

TESTE DE SOFTWARE E MODELO PARA PREDIZER A CAPACIDADE TRATÓRIA NO ENLEIRAMENTO DE PALHIÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Paulo Alexandre Graciano Maciak¹; Sálvio Napoleão S. Arcoverde¹; Cristiano Márcio Alves de Souza¹; Celizangela Gonçalves Pereira¹; Ebert Ferreira Silvestre¹.

¹ Universidade Federal da Grande Dourados.

Resumo: Objetivou-se a validação de modelo matemático e teste de um programa de computador para simular a capacidade tratória de conjunto trator-enleirador de palhiço da cana-de-açúcar. Por meio da implementação de um modelo matemático, um programa de computador foi desenvolvido na linguagem MS Visual Basic para simular o desempenho dos tratores agrícolas operando em três superfícies diferentes. Com o modelo de simulação implementado foi predito o desempenho de tratores agrícolas de pneus com tração traseira, com tração traseira e dianteira auxiliar e com tração nas quatro rodas. A força disponível na barra de tração, a eficiência tratória e o coeficiente de tração foram simulados para tratores agrícolas de pneus, com tração dianteira auxiliar, usando pneus diagonais e radiais, para diferentes estados mecânicos do solo e patinação do rodado motriz. Para validar o modelo matemático desenvolvido e testar o programa computacional foram realizados experimentos em campo com o trator visando sua comparação com os dados obtidos da simulação. O programa computacional desenvolvido apresentou interface intuitiva ao usuário e facilidade de uso. O modelo computacional foi considerado satisfatório, por apresentar comportamento próximo aos obtidos experimentalmente. Para se obter dados mais próximos da realidade, há necessidade de realização de mais testes, visando a calibração do programa computacional desenvolvido. O sistema de aquisição de dados foi capaz de mensurar as magnitudes das variáveis de interesses, apresentando robustez em todas as superfícies testadas.

Palavras-chave: máquinas agrícolas, simulação, bioeletricidade.

INTRODUÇÃO

O Brasil é mundialmente reconhecido como líder na produção e eficiência do setor sucroenergético, nos últimos anos com expansão da área produtiva e implantação de novas usinas, como ocorre no estado do Mato Grosso do Sul.

Com a adoção da colheita mecanizada de cana crua em substituição à colheita com queima prévia, há reflexos no manejo da cultura como a necessidade do enleiramento e recolhimento do palhicho remanescente. O enleiramento e recolhimento do palhicho são feitos por meio da utilização de conjuntos mecanizados com tratores e ancinho enleirador e enfardadoras. O trator constitui a base da mecanização agrícola para recolhimento do palhicho, proporcionando a energia necessária para o acionamento das máquinas, a tração de implementos e o transporte de produtos.

O desempenho de tratores agrícolas de pneus são afetados por alguns fatores, entre eles o tipo de superfície, a velocidade de deslocamento e o tipo de pneu selecionado (GABRIEL FILHO et al., 2004; MONTEIRO et al., 2008).

A escolha de um pneu adequado para as rodas motrizes de um trator agrícola não deve se limitar simplesmente a considerar suas 3 funções principais: suportar carga vertical no eixo traseiro, transmitir potência e produzir força de tração. O problema é mais complexo, pois o trator trabalha em solos que podem apresentar características diferentes. O uso de pneus específicos para determinado tipo de superfície de rolamento, permitiria aumentar seu desempenho operacional. No entanto, os vários tipos de solos agrícolas é o fator que dificulta o projeto de elementos de tração que funcionam satisfatoriamente em qualquer situação.

Estudos demonstraram que são obtidos melhores desempenhos operacionais, aumento da eficiência tratória, manutenção da patinagem em um nível desejável e menor ruptura do solo por cisalhamento, quando são respeitadas as corretas relações de potência e peso para as diferentes atividades agrícolas, fatores estes que contribuem para um melhor desempenho energético do trator (MONTEIRO et al., 2009).

