

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA PARA A DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DISPONÍVEL NA BARRA DE TRAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS

FABIO LÚCIO SANTOS¹, HAROLDO CARLOS FERNANDES², PAULA CRISTINA N. RINALDI³

¹Eng. Agrícola, Doutorando, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG. Fone: (0XX31)3899.2853, ffabiolss@yahoo.com.br,

²Eng. Agrícola, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG

³Eng. Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG

**Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB**

RESUMO: Este trabalho trata do desenvolvimento de uma planilha eletrônica, implementada a partir de um algoritmo desenvolvido em Visual Basic, para a determinação da potência disponível na barra de tração. O procedimento utilizado permite determinar a força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração do trator ensaiado. Além de possibilitar o cálculo da potência disponível na barra de tração considerando regra baseada no “Fator 0,86” proposta por Wendel Bowers, equação de rendimento de tração e a norma ASAE D497 – 4. A planilha desenvolvida pode ser considerada uma ferramenta eficiente e rápida para análises relativas à potência disponível na barra de tração de um trator.

PALAVRAS-CHAVE: ENSAIO, TRATORES, SIMULAÇÃO.

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC SHEET TO DETERMINE THE DRAWBAR AVAILABLE POWER OF THE AGRICULTURAL TRACTORS

ABSTRAT: This work deals with a development of an electronic sheet, implemented from algorithm developed in Visual Basic, to determine the drawbar available power. The procedure used allows the determination of the traction force, speed, drawbar available power, fuel consumption, specific fuel consumption and the traction coefficient of tractor obtained from a trial. Besides, calculates the drawbar available power considering the “Factor 0,86” rule proposed by Wendel Bowers, yield traction equation and the ASAE D497 – 4 rules. The electronic sheet developed can be considered a fast and efficiency tool for analysis related to the drawbar effective power of a tractor.

KEYWORDS: TRIAL, TRACTORS, SIMULATION.

INTRODUÇÃO: A potência disponível na barra de tração pode ser determinada a partir do ensaio na barra de tração sendo este realizado em pista de concreto para tratores de pneus (MIALHE, 1996). A partir deste ensaio, pode-se obter parâmetros quantitativos relativos à força de tração, velocidade,

consumo específico, patinagem e potência disponível na barra de tração. Portanto, torna-se imprescindível conhecer a força e conseqüentemente a potência disponível na barra de tração dos tratores agrícolas, uma vez que, a partir do conhecimento desta potência pode-se dimensionar implementos adequados à capacidade do trator, o que possibilita o uso adequado e eficiente do trator e do implemento tracionado pelo mesmo. Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no tocante a determinação da potência disponível na barra de tração considerando variados tipos e condições de solo, como a regra sugerida por Wendel Bowers conhecida como “Fator 0,86”, a equação do rendimento de tração e a norma ASAE D497 – 4 (2004). Este trabalho teve como principal objetivo a elaboração de uma planilha eletrônica, a partir do desenvolvimento de um algoritmo implementado em *Visual Basic*, para a determinação de informações referentes à força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração de um trator, a partir de dados relativos ao ensaio na barra de tração do mesmo. Além de possibilitar o cálculo da potência efetiva na barra de tração calculada, considerando a regra do “Fator 0,86” proposta por Wendel Bowers a equação de rendimento de tração (MIALHE, 1996) e a norma ASAE D497 – 4.

MATERIAL E MÉTODOS: A planilha eletrônica foi desenvolvida a partir da elaboração de programa em *Visual Basic* (conforme anexo apresentado), considerando uma entrada de dados referente às características do trator, bem como informações obtidas durante o ensaio na barra de tração, tais como o tempo de duração do “tiro” (teste em determinada carga), consumo de combustível (mL), número de voltas da roda motora e leitura da célula de carga utilizada. A partir destes dados pode-se calcular a força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração durante o ensaio de tração, através da utilização das equações clássicas empregadas na mecanização agrícola e fornece as curvas de desempenho das mesmas em relação a força na barra de tração do trator ensaiado, além do valor do coeficiente de tração do trator ensaiado, que é definido como a relação entre a máxima tração na barra e o peso dinâmico nas rodas de tração, ou seja, corresponde ao percentual de seu peso traseiro dinâmico que este trator pode tracionar. Para o cálculo da estimativa da potência efetiva na barra de tração considerando diferentes tipos e condições de solo, foram implementados os seguintes métodos: regra baseada no “Fator 0,86” proposta por Wendel Bowers (SANTOS FILHO & SANTOS, 2001), equação de rendimento de tração (MIALHE, 1996) e a norma ASAE D497 – 4.

