

# Força bem distribuída

*Para obter o melhor aproveitamento da capacidade de tração é preciso observar o tipo e a condição do solo, as dimensões e elementos de tração, o tipo de pneu e a distribuição de carga*

O trator constitui a base da mecanização agrícola, ele proporciona a energia necessária para o acionamento das máquinas, a tração de implementos e o transporte de produtos. A tração é o resultado da interação do elemento de tração com o solo, sendo ela a forma menos eficiente, porém a mais usada de transferência de potên-

cia nos tratores.

O desenvolvimento de rodados protegidos com borracha proporcionou verdadeira revolução do trator, visto que a roda pneumática, ao deformar-se, adapta-se melhor às características irregulares do terreno aumentando assim sua capacidade de tração e permitindo o aumento da velocidade de trabalho.

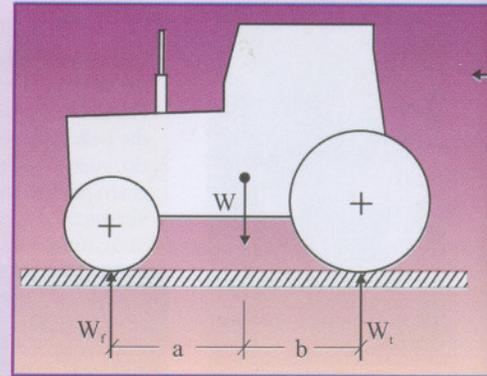
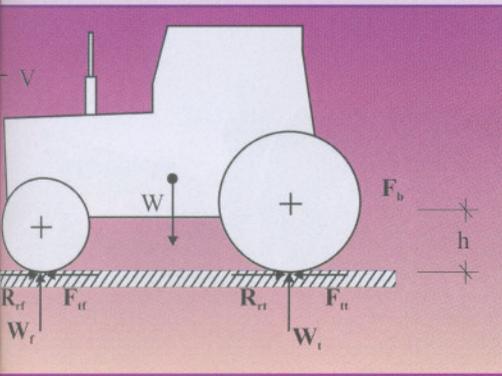


Figura 1 - Forças atuantes num trator 4x2 TDA sem eixo dianteiro e força aplicada à barra de tração

A escolha de um pneu adequado para as rodas motrizes de um trator agrícola não deve limitar-se simplesmente no fato de que ele tem que suportar carga vertical, transmitir potência e produzir força de tração. O problema é ainda mais complexo, pois o trator trabalha em solos que podem apresentar distintas características. O uso de pneus específicos para determinado tipo de superfície de rolamento permite aumentar seu desempenho operacional. Entretanto, os vários tipos e condições de solos agrícolas são fatores que dificultam o projeto de elemen-



“A escolha de um pneu adequado para as rodas motrizes de um trator agrícola não deve limitar-se simplesmente no fato de que ele tem que suportar carga vertical, transmitir potência e produzir força de tração”



tos de tração que funcionem satisfatoriamente em qualquer situação.

Em condição dinâmica, as forças atuantes sobre o trator apresentam-se de maneira complexa. Analisando-se o trator se deslocando em velocidade constante e desprezando-se a resistência do ar, têm-se como forças ativas do trator seu peso próprio ( $W$ ) e a força de tração bruta desenvolvida ( $F_{rt}$  e  $F_{rf}$ ). Como forças resistivas, têm-se as reações verticais do terreno ( $W_f$  e  $W_t$ ), as resistências ao rolamento ( $R_{rt}$  e  $R_{rf}$ ) e a força na barra de tração ( $F_b$ ). Na Figura