Se todas as características e propriedades do mecanismo de tração e do terreno são conhecidas, o problema é determinar as relações entre a carga sobre a roda motriz, o torque aplicado, a tração desenvolvida e as condições do terreno (SOUZA et al., 2002).

Para a determinação das propriedades de tração de um trator agrícola de rodas incluindo a eficiência de tração, é essencial a determinação dos valores de potência disponível às rodas, sendo estes ligados diretamente ao estado que se encontra o solo (ZEBROWSKI, 2010).

Prever o comportamento trativo de tratores agrícolas de pneus não é tarefa fácil diante da complexidade que envolve a interação entre rodado e solo. O desenvolvimento de programas de computador para simular esse comportamento pode ajudar os profissionais que trabalham na área da mecanização agrícola a entender melhor os diversos aspectos ligados ao processo.

Por meio de modelos matemáticos de simulação pode-se estimar o desempenho de tratores trabalhando com diferentes tipos de pneus e em diferentes condições de solo. Esse tipo de modelo por ser utilizado para se selecionar um dado trator e o tipo de pneu adequado para determinada situação de campo.

Portanto, este trabalho teve por objetivo a validação de modelo matemático e teste de um programa de computador para simular a capacidade tratória de conjunto trator-enleirador de palhiço da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Projeto de Máquinas da FCA/UFGD, localizado em Dourados-MS.

A modelagem do comportamento dinâmico de tratores agrícolas de pneus foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela norma D497.4 (ASAE, 1998), que considera parâmetros relativos a interação existente entre o rodado e o solo. A eficiência tratória, que é definida como a razão entre a potência na barra de tração e a potência transmitida aos eixos motrizes Equação 1.

$$E_T = (1 - s) \frac{F_b}{F_t} \quad (1)$$

em que,

E_T - eficiência tratória, adm.;

F_b - força de tração disponível na barra, kN;

F_t - força de tração bruta disponível na árvore motriz, kN;

s - patinagem do rodado motriz, adimensional.

A força de tração bruta é definida utilizando a Equação 2.

$$F_t = W_d \left[0,88 \left(1 - e^{-0,1B_n} \right) \left(1 - e^{-C_1 s} \right) + C_2 \right] \quad (2)$$

em que,

W_d - carga dinâmica sobre o rodado, kN;

B_n - coeficiente de mobilidade, adm;

C_1, C_2 - constantes que dependem do tipo de pneu, conforme Quadro 1.

QUADRO 1. Constantes* que caracterizam o comportamento da força bruta para pneu radial e diagonal.

Constante	Pneu radial	Pneu diagonal
C_1	9,5	7,5
C_2	0,032	0,040
C_3	0,9	1,0

* Fonte: Brixius (1987)

O coeficiente de mobilidade, que considera a reação solo-rodado, foi determinado através da Equação 3.

$$B_n = \left(\frac{I_c b d}{W_d} \right) \left(\frac{1 + 5 \frac{\delta}{h}}{1 + 3 \frac{b}{d}} \right) \quad (3)$$

em que,

I_c - índice de cone, kPa;

b - largura da banda de rodagem do pneu, m;

d - diâmetro do pneu, m;

h - altura da banda de rodagem do pneu, m;

δ - deflexão do pneus, m.

A carga dinâmica sobre o rodado é determinada através da carga estática e da transferência de peso entre os eixos, que ocorre quando o trator encontra-se em operação, de acordo com a Equação 4.

$$W_d = W_e + \frac{h_b}{D} F_b \quad (4)$$

em que,

W_e - peso estático sobre o rodado, kN;

h_b - distância entre a barra de tração e a superfície do terreno, m;

D - distância entre eixos, m.

Deve ser adicionada no cálculo da potência necessária para tração do trator, uma força adicional, para que seja capaz de romper a resistência ao rolamento imposta pelo solo. Através do coeficiente de resistência ao rolamento pode-se determinar esta força, com a relação da resistência ao rolamento e a carga dinâmica sobre o rodado, conforme a equação 5.

$$C_r = \frac{R_r}{W_d} = \left[\frac{C_3}{B_n} + C_2 + \frac{0,5s}{\sqrt{B_n}} \right] \quad (5)$$

em que,

C_r - coeficiente de resistência ao rolamento, adm;

R_r - resistência ao rolamento, kN;

C_2, C_3 - constantes dependentes do tipo de pneu, conforme Quadro 1.