Tabela 1 – Norma ASAE D497 – 4 para a determinação da potência na BT

Trator	concreto	Condição do solo		
		firme	arado	Fofo
4x2	0,87	0,72	0,67	0,55
4x2 TDA	0,87	0,77	0,73	0,65
4x4	0,87	0,78	0,78	0,70
esteiras	0,87	0,82	0,80	0,78

Para validação da planilha desenvolvida, foram utilizados dados obtidos a partir de um ensaio na barra de tração realizado na Universidade Federal de Viçosa em uma pista plana de concreto. O trator ensaiado foi um Valmet modelo 65id com aproximadamente 42,66kW (58cv) de potência nominal deslocando-se a 2ª marcha reduzida e 1700rpm. Um trator Massey Fergusson modelo MF – 265 foi empregado como trator de lastro. Para obtenção da força na barra de tração foi utilizada uma célula de carga da marca KRATOS com capacidade de 49.050 N, instalada entre os tratores. Para a medição do consumo de combustível foi utilizado um fluxômetro, o qual permitiu quantificar o volume de combustível gasto no decorrer do teste. Foi estabelecida uma distância de 30 metros para a realização dos testes. Primeiramente foi determinado o número de voltas da rota motora com o trator livre, a

partir de uma marcação efetuada no pneu da roda motora, tal informação foi empregada para o cálculo da patinagem durante o teste com carga. Foram estabelecidas seis cargas a partir do trator de lastro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A figura 1 representa a entrada de dados obtidos durante o ensaio de tração.

A figura 2 corresponde a entrada de dados complementares, onde devem constar a potência do trator ensaiado, o número de garras do pneu, a distância empregada no ensaio, a constante da célula de carga e o número de cargas ensaiadas.

Carga	Volts Completas	Número de Garras Complementares	T, (s)	Consumo, (ml)	Leitura Célula de carga
sem carga	7	14	26.35	10.00	0.00
1	7	22	27.44	20.00	0.36
2	8	11	26.98	20.00	0.75
3	8	10	26.53	40.00	0.93
4	8	9	30.63	70.00	3.34
5	9	14	35.60	90.00	3.53
6	15	14	59.08	115.00	3.32

Figura 1 – Dados do ensaio na barra de tração

Dados de Entrada

Potência Nominal, (cv) = 58
Número de Garras do Pneu = 28
Distância Percorrida no Ensaio, (m) = 30
Constante -- Célula de Carga = 563.84
Número de Cargas Ensaçadas = 6

Cálculo dos Parâmetros -- Ensaio na Barra de Tração (B. T.)

Cálculo do Coeficiente de Tração

☒ Tração -- 4x2
☐ Tração -- 4x2 TDA
☐ Tração -- 4x4

Altura da Barra de Tração, (m) = 0.4
Distância entre Eixos, (m) = 2.08
Peso Traseiro Estático (PTE), (kgf) = 2070
Peso Dianteiro Estático (PDE), (kgf) = 1250

Calcula

Cálculo da Potência na Barra de Tração

Cálculo da Potência Disponível na Barra de Tração

Métodos:
☒ Norma ASAE D497 - 4 (2004)
☐ Fator "0.86" (W. Bowers)
☐ Equação do Rendimento de Tração

Calcula

Limpa -- Planilhas

Figura 2 – Dados de entrada

Para o cálculo do coeficiente de tração, é necessário que a tal função seja escolhida e que dados como a altura da barra de tração, distância entre eixos, peso traseiro estático e peso dianteiro estático sejam fornecidos, além de se escolher adequadamente o tipo de tração do trator ensaiado, conforme apresentado na figura 2. O botão “Calcula” possibilita a obtenção da força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração durante o ensaio de tração, bem como as curvas em função da força na barra de tração. Selecionando o item “Cálculo da Potência Disponível na Barra de Tração” e os métodos adequados (Norma ASAE D497-4, “Fator 0,86”, Equação de Rendimento de Tração) pode-se obter a potência disponível na barra de tração, pressionando-se o botão “Calcula”, como apresentado na figura 2. O botão “Limpa – Planilhas” possibilita que os dados de entrada e os resultados gerados sejam apagados automaticamente, permitindo que a planilha seja utilizada para novos cálculos e análises. As figuras 3 e 4 representam as telas de saída de resultados, a figura 3 corresponde aos resultados provenientes do

ensaio de tração e a figura 4 corresponde a estimativa da potência disponível na barra de tração pelos métodos previamente selecionados, no caso específico do trator ensaiado e analisado.