New Holland

DETERMINANDO A CAPACIDADE DE TRAÇÃO DE TRATORES - SEM E COM LASTRO					
<b>6 Pneus Traseiros</b>					
6	Número que define a largura (pol)	18,4			
7	Número que define o aro da roda (pol)	30			
8	Largura do pneu (m)	0,47			
9	Diâmetro do pneu indeformado (m)	1,70			
10	Altura da seção do pneu (m)	0,37			
11	Deflexão do pneu (m)	0,06			
12	Relação largura indeformada/diâmetro indeformado	0,28		(Equações válidas para b/d entre 0,1 e 0,7)	
13	Relação deflexão/altura da seção do pneu	0,16		(Equações válidas para delta/h entre 0,1 e 0,3)	
14	Quantidade de lastros adicionada (kN)	0,00			
<b>16 Pneus Dianteiros</b>					
17	Número que define a largura (pol)	11,5			
18	Número que define o aro da roda (pol)	20			
19	Largura do pneu (m)	0,29			
20	Diâmetro do pneu indeformado (m)	1,09			
21	Altura da seção do pneu (m)	0,23			
22	Deflexão do pneu (m)	0,06			
23	Relação largura indeformada/diâmetro indeformado	0,27		(Equações válidas para b/d entre 0,1 e 0,7)	
24	Relação deflexão/altura da seção do pneu	0,21		(Equações válidas para delta/h entre 0,1 e 0,3)	
25	Quantidade de lastros adicionada (kN)	0,00			
26	Quanto os pneus dianteiros patinam a mais que os traseiros (%)	6			
27					
28	<b>Tipo de pneu</b>	Pneu Diagonal			
<b>31 Resistência do Solo a Penetração</b>					
32	Índice de cone do solo (kPa)	900			
33	(Solo duro IC = 1800 kPa, Solo firme IC = 1200 kPa, Solo cultivado CI = 900 kPa, Solo solto CI = 450 kPa)				
<b>38 Características do trator e de seu manejo</b>					
39	Distância entre os eixos dianteiros e traseiros (m)	2,195			
40	Altura da barra de tração (m)	0,460			
41	Distribuição do peso sobre o eixo traseiro (%)	60,0			

Figura 2 – Planilha eletrônica desenvolvida para analisar a capacidade de tração dos tratores de rodas

1 são apresentadas as forças e reações do solo em um trator 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) parado e em movimento desenvolvendo esforço tratório.

Quando o trator se desloca sem força aplicada à sua barra de tração tem-se:

$$W_f = \frac{b \cdot W}{a+b} \text{ e } W_t = \frac{a \cdot W}{a+b}; \text{ sendo}$$

Enquanto que na situação em que o trator se desloca à velocidade constante com uma força  $F_b$  aplicada à sua barra de tração tem-se:

$$W'_f = W_f - \frac{F_b \cdot h}{a+b} \text{ e } W'_t = W_t + \frac{F_b \cdot h}{a+b}; \text{ sendo}$$

Dessa forma, se todas as características e propriedades do mecanismo de tração e do terreno são conhecidas, o problema é determinar as relações entre as condições do terreno, a carga sobre o rodado motriz, o torque aplicado e a tração desenvolvida.

Prever o comportamento trativo de tratores agrícolas de pneus não é tarefa fácil diante da complexidade que envolve a interação entre o rodado e o solo. Por meio de modelos matemáticos pode-se prever o desempenho de tratores trabalhando com diferentes tipos de pneus e em diferentes condições de solo, ajudando no entendimento de diversos aspectos relacionados ao processo trativo e na tomada de decisão sobre o manejo a ser adotado. Com esse tipo de análise pode-se selecionar um dado trator, a melhor distribuição de peso sobre os eixos e o tipo de pneu adequado para determinada situação de campo.

## USO DE PLANILHA ELETRÔNICA

Uma planilha eletrônica (Figura 2) foi desenvolvida para analisar o comportamento dinâmico dos tratores agrícolas de pneus, conforme metodologia proposta pela Associação Norte-Americana de Engenheiros Agrícolas (ASAE), que considera parâmetros relativos às

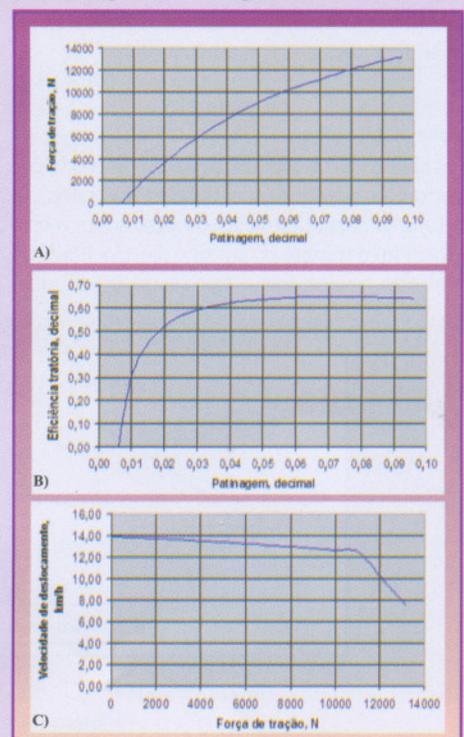


Figura 3 – Desempenho simulado de um trator 4x2 utilizando a planilha eletrônica da ASAE (2004)

