

PAULA CRISTINA NATALINO RINALDI

**PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS DE
PNEUS COMERCIALIZADOS NO BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R578p
2011

Rinaldi, Paula Cristina Natalino, 1981-

Parâmetros de desempenho de tratores agrícolas de pneus
comercializados no Brasil / Paula Cristina Natalino Rinaldi.
– Viçosa, MG, 2011.

106f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 89-96.

1. Tratores agrícolas. 2. Máquinas agrícolas.
3. Desempenho. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

CDD 22. ed. 631.372

PAULA CRISTINA NATALINO RINALDI

**PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS DE PNEUS
COMERCIALIZADOS NO BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do título de *Doctor
Scientiae*.

APROVADA EM: 28 de outubro de 2011.



Prof. Luciano Baiao Vieira



Prof. Mauri Martins Teixeira
Coorientador



Prof. Luciano José Minette



Prof. Nilson Salvador



Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

A Deus, por me ter mantido erguida em inúmeros momentos difíceis dessa caminhada.

A meus pais, Paulo Sérgio Rinaldi e Élia Natalino Rinaldi, pois sem o esforço exaustivo de ambos, não teria tido a oportunidade de pleitear esse título.

Além do esforço, do trabalho cansativo que tiveram que enfrentar para que eu pudesse sempre estudar e estar chegando ao final dessa etapa, gostaria de agradecer pelo amor, carinho e atenção incondicionais que sempre me ofereceram.

À minha querida mãe, sempre guerreira, gostaria de parabenizá-la pela sua luta e agradecer pela confiança que sempre depositou em mim, afirmando que eu me realizaria como Engenheira Agrícola, profissional nunca antes conhecida em meu ambiente familiar.

Onde estiver, sei que vou caminhar com você, meu pai, meu amigo.
Seja na terra ou no céu, pai.
Onde estiver, sei que estaremos sempre unidos em pensamento e coração,
meu pai, meu amigo.
Esse amor, amor fraternal, que nunca vai nos separar.

Ao meu amado pai,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por estar sempre ao meu lado, dando-me conforto nos momentos difíceis.

Aos meus amados pais Paulo Sérgio Rinaldi e Élia Natalino Rinaldi, pela confiança, amor, carinho, amizade e dedicação incessante.

À minha vovó Irene de Andrade Rinaldi, pela força e incentivo nessa conquista.

À Universidade Federal de Viçosa, pela grande oportunidade oferecida para a realização do curso de doutorado, principalmente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA).

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Rio Pomba, que tornou meus horários flexíveis para que eu pudesse conduzir minha pesquisa e concluir meu curso.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, através da bolsa de pesquisa durante uma etapa do curso.

Ao querido amigo e orientador, Professor Dr. Haroldo Carlos Fernandes, cujo apoio e compreensão foram essenciais para iniciar, conduzir e concluir meu curso.

Aos Professores Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon, pelos esclarecimentos e sugestões.

A todos os professores da Universidade Federal de Viçosa, por, ao longo do curso, terem-se dedicado a transmitir conhecimentos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e Laboratório de Mecanização Agrícola, pelos seus serviços prestados e pela amizade durante o decorrer do curso.

Aos meus amigos e colegas da pós-graduação em Mecanização Agrícola, pela amizade dentro e fora da Instituição.

Ao querido Cleyton Batista de Alvarenga que entrou em minha vida oferecendo-me seu carinho, amor e atenção, sempre disposto a me ouvir e ajudar, agradeço pelo amor e dedicação.

Às minhas tias (os), madrinhas (os) e primas (os), agradeço por de alguma forma terem me oferecido apoio, seja com um abraço, uma palavra

ou qualquer gesto carinhoso. Às tias do coração, Constança e Luíza, que fazem parte da minha família.

Às minhas amigas e irmãs do coração, Daniela Alencar Pinto e Ana Catarina Monteiro Carvalho Mori da Cunha, pela sincera amizade, companheirismo e por sempre estarem comigo em qualquer momento.