Por meio da diferença entre a força de tração bruta e a resistência ao rolamento, determinamos a força disponível na barra de tração conforme a seguinte equação.

$$F_b = F_t - R_r \quad (6)$$

O coeficiente de tração (C_t) é definido por meio da razão entre a carga dinâmica aplicada sobre os rodados motrizes, a força desenvolvida na barra de tração e a carga dinâmica aplicada sobre os rodados motrizes, de acordo com a Equação 7.

$$C_t = \frac{F_b}{W_t + W_f} \quad (7)$$

em que,

W_t - peso sobre eixo traseiro do trator, kN;

W_f - peso sobre eixo dianteiro do trator, kN.

A potência disponível na barra de tração de um trator agrícola foi determinada através da Equação 8.

$$P = \frac{F_b V}{3600} \quad (8)$$

em que,

P - potência de tração, kW;

V - velocidade de deslocamento do trator, km h^{-1} .

A força disponível na barra de tração foi determinada da diferença entre a força de tração bruta e a resistência ao rolamento.

Um programa computacional foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação MS Visual Basic, visando prever o comportamento trativo de tratores de rodas. O programa foi constituído de dois módulos de simulação. Um simula o comportamento trativo de tratores sem tração dianteira e o outro simula para tratores com tração nas quatro rodas. Em ambos os módulos, o usuário pode selecionar o tipo de pneu do trator, de acordo com a disposição de suas lonas. Como resultados principais da resolução são apresentados a força, a eficiência e o coeficiente de tração, etc. De acordo com a Figura 1, temos o diagrama de blocos do programa computacional desenvolvido.

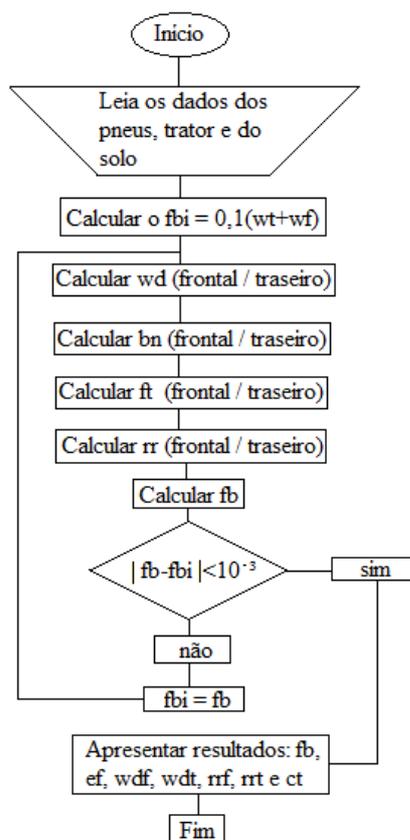


FIGURA 1 Diagrama de blocos do programa computacional desenvolvido.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E VALIDAÇÃO DO MODELO

Para validar o modelo matemático desenvolvido e testar o programa computacional foram realizados experimentos em campo com o trator visando sua comparação com os dados obtidos da simulação.

O trator utilizado foi um modelo TL85E, ano de fabricação 2012, com potência declarada pelo fabricante de 64,8 kW (88 cv) no motor, era equipado com TDA, transmissão com câmbio sincronizado de 12 velocidades, distribuídos em 3 grupos (I, II, III) e 4 marchas (1, 2, 3, 4) que variam a velocidade de 1,8 e 28,9 km h⁻¹ na rotação nominal do motor (2200 rpm), conforme informações do fabricante.

No Quadro 2 são apresentadas as características dos pneus, enquanto no Quadro 3 são representadas as características do trator 4x2 TDA, sendo as mesmas utilizadas como parâmetros de entrada no programa de computador.