RESULTADOS -- ENSAIO NA BARRA DE TRACÇÃO							
Carga	Força de Tração, (N)	Velocidade, (m/s)	Potência Disponível, (kW)	Consumo Horário, (l/h)	Consumo Específico, (g/kW.h)	Patinagem, (%)	Coefficiente de Tração, (%)
sem carga	0.00	1.14	0.00	1.37	0.00	0.00	81.15
1	1991.26	1.09	2.18	2.62	1024.48	3.67	
2	4148.45	1.11	4.61	2.67	491.75	10.64	
3	5144.08	1.13	5.82	5.43	793.14	10.26	
4	18474.44	0.98	18.09	8.23	386.48	9.87	
5	19525.38	0.84	16.45	9.10	470.16	21.05	
6	18363.82	0.51	9.32	7.01	638.76	51.61	

Figura 3 – Resultados obtidos a partir do ensaio na barra de tração

Potência Disponível na Barra de Tração	
Norma ASAE D497 - 4 (2004)	
Potência na TDP, (cv) =	48.14
Potência na BT - concreto, (cv) =	41.88
Potência na BT - solo firme, (cv) =	34.66
Potência na BT - solo arado, (cv) =	32.25
Potência na BT - solo solto, (cv) =	26.48
Fator "0.86" - W. Bowers	
Potência na TDP, (cv) =	49.88
Potência, máxima, na BT - concreto, (cv) =	42.90
Potência, máxima, na BT - solo firme, (cv) =	36.89
Potência, utilizável, na BT - solo firme, (cv) =	36.89
Potência, utilizável, na BT - solo arado, (cv) =	31.73
Potência, utilizável, na BT - solo solto, (cv) =	27.28
Equação do Rendimento de Tração	
Potência na BT - concreto, (cv) =	46.11
Potência na BT - solo firme, (cv) =	34.51
Potência na BT - solo arado, (cv) =	27.26
Potência na BT - solo solto, (cv) =	23.20
Potência na BT - solo argiloso, (cv) =	31.90
Potência na BT - solo franco, (cv) =	36.25
Potência na BT - solo arenoso, (cv) =	40.60

Figura 4 – Resultados – potência disponível na barra de tração

CONCLUSÕES: A planilha desenvolvida mostrou-se uma ferramenta eficiente para o cálculo da força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração do trator ensaiado. Além de possibilitar, o cálculo da potência disponível na barra de tração considerando regra baseada do “Fator 0,86” proposta por Wendel Bowers, equação de rendimento de tração e norma ASAE D497 – 4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Agricultural Engineers, 2004 – ASAE D497 – 4.

Mialhe, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB-FEALQ, 1996.722 p.

SANTOS FILHO, A. G.; SANTOS, J. E. G. **Apostila de Máquinas Agrícolas**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, UNESP. Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica. Agosto, 2001. 88 p.

ANEXO:

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Call Principal
Call Check1
End Sub

