÊNCIA DO TRATOR E ÁREA TRABALHADA

O período (quantidade) de horas que o agricultor tem para mobilização do solo, é um fator importante na seleção do equipamento e vai influir na largura de corte do arado, na velocidade de trabalho e, conseqüentemente, na potência do trator.

Para fins de estudo, dividimos os períodos para a aradura do terreno em: intenso, quando inferior a 120 horas; regular, de 140 a 200 horas; e, extenso, de 220 a 300 horas.

Conhecida a área a ser mobilizada e o tempo disponível para a aradura podemos determinar a capacidade de trabalho que deve ter o conjunto (ha/h) ou o tempo (h) que é necessário para arar um hectare (ha).

#### 5. EXEMPLIFICAÇÃO DO MÉTODO

**A** - Considerando uma área de 80 ha para ser arada e o período de aradura de 200 horas, o tempo para a arar um hectare (ha) será de 2,5 h, ou seja, o conjunto trator + arado deve ter uma capacidade de trabalho de 4000 m<sup>2</sup>/h.

**B** - Seleccionemos uma velocidade de aradura, em função das condições locais de trabalho, bem como um coeficiente de serviço de campo. Com estes valores, podemos estabelecer a largura de trabalho do arado. Adotando a velocidade de 4,5 km/h, com um coeficiente de eficiência de 75%, teremos uma largura de corte do arado de 1,20m, o que pode ser atendido com um arado de 4 discos de 30cm de corte de cada disco.

**C** - Em função das características do solo e da exploração, estabelecemos a profundidade da lavra, o fator de resistência do solo e a margem de segurança, que nos fornecerão a força trativa necessária para o arado (fórmula 6).

Consideremos a profundidade de 20cm (2 dm); o fator de resistência do solo de 50 kgf/dm<sup>2</sup>; e a margem de segurança de 10%, e obteremos a força trativa de 1533 kgf.

**D** - De acordo com a topografia do terreno, o tipo de piso (coeficiente de resistência ao rolamento), determinamos a potência efetiva que deve possuir o trator (fórmula 23).

Para o nosso exemplo, foram adotados os valores de  $K_R = 0,12$  e a declividade de 10%.

O resultado obtido é de um trator com cerca de 45 CV de potência efetiva para uma perda por altitude e temperatura de 5%, com um coeficiente de transmissão de 75% e um peso médio de 50 kg por cavalo-vapor (CV) de potência na barra de tração.

Adotando os valores anteriormente fixados, podemos elaborar um quadro, que permite estabelecer a potência efetiva adequada para cada área, em função do período de lavra do terreno.



QUADRO 1 - Potência Mínima dos Tratores em C.V. em Função dos Períodos de Horas e da Área a ser Lavrada

H	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
HA										
20	40	30	25	(°)	-	-	-	-	-	-
25	45	40	30	(°)	-	-	-	-	-	-
30	55	45	35	30	(°)	-	-	-	-	-
35	65	50	40	35	30	(°)	-	-	-	-
40	70	55	45	40	35	30	(°)	-	-	-
45	-	65	50	45	40	35	30	(°)	-	-
50		70	55	50	40	(°)	35	30	(°)	-
55		-	65	55	45	40	(°)	30	(°)	-
60			70	55	50	45	40	35	30	(°)
65			-	65	55	45	(°)	35	30	(°)
70				65	55	50	45	40	35	30
75				70	65	55	50	40	35	30
80				-	65	55	50	45	40	35
85					70	65	55	45	45	40
90					-	65	55	50	45	40
95						70	65	50	45	40
100						-	65	55	50	45
105							65	55	55	50
110							70	65	55	50
115							-	70	65	55
120								-	65	55
125									65	55
130									70	65
135									-	65
140										70

OBS: (°) Significa que um trator de potência igual pode lavar a área considerada no período de horas menor.

## 6. CONCLUSÕES

A - Considerando o período de tempo para a aradura, é importante a determinação da potência efetiva que deve possuir o trator, a fim de, em função das condições locais, realizar a operação dentro do prazo programado.

B - Os períodos intensos (60 a 120 h) requerem, logicamente, tratores de maior potência efetiva, para que realizem o serviço no período adequado; contudo em face do limitado uso do número de horas, a potência do trator deve ser a calculada, pois um modelo de maior capacidade tornaria o custo do serviço mais elevado, pela possibilidade de maior ociosidade.

C - Para os períodos de tempo regulares (140 a 200 h), há uma maior segurança para a realização dos serviços de aradura; logicamente, em função da área a ser mobilizada, deve ser prevista a escolha do modelo de trator mais adequado.

D - O trator de 30 CV, de potência efetiva, de acordo com as condições previamente estabelecidas em nossa exemplificação, é capaz de lavar uma área de até 50 ha, quando o período de aradura for 200 h; no entanto, somente é indicado para uma área de 20 ha, quando o período de lavra for 80 h.

E - O trator de 40 CV, de potência efetiva, é capaz de lavar uma área de até 75 ha, para um período de aradura de 200 h; e é indicado para uma área de 25 ha, para um período de lavra de 80 h.

F - O trator de 50 CV, de potência efetiva, é indicado para uma área de 100 ha, quando o período de aradura for em torno de 220 h e para uma área máxima de 35 ha, para 80 h.

G - Em face das condições pré-estabelecidas, o trator de 60 CV não pode ser analisado e sim o de 65 CV, que é indicado para uma área de 125 ha, quando o período de lavra for 220 h, e para o máximo de 45 ha, para um período de 80 h.

H - O emprego de fórmulas adequadas permite, ao programador, a elaboração de tabelas contendo os diversos fatores variáveis, que possibilitam uma análise ampla do problema da seleção do modelo do trator e do arado adequado às condições locais.

## LITERATURA CITADA

- BAINER, R. et alii - *Principles of farm machinery* John Wiley & Sons, New York, 1955.
- CORRÉA, A.A.M. - *Rendimento e despesas no emprego de tratores e implementos agrícolas*. Serv. Informação Agrícola, Ministério da Agricultura, 1976. 61 pp.
- CORRÉA, A.A.M. e PENTEADO, A.F. - Otimização operacional da potência dos tratores em função da área agricultável. "Arquivos", U.F.R.R.J. 2:2, 51-58. 1972.
- MIALHE, L.G. - *Manual de Mecanização agrícola*. Ed. Agronômica Ceres Ltd. São Paulo. 1974.
- SMITH, H.P. - *Farm machinery and equipment*, Mc Graw Hill, New York. 1965.