O índice de cone foi determinado de acordo com as recomendações da ASAE S313.2 (1998), e seus resultados analisados até 15 cm de profundidade, visando o estudo de tração para diferentes condições do solo (Quadro 4).

QUADRO 2. Características dos pneus do trator ensaiado

Descrição	Roda traseira	Roda dianteira
Especificação	18,4-34	14,9-24
Diâmetro (m)	1,61	1,22
Altura da banda de rodagem (m)	0,37	0,30
Deflexão do pneu (m)	0,06	0,06
Largura da banda de rodagem (m)	0,47	0,38

QUADRO 3. Características do trator agrícola ensaiado

Descrição	Valor
Peso sobre o eixo dianteiro do trator (kN)	17,7
Peso sobre o eixo traseiro do trator (kN)	26,1
Altura da barra de tração (m)	0,47
Potência máxima disponível na TDP (kN)	56,7
Distância entre eixos (m)	2,35

QUADRO 4. Índice de cone do solo para diferentes superfícies

Descrição	Valor
Superfície 1 (kPa)	2847,87
Superfície 2 (kPa)	1116,21
Superfície 3 (kPa)	1259,56

Para determinar a potência na barra de tração do trator foram mensurados a força na barra e a velocidade de deslocamento do conjunto. Para obtenção da força na barra de tração foi utilizada uma célula de carga em forma de “Z”, com capacidade máxima de 50 kN.

Foi construído um anteparo que substitua a barra de tração do trator, onde a mesma fique fixa e sujeita apenas à força de tração.

Foi instalada uma roda dentada juntamente com sensor de infravermelho na ponta de eixo traseira do trator os quais serão responsáveis em auxiliar a mensuração da patinação das rodas motrizes.

A patinação das rodas motrizes foi determinada com base na relação entre o número de dentes do rodado do trator sem carga e com o trator em condições de trabalho durante os testes experimentais, conforme Equação 9:

$$s = 1 - \frac{n_0}{n_1} \quad (9)$$

em que,

n_1 - número de voltas das rodas motrizes do trator, em regime de trabalho;

n_0 - número de voltas das rodas motrizes do trator, operando sem carga.

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados Field Logger para armazenar continuamente, os sinais da célula de carga, do sensor infravermelho e dos medidores de fluxo. Após o término do experimento, os dados serão transferidos para um computador e posteriormente processados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a Figura 2, pode-se observar que o programa computacional desenvolvido possui uma interface atrativa ao usuário é de fácil operação. O mesmo permite selecionar o tipo de pneu utilizado no trator sendo radial ou diagonal, simular tratores 4x4, 4x2 e 4x2 com tração auxiliar ligada e desligada, para diferentes estados de mobilização do solo.

FIGURA 2. Janela principal do programa de computador para simulação de tratores agrícolas de pneus.

Os resultados são apresentados de forma clara e organizada, apresentando-se eficiência tratória, coeficiente de tração, potência de tração, potência máxima na barra de tração e força na barra de tração.

Para melhor caracterizar o ensaio, estão inseridos no Quadro 5, os resultados relativos à velocidade de trabalho, patinagem e força de tração em relação a superfície onde ocorreu o ensaio e as três marchas avaliadas e com a TDA desligada, com rotação do motor a 2000 rpm.

QUADRO 5. Os resultados obtidos em cada superfície onde ocorreu o ensaio.

Marcha no trator de ensaio	Marcha no trator de lastro	Velocidade (km/h)	Força (N)	Patinagem (%)
Superfície 1				
I 2	Sem carga	2,32	0,00	
	A-2	2,18	9061,15	6,06
	A-1	2,18	12704,58	6,06
	B-4	2,12	14861,52	8,82
	B-3	2,18	18102,10	6,06
II – 2	Sem carga	5,54	0,00	
	A-3	5,54	6344,74	0,00
	A-2	5,14	9446,57	7,14
	A-1	5,14	14300,70	7,14