Private Sub Principal()
Dim D As Double 'Distancia percorrida no ensaio
Dim Vi As Double 'Numero de vincos do pneu
Dim N As Integer 'Numero de cargas utilizadas no ensaio
Dim K As Double 'Constante da celula de carga
Dim Nc(100) As Double 'numero de voltas com carga
Dim No As Double 'Numero de voltas sem carga
Dim V(100) As Double 'Velocidades m/s
Dim F(100) As Double 'Forcas N
Dim Pot(100) As Double 'Potencia kW
Dim P(100) As Double 'Patinagem %
Dim C(100) As Double 'consumo l/h
Dim Ce(100) As Double 'consumo especifico g/cv.h
'Dados de Entrada
D = Plan1.Cells(4, 2)
Vi = Plan1.Cells(3, 2)
N = Plan1.Cells(6, 2)
K = Plan1.Cells(5, 2)
No = Plan1.Cells(9, 5) + ((Plan1.Cells(9, 6)) / Vi)
'Calculo -- Resultados do Ensaio na Barra de Tração
For i = 1 To N
    Nc(i) = Plan1.Cells((9 + i), 5) + ((Plan1.Cells((9 + i), 6)) / Vi)
    V(i) = (D / (Plan1.Cells((9 + i), 7)))
    F(i) = K * (Plan1.Cells((9 + i), 9)) * 9.81
    Pot(i) = (F(i) * (V(i))) / 1000
    P(i) = ((Nc(i) - No) / Nc(i)) * 100
    C(i) = ((Plan1.Cells((9 + i), 8) / 1000) / (Plan1.Cells((9 + i), 7) / 3600))
    Ce(i) = ((C(i) * 850) / Pot(i))
Next i
Plan2.Cells(7, 1) = "sem carga"
Plan2.Cells(7, 2) = 0
Plan2.Cells(7, 3) = (D / Plan1.Cells(9, 7))
Plan2.Cells(7, 4) = 0
Plan2.Cells(7, 5) = ((Plan1.Cells(9, 8) / 1000) / (Plan1.Cells(9, 7) / 3600))
Plan2.Cells(7, 6) = 0
Plan2.Cells(7, 7) = 0
For j = 1 To N
    Plan2.Cells((7 + j), 1) = j
    Plan2.Cells((7 + j), 2) = F(j)
    Plan2.Cells((7 + j), 3) = V(j)
    Plan2.Cells((7 + j), 4) = Pot(j)
    Plan2.Cells((7 + j), 5) = C(j)
    Plan2.Cells((7 + j), 6) = Ce(j)
    Plan2.Cells((7 + j), 7) = P(j)
Next j
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
N = Plan1.Cells(6, 3)
For i = 1 To (N + 1)
```

```
    For j = 1 To 6
        Plan1.Cells((8 + i), (3 + j)) = " "
    Next j
Next i

For i = 1 To (N + 1)
    For j = 1 To 7
        Plan2.Cells((6 + i), j) = " "
    Next j
Next i
Plan1.Cells(7, 8) = " "
For i=1 To 19
    Plan4.Cells(5 + i, 2) = " "
Next i
End Sub

Private Sub Check1()
Dim FTM As Double 'Forca de tracao maxima - FTM
Dim HBT As Double 'Altura da barra de tracao - HBT
Dim DEE As Double 'Distancia entre eixos - DEE
Dim PTE As Double 'Peso Traseiro Estatico - PTE
Dim PDE As Double 'Peso Dianteiro Estatico - PDE
Dim CT As Double 'Coeficiente de Tracao - CT
'Dados de Entrada
N = Plan1.Cells(6, 2)
HBT = Plan1.Cells(18, 2)
DEE = Plan1.Cells(19, 2)
PTE = Plan1.Cells(20, 2)
PDE = Plan1.Cells(21, 2)
'Escolha para cálculo do Coeficiente de Tração (CT)
If CheckBox1 = True Then
    Call Option1(N, HBT, DEE, PTE, PDE) 'Escolha para cálculo do Coeficiente de Tração (CT)
Else
    Plan2.Cells(7, 8) = " "
End If
End Sub

Private Sub Option1(N, HBT, DEE, PTE, PDE)
Dim ft As Double 'ft inicial para otenciao da FTM
'Calculo da FTM - forca de tracao maxima
ft = 0
    For i = 1 To (N + 1)
        If ft < Plan2.Cells((6 + i), 2) Then
            ft = Plan2.Cells((6 + i), 2)
        End If
    Next i
FTM = ft
If OptionButton1 = True Then
    CT = ((FTM / 9.81) / (PTE + (((FTM / 9.81) * HBT) / DEE))) * 100
    Plan2.Cells(7, 8) = CT 'CT -- trator 4x2
ElseIf OptionButton2 = True Then
    CT = ((FTM / 9.81) / (PTE + PDE)) * 100 'CT -- trator 4x2
TDA
    Plan1.Cells(7, 8) = CT
ElseIf OptionButton3 = True Then
    CT = ((FTM / 9.81) / (PTE + PDE)) * 100
    Plan2.Cells(7, 8) = CT 'CT -- trator 4x4
```