“Fatores que afetam a capacidade de tração, como resistência ao rolamento, patinagem, tipo de trator e de pneu, distribuição de peso sobre eixos, atrito e deflexão do elemento de tração podem ser estudados utilizando a planilha desenvolvida”

Charles Echer

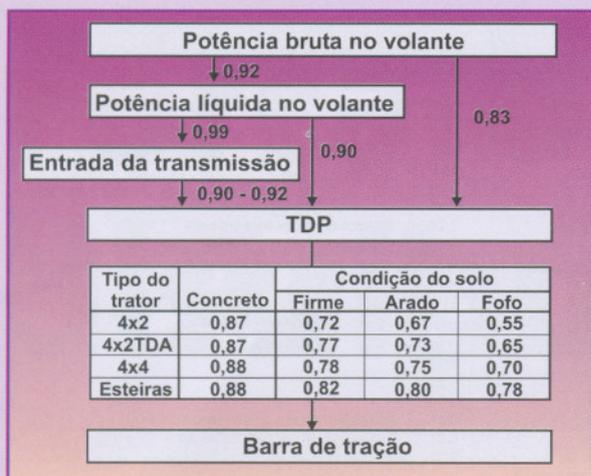


Figura 4 - Relações de potência em tratores agrícolas (Fonte: ASAE, 2004)



As recomendações feitas são de que as operações agrícolas sejam realizadas dentro da faixa de patinação de 8 a 16%

características dos diferentes tipos de trator e de solo, ao carregamento e característica do pneu e à interação existente entre o rodado e o terreno.

Fatores que afetam a capacidade de tração, como resistência ao rolamento, patinação, tipo de trator e de pneu, distribuição de peso sobre eixos, atrito e deflexão do elemento de tração podem ser estudados utilizando a planilha desenvolvida. Como medida da resistência do solo à penetração das garras do pneu foi usado o índice de cone (medido pelo instrumento penetrômetro), que é a força média de penetração de um cone no terreno dividida pela unidade de área de sua base. Com essa medida e as características do pneu e do trator pode-se estimar a condição de trabalho do trator.

Para usar a planilha é necessário entrar com os valores da largura, diâmetro, altura da seção e deflexão dos pneus dianteiro e traseiro, da resistência do solo à penetração, da distância entre o eixo dianteiro e o traseiro do trator, da altura da barra de tração, do peso sobre o eixo dianteiro e traseiro do trator e da velocidade de trabalho, e selecionar o tipo de pneu (diagonal

ou radial). Todos esses dados podem ser facilmente medidos ou determinados na propriedade, com uso de trena, de balança e de um penetrômetro.

Depois de fornecidos os valores de entrada, basta dar um clique no botão “Calcular tração” (Figura 2) para que sejam exibidas a patinação das rodas, a força de tração desenvolvida, as resistências ao rolamento dos pneus, a variação do carregamento sobre os rodados traseiro e dianteiro, a eficiência tratória, a potência de tração, a potência nos eixos, a potência equivalente da TDP e a potência exigida no motor do trator. Os resultados podem ser visualizados em tabelas ou em gráficos.

Os dados apresentados a seguir foram determinados por meio da planilha eletrônica para a predição da capacidade de tração de tratores de rodas, desenvolvida conjuntamente pela UFV e a UFMS.

### APROVETAMENTO DE POTÊNCIA

Como já foi mencionado anteriormente, a tração dos tratores é o meio menos eficiente de

aproveitamento de potência do motor e a mais usada. Da potência produzida pelo motor de um trator considera-se que de 86 a 90% está disponível para uso na TDP do trator, e dependendo das condições do solo, a potência na barra de tração pode chegar a ser inferior a 50% da potência produzida pelo motor.

Uma das formas de se avaliar o aproveitamento de potência de um trator em termos de desenvolvimento da tração é por meio da eficiência tratória. A eficiência tratória pode ser definida como a relação entre a potência disponível na barra de tração e a potência aplicada no(s) eixo(s) motriz(es).