	B - 4	4,50	18149,10	18,75
	B - 3	4,24	22609,70	23,53
III-1	Sem carga	9,00	0,00	
	A-3	9,00	6892,10	0,00
	A-2	8,00	11406,87	11,11
	A-1	7,20	17537,24	20,00
	B-4	6,55	21264,55	27,27
	B-3	5,14	23884,27	42,86
Superfície 2				
I-2	Sem carga	2,32	0,00	
	A-3	2,06	9370,45	11,43
	A-2	1,95	11762,59	16,22
	A-1	1,89	13220,17	18,42
	B-4	1,57	16068,83	32,61
II-2	Sem carga	5,54	0,00	
	A-4	4,80	9073,68	13,33
	A-3	4,50	10842,85	18,75
	A-2	4,24	13668,68	23,53
	A-1	4,24	15238,25	23,53
	B-4	4,00	18165,54	27,78
III-1	Sem carga	9,00	0,00	
	A-4	8,00	8807,18	11,11
	A-3	7,20	10528,96	20,00
	A-2	6,55	12706,45	27,27
	A-1	4,80	17338,18	46,67
Superfície 3				
I-2	Sem carga	2,32	0,00	
	A-2	1,85	11682,72	20,51
	A-1	1,67	14848,36	27,91
	B-4	1,57	15372,46	32,61
	B-3	1,38	17460,93	40,38
II-2	Sem carga	5,14	0,00	
	A-3	4,80	9372,89	6,67
	A-2	4,00	12559,29	22,22
	A-1	4,00	16129,64	22,22
	B-4	3,60	17655,19	30,00
III-1	Sem carga	8,00	0,00	
	A-4	7,20	10689,71	10,00
	A-3	7,20	8978,61	10,00
	A-2	6,55	13122,20	18,18
	A-1	6,00	16207,31	25,00

Na Figura 3 encontram-se as curvas de eficiência tratória simuladas para tratores agrícolas de pneus, trabalhando sob um solo com índice de cone de 1.259 kPa, com pneus radiais e diagonais com tração dianteira auxiliar ligada e desligada. Os tratores 4x2 com a tração dianteira auxiliar ligada apresentaram valores superiores comparados com tração dianteira auxiliar desligada. O trator agrícola simulado apresentou resultados 6,3% maiores estando com a tração dianteira auxiliar ligada em relação a mesma desligada dotado de pneus radiais, utilizando pneus diagonais a diferença foi de 10,5%.

A queda na curva de eficiência tratória é resultado do aumento da patinagem do rodado motriz, os valores máximos encontrados para tratores com pneus radiais estão na faixa de 5% de patinagem do rodado motriz, enquanto os valores máximos encontrados para tratores com pneus diagonais estão na faixa de 13% de patinagem do rodado motriz.

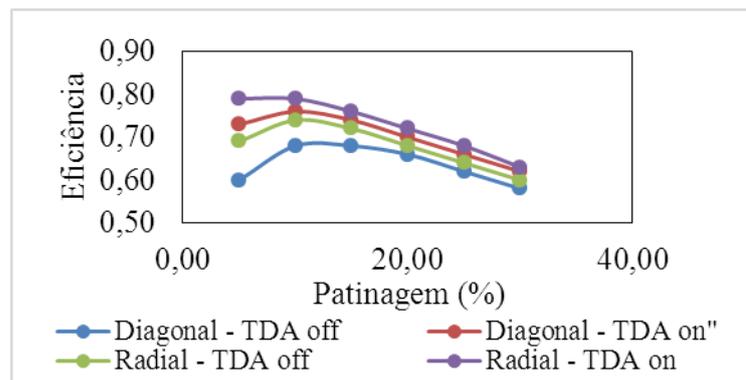


FIGURA 3. Eficiência tratória em função da patinagem do rodado motriz, para os tratores agrícolas usando pneus diagonais e radiais e índice de cone de 1259 kPa, com a TDA desligada e ligada.

Na Figura 4 são apresentadas as curvas do coeficiente de tração simulado com trator, trabalhando sobre um solo com índice de cone de 1259 kPa, com a tração auxiliar dianteira (TDA) ligada e desligada, equipado com pneu diagonal ou radial em função da patinagem do rodado motriz.