```

End If
End Sub
Private Sub CheckBox2_Click()
'Menu para calculo da potencia disponível na Barra de Tracao
    If CheckBox2 = True Then
        CheckBox3.Enabled = True 'Checkbox3 - metodo ASAE
        CheckBox4.Enabled = True 'Checkbox4 - metodo fator
0.86
        CheckBox5.Enabled = True 'Checkbox5 - metodo equacao
de rendimento
        CommandButton3.Enabled = True
    ElseIf CheckBox2 = False Then
        CheckBox3.Enabled = False
        CheckBox4.Enabled = False
        CheckBox5.Enabled = False
        CommandButton3.Enabled = False
    End If
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
'Calculo da Potencia na Barra de Tracao
Dim PN As Double 'Potencia Nominal do Trator - PN
Dim P0tdp As Double 'Potencia TDP
Dim PBT As Double 'Potencia na barra de tracao
Dim PBT_c As Double 'Potencia na barra de tracao - concreto
Dim PBT_fi As Double 'Potencia na barra de tracao - solo firme
Dim PBT_a As Double 'Potencia na barra de tracao - solo arado
Dim PBT_fo As Double 'Potencia na barra de tracao - solo fofo
Dim PBT_fi_U As Double 'Potencia na barra de tracao - solo
firme utilizavel
Dim PBT_a_U As Double 'Potencia na barra de tracao - solo
arado utilizavel
Dim PBT_fo_U As Double 'Potencia na barra de tracao - solo
fofo utilizavel
Dim PBT_arg As Double 'Potencia na barra de tracao - solo
argiloso
Dim PBT_frc As Double 'Potencia na barra de tracao - solo
franco
Dim PBT_arn As Double 'Potencia na barra de tracao - solo
arenoso
PN = Plan1.Cells(2, 2)
If CheckBox3 = True Then 'norma ASAE D497 - 4 (2004)
    If OptionButton1 = True Then 'Trator 4x2
        Ptdp = PN * 0.83
        PBT_c = Ptdp * 0.87
        PBT_fi = Ptdp * 0.72
        PBT_a = Ptdp * 0.67
        PBT_fo = Ptdp * 0.55
    ElseIf OptionButton2 = True Then 'Trator 4x2 TDA
        Ptdp = PN * 0.83
        PBT_c = Ptdp * 0.87
        PBT_fi = Ptdp * 0.77
        PBT_a = Ptdp * 0.73
        PBT_fo = Ptdp * 0.65
    ElseIf OptionButton3 = True Then 'Trator 4x4
        Ptdp = PN * 0.83
        PBT_c = Ptdp * 0.87
        PBT_fi = Ptdp * 0.78

```

```

        PBT_a = Ptdp * 0.78
        PBT_fo = Ptdp * 0.7
    End If
    Plan4.Cells(6, 2) = Ptdp
    Plan4.Cells(7, 2) = PBT_c
    Plan4.Cells(8, 2) = PBT_fi
    Plan4.Cells(9, 2) = PBT_a
    Plan4.Cells(10, 2) = PBT_fo
Else
    Plan4.Cells(6, 2) = " "
    Plan4.Cells(7, 2) = " "
    Plan4.Cells(8, 2) = " "
    Plan4.Cells(9, 2) = " "
    Plan4.Cells(10, 2) = " "
End If
If CheckBox4 = True Then 'Fator "0.86" (W. Bowers)
    Ptdp = PN * 0.86
    PBT_c = Ptdp * 0.86
    PBT_fi = PBT_c * 0.86
    PBT_fi_U = PBT_c * 0.86
    PBT_a_U = PBT_fi_U * 0.86
    PBT_fo_U = PBT_a_U * 0.86
    Plan4.Cells(14, 2) = Ptdp
    Plan4.Cells(15, 2) = PBT_c
    Plan4.Cells(16, 2) = PBT_fi
    Plan4.Cells(17, 2) = PBT_fi_U
    Plan4.Cells(18, 2) = PBT_a_U
    Plan4.Cells(19, 2) = PBT_fo_U
Else
    For i=1 To 6
        Plan4.Cells(13 + i, 2) = " "
    Next i
End If
If CheckBox5 = True Then 'Equacao do Rendimento de tração
    PBT_c = PN * ((0.74 + 0.85) / 2)
    PBT_fi = PN * ((0.55 + 0.64) / 2)
    PBT_a = PN * 0.47
    PBT_fo = PN * 0.4
    PBT_arg = PN * 0.55
    PBT_frc = PN * ((0.6 + 0.65) / 2)
    PBT_arn = PN * 0.7
    Plan4.Cells(23, 2) = PBT_c
    Plan4.Cells(24, 2) = PBT_fi
    Plan4.Cells(25, 2) = PBT_a
    Plan4.Cells(26, 2) = PBT_fo
    Plan4.Cells(27, 2) = PBT_arg
    Plan4.Cells(28, 2) = PBT_frc
    Plan4.Cells(29, 2) = PBT_arn
Else
    For i=1 To 6
        Plan4.Cells(22 + i, 2) = " "
    Next i
End If
End Sub

```