Os resultados apresentados na Figura 3 foram obtidos com a utilização da planilha eletrônica para calcular a capacidade de tração de um trator 4x2 trabalhando sobre solo duro. Na Figura 3(a) pode ser observado como a capacidade de tração influencia a patinação do rodado motriz do trator. À medida que aumenta-se a força aplicada na barra de tração aumenta-se também a patinação. Na Figura 3(b) é apresentado como a eficiência tratória varia com a patinação das rodas motrizes. A máxima efici-

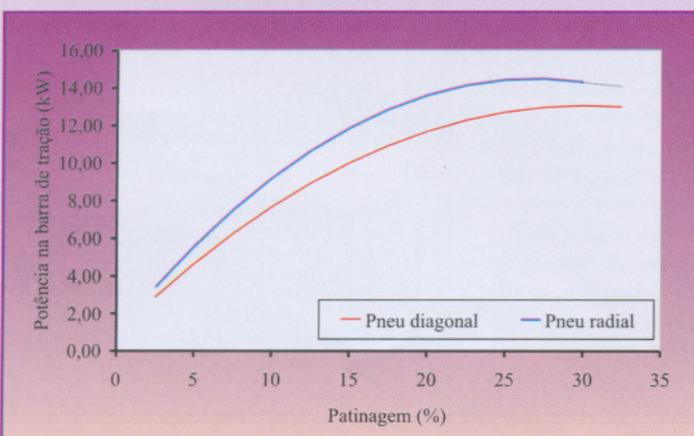


Figura 5 – Efeito do tipo de pneus na potência disponível na barra de tração de um trator 4x2TDA

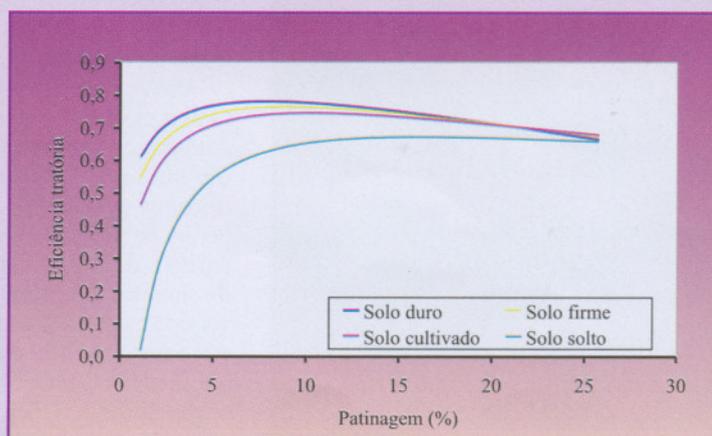


Figura 6 – Eficiência tratória para um trator 4x2TDA como função da patinação e da resistência do solo

“Assim, a adequada distribuição de peso sobre eixos além de proporcionar boa capacidade de tração, contribui para melhoria da estabilidade e da dirigibilidade do trator”



Charles Echer

Por meio de modelos matemáticos é possível prever o desempenho de tratores trabalhando com diferentes tipos de pneus e condições de solo

ência tratória foi obtida quando a patinação foi de 7%. Nessa situação a potência na barra de tração correspondia a 65% da potência aplicada no eixo motriz. Na Figura 3(c) é apresentado como a força aplicada na barra de tração influencia a velocidade de deslocamento, à medida que é aumentada a força aplicada na barra de tração reduz-se a velocidade de deslocamento do trator devido ao aumento da patinação das rodas motrizes.

## TIPO DE TRATOR

A eficiência de utilização da potência de um trator agrícola desenvolvendo esforço de tração varia com o tipo de trator. Na Figura 4 é apresentado um esquema mostrando a eficiência na transmissão de potência entre o motor e a barra de tração para tratores tipo 4x2, 4x2TDA, 4x4 e de esteiras. Por exemplo, se um trator apresenta 100 kW de potência bruta no volante do motor, ele terá 83 kW (100 kW x 0,83) de potência disponível no eixo da TDP, se for um do tipo 4x2 trabalhando sobre solo arado, a potência disponível na barra de tração será de 55,6 kW (83 kW x 0,67). Se ao invés de um trator 4x2 for utilizado um trator de esteiras, a potência na barra de tração será de 66,4 kW (83 kW x 0,80). É claro que esses valores são válidos se o trator estiver equipado com pneus apropriados para sua potência e se estiver com a quantidade de lastros ideal.