O coeficiente de tração simulado do trator, para a tração dianteira auxiliar ligada e desligada, usando pneus radiais foi 5,5% superior a aquela quando se usou pneus diagonais. Resultados semelhantes foram obtidos por TAYLOR et al. (1976) e SOUSA et al. (2002).

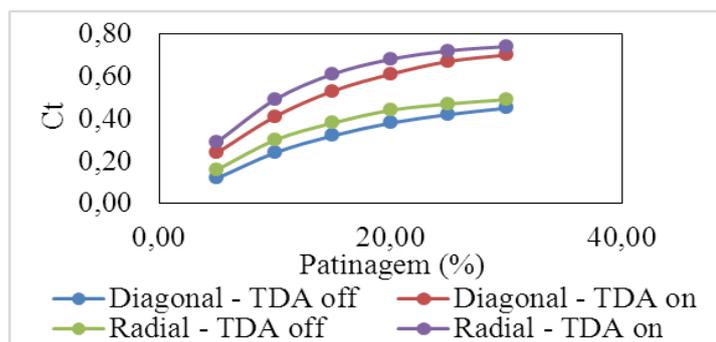


FIGURA 4. Coeficiente de tração simulados em função da patinação do rodado motriz, para o trator usando pneus diagonais e radiais e índice de cone de 1259 kPa, com a TDA desligada e ligada.

Na Figura 5 são apresentados os valores de patinação encontrados com o sensor infravermelho (S_s) e os valores de patinação encontrados relacionando as velocidades encontradas em cada ensaio (S_v). Como podemos observar no comportamento dos pontos, os valores de patinação encontram-se muito próximos garantindo assim a viabilidade da utilização do sensor infravermelho para a determinação da patinação.

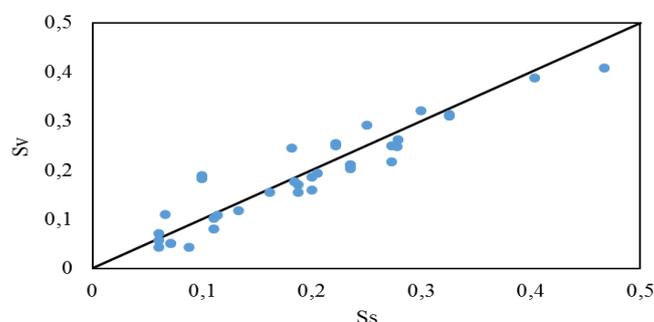


FIGURA 5. Valores de patinação obtidos através do sensor infravermelho e comparando as velocidades experimentais.

No Quadro 6 estão inseridos os resultados obtidos experimentalmente e simulados no programa de computador, relativos à eficiência tratória, coeficiente de tração e potência na barra de tração em relação a superfície onde ocorreu o ensaio e as três marchas avaliadas e com a TDA desligada, com o motor na rotação de 2000 rpm.

QUADRO 6. Resultados obtidos experimentalmente e simulados no programa em cada superfície onde ocorreu o ensaio

Superfície 1 (IC 2847 kPa)							
Marcha no trator de ensaio	Marcha no trator de lastro	Et experimental (adm)	Ct experimental (adm)	Pt experimental (kW)	Et simulado (adm)	Ct simulado (adm)	Pt simulado (kW)
I - 2 - 2000 rpm	A-2	0,942	0,207	5,492	0,780	0,220	5,890
	A-1	0,956	0,290	7,700	0,780	0,220	5,890
	B-4	0,956	0,339	8,742	0,790	0,300	7,720
	B-3	0,929	0,413	10,971	0,780	0,220	5,890
II - 2 - 2000 rpm	A-3	1,000	0,145	9,761	-1,270	-0,020	-1,620
	A-2	0,949	0,215	13,495	0,780	0,250	15,800
	A-1	0,949	0,326	20,430	0,780	0,250	15,800
	B - 4	0,844	0,414	22,686	0,730	0,470	25,930
	B - 3	0,798	0,516	26,600	0,690	0,510	26,490
III-1 - 2000 rpm	A-3	1,000	0,157	17,230	-1,270	-0,020	-2,630
	A-2	0,920	0,260	25,349	0,780	0,350	34,460
	A-1	0,840	0,400	35,074	0,720	0,490	42,560
	B-4	0,783	0,485	38,663	0,660	0,530	42,640
	B-3	0,887	0,545	34,120	0,510	0,570	35,550
Superfície 2 (IC 1116 kPa)							
I-2 - 2000rpm	A-3	0,886	0,214	5,355	0,720	0,310	7,850
	A-2	0,838	0,268	6,358	0,700	0,390	9,130
	A-1	0,816	0,301	6,958	0,690	0,410	9,430
	B-4	0,674	0,366	6,986	0,570	0,480	9,100
II-2 - 2000 rpm	A-4	0,867	0,207	12,098	0,720	0,350	20,210
	A-3	0,813	0,247	13,554	0,680	0,410	22,590
	A-2	0,765	0,312	16,081	0,650	0,450	23,010
	A-1	0,765	0,348	17,927	0,650	0,450	23,010
	B-4	0,722	0,414	20,184	0,610	0,470	22,660
III-1 - 2000 rpm	A-4	0,889	0,201	19,572	0,720	0,310	29,990
	A-3	0,800	0,240	21,058	0,670	0,420	37,050
	A-2	0,727	0,290	23,103	0,610	0,460	36,930
	A-1	0,533	0,395	23,118	0,440	0,480	28,340

Superfície 3 (IC 1259 kPa)

I-2 - 2000 rpm	A-2	0,795	0,266	5,991	0,680	0,440	9,930
	A-1	0,721	0,339	6,906	0,620	0,480	9,840
	B-4	0,674	0,351	6,684	0,580	0,500	9,440
	B-3	0,596	0,398	6,716	0,500	0,500	8,500
II-2 - 2000 rpm	A-3	0,933	0,214	12,497	0,720	0,210	12,490
	A-2	0,778	0,286	13,955	0,670	0,450	22,130
	A-1	0,778	0,368	17,922	0,670	0,450	22,130
	B-4	0,700	0,403	17,655	0,600	0,490	21,460
III-1 - 2000 rpm	A-4	0,900	0,244	21,379	0,740	0,300	25,980
	A-3	0,900	0,205	17,957	0,740	0,300	25,980
	A-2	0,818	0,299	23,859	0,700	0,420	33,570
	A-1	0,750	0,370	27,012	0,640	0,470	34,380

Na Figura 6 encontram-se os valores obtidos experimentalmente para a eficiência tratória (Et ex) e os valores de eficiência tratória obtidos através de simulação pelo programa (Et si). Pelo comportamento dos pontos, observou-se que o modelo matemático adotado subestimou os dados em relação à os obtidos experimentalmente, apresentando um erro absoluto médio de 15%.

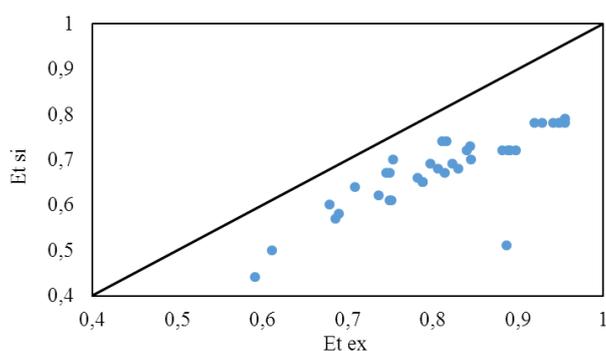


FIGURA 6. Valores obtidos experimentalmente para a eficiência tratória (Et ex) e os valores obtidos através de simulação para a eficiência tratória (Et si).

Os valores obtidos experimentalmente para o coeficiente de tração (Ct ex) e os valores de coeficiente de tração obtidos através de simulação pelo programa (Ct si) encontram-se na Figura 7. Pela de pulverização dos pontos, observou-se que o modelo matemático adotado

superestimou os dados em relação aos obtidos experimentalmente, apresentando um erro absoluto médio de 33%.