Para que um trator apresente sua maior capacidade de tração é importante observar a distribuição adequada de peso sobre os eixos e a definição adequada dos lastros no trator. O excesso de peso sobre o rodado causa aumento da perda de potência devido à maior resistência ao rolamento e maior compactação do solo. Quantidade insuficiente de lastros provoca excesso de patinação e maior perda de potência devido à queda na eficiência tratória. Assim, a adequada distribuição de peso sobre eixos além de proporcionar boa capacidade de tração, contribui para melhoria da estabilidade e da dirigibilidade do trator.

Quando os tratores são equipados com pneu radial tem-se observado maior capacidade de tração. Esse resultado pode ser atribuído ao fato do pneu radial apresentar maior área de contato com o solo que o pneu diagonal. De maneira geral, quando o pneu radial é utilizado como elemento de tração, a potência disponível na barra pode ser 17% superior ao pneu diagonal (Figura 6). Embora os pneus radiais apresentem maior capacidade de tração e conseqüentemente menor consumo de combustível, esses ainda não são tão utilizados devido ao seu maior preço e devido à menor resistência lateral.

As recomendações feitas pelos técnicos da área de mecanização agrícola é de que sejam realizadas as operações agrícolas dentro da faixa de patinação de 8 a 16%. Entretanto, verificou-se que pode haver vantagens para a utilização de pneus radiais em índices maiores de

patinação, o que proporciona maior disponibilidade de força na barra de tração com maior velocidade de avanço, obtendo-se dessa forma maior capacidade operacional. Neste caso é importante observar o desgaste de pneus agrícolas em distintos níveis de patinação em operações que demandem grandes esforços.

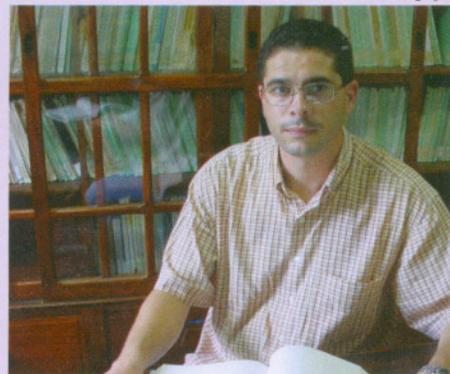
O comportamento de um trator 4x2 TDA, equipado com pneu diagonal, é distinto quando ele trabalha sobre o mesmo solo com diferentes condições. Utilizando-se a planilha eletrônica pode-se verificar que trabalhando sobre o solo em seu estado duro (compactado) esse tipo de trator apresenta 3% a mais de eficiência tratória que com o solo firme (plantio direto), 6,9% a mais que com o solo convencionalmente cultivado e 18% com o solo solto (Figura 7). O aumento excessivo da patinação do rodado do trator provoca diminuição na eficiência tratória, sendo que em cada condição de terreno há uma patinação que proporciona a melhor capacidade de tração. As maiores eficiências tratórias foram observadas nas patinações de 7% para o solo duro, 8% para o solo firme, 9% para o solo cultivado e 12% para o solo solto.

Portanto, o tipo de elemento de tração, o tipo e a condição do solo, as dimensões do elemento de tração e a distribuição de carga são fatores que influenciam consideravelmente a capacidade de tração dos tratores agrícolas de pneus. Exatamente por isso, o usuário deve estar muito atento na hora de escolher as condições de trabalho do trator agrícola. O uso de sistemas computacionais, como a planilha eletrônica mencionada, que facilitem a análise do comportamento de tração dos tratores para cada fator é extremamente importante, pois ele pode auxiliar no manejo e na tomada de decisão da utilização e aquisição de um equipamento, para as condições enfrentadas no dia-a-dia da propriedade. 

**Cristiano Márcio Alves de Souza,**  
DCA/UFMS

**Daniel Marçal de Queiroz,**  
DEA/UFV

Divulgação



Souza explica que o uso de pneus específicos aumenta o desempenho operacional do trator