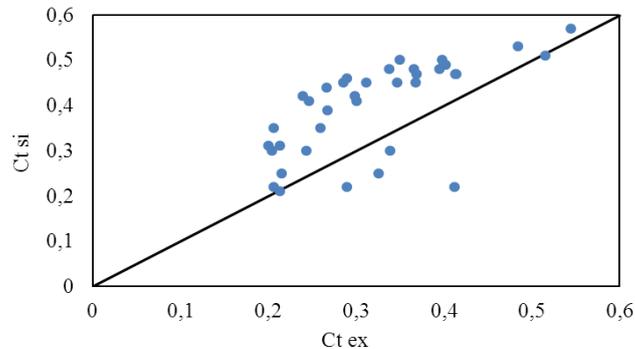


FIGURA 7. Valores obtidos experimentalmente para o coeficiente de tração (Ct_{ex}) e os valores de coeficiente de tração obtidos através de simulação pelo programa (Ct_{si}).

Na Figura 8 estão contidos valores de potência na barra obtidos através de simulação pelo programa (Pt_{si}) e os valores de coeficiente de tração obtidos experimentalmente para a potência na barra (Pt_{ex}). Pela localização dos pontos na área do gráfico, observou-se que o modelo matemático adotado superestimou os dados em relação à os obtidos experimentalmente, apresentando um erro absoluto médio de 32,8%.

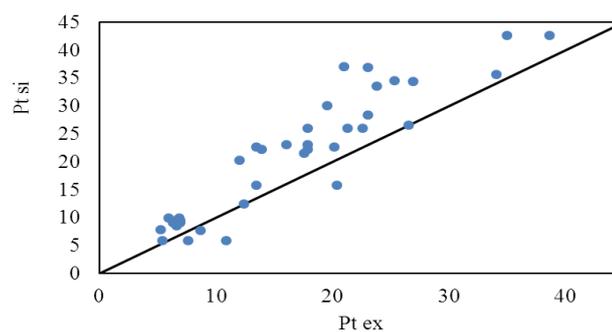


FIGURA 8. Valores de potência na barra obtidos através de simulação pelo programa (Pt_{si}) e os valores de coeficiente de tração obtidos experimentalmente para a potência na barra (Pt_{ex}).

CONCLUSÕES

O programa computacional desenvolvido apresentou interface intuitiva ao usuário e facilidade de uso, pode-se concluir que:

1. A distribuição de carga, características do solo e dos pneus influenciam diretamente o desempenho de tratores agrícolas de pneus.
2. O modelo computacional foi considerado satisfatório, por apresentar resultados próximos aos obtidos experimentalmente, sem ter havido calibração com relação aos dados obtidos.
3. Para se obter valores mais próximos da realidade há necessidades de realização de mais testes, visando a calibração do programa computacional desenvolvido.
4. O sistema de aquisição de dados foi capaz de mensurar as magnitudes das variáveis de interesses, apresentando robustez em todas as superfícies testadas.

REFERENCIAS

American Society of Agricultural Engineers. **ASAE Standards S313.2**. St. Joseph, p.820-821, 1998.

BRIXIUS, W.W. **Traction prediction equations for bias ply tires**. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1987. 8p. Paper 87-1622.

MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A. **Desempenho de um trator agrícola em função do tipo construtivo do pneu e da lastragem líquida em três velocidades de deslocamento na pista com superfície firme**. Revista Engenharia na Agricultura, v.24, n.1, p.68-84, 2009.

SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; QUEIROZ, D.M.; RONDÓN, P.P. Simulación del rendimiento de tractores agrícolas de ruedas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Habana, v. 11, n.2, p. 41-47, 2002.

TAYLOR, J.H.; BURT, E.C.; BAILEY, A.C. Radial tire performance in firm and soft soils. Transaction of ASAE, St. Joseph, v.19, n.6, 1976. p.1062-1064.

ZEBROWSKI, J. **Traction efficiency of a wheeled tractor in construction operations**. Automation in Construction, v.19, p.100-108, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.09.007>.