BIOGRAFIA

PAULA CRISTINA NATALINO RINALDI, filha de Paulo Sérgio Rinaldi e Élia Natalino Rinaldi, nasceu em 27 de abril de 1981, na cidade de Ubá, Minas Gerais.

Em dezembro de 1998, concluiu o ensino médio no Colégio Anglo, em Ubá, MG.

Em março de 2000, iniciou o Curso de Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, concluindo-o em julho de 2005.

Em janeiro de 2006, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, área de concentração em Mecanização Agrícola, defendendo a dissertação em 31 de janeiro de 2008.

Em março de 2008, iniciou o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, área de concentração em Mecanização Agrícola.

Em agosto de 2010, assumiu como Professora Efetiva EBTT, dedicação exclusiva ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Rio Pomba.

Em outubro de 2011, submeteu-se à defesa de tese no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE QUADROS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Tratores agrícolas.....	18
2.2. Desempenho dos tratores agrícolas.....	21
2.2.1. Tração dos tratores agrícolas.....	24
2.2.2. Potência disponível no trator.....	26
2.2.3. Torque do motor.....	27
2.2.4. Relação peso do trator/potência do motor	28
2.2.5. Força de tração máxima.....	31
2.2.6. Relação força de tração/peso (eficiência de tração)	32
2.2.7. Rendimento de tração.....	33
2.2.8. Coeficiente de tração	34
2.2.9. Estabilidade dos tratores.....	35
2.2.10. Consumo horário e específico de combustível	36
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1. Potência disponível.....	39
3.1.1. Potência disponível na tomada de potência.....	39
3.1.2. Potência disponível na barra de tração	39
3.2. Torque do motor	40
3.2.1. Torque na potência nominal do motor.....	40
3.2.2. Torque na tomada de potência a 540 rpm	40
3.3. Reserva de torque	40
3.4. Reserva de rotação	41
3.5. Relação peso do trator/potência do motor.....	42
3.6. Força de tração máxima estimada na barra de tração visando à estabilidade do trator.....	42
3.7. Relação força de tração/peso	43
3.8. Rendimento de tração	44
3.9. Transferência de peso	44
3.10. Coeficiente de tração com e sem lastro	45
3.11. Declividade operacional limite com e sem lastros	46
3.12. Declividade máxima operacional com e sem lastros	49
3.13. Consumo horário de combustível estimado	49
3.14. Autonomia de combustível	50
3.15. Consumo específico de combustível	50
3.15.1. Consumo específico de combustível em relação à potência nominal do motor	50
3.15.2. Consumo específico na TDP	51
3.16. Rendimento termomecânico.....	51
3.17. Estatística.....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53

4.1.	Potências disponíveis	55
4.2.	Reserva de torque e reserva de rotação	59
4.3.	Relação peso do trator pela potência do motor	60
4.4.	Força de tração máxima	62
4.5.	Relação força de tração pelo peso do trator	64
4.6.	Rendimento de tração	66
4.7.	Transferência de peso	69
4.8.	Coeficiente de tração	70
4.9.	Centro de gravidade	72
4.10.	Declividade operacional limite	74
4.11.	Declividade máxima operacional	76
4.12.	Consumo horário de combustível	79
4.13.	Autonomia de combustível	81
4.14.	Consumo específico de combustível	82
4.15.	Rendimento termomecânico.....	85
5.	CONCLUSÕES	87
6.	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE	96

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Variações da potência dos tratores agrícolas, ASAE 497.4(2003).	39
FIGURA 2. Representação esquemática da transferência de peso no trator agrícola com e sem lastro.	44
FIGURA 3. Configuração geométrica das cotas com o trator na horizontal.	46
FIGURA 4. Configuração geométrica das cotas com o trator inclinado a 25°.	47
FIGURA 5. Percentual de participação de cada fabricante em relação ao total dos tratores analisados.	53
FIGURA 6. Número de modelos dos tratores por fabricante em função da faixa de potência.	54
FIGURA 7. Número de modelos dos tratores por fabricante em função do tipo de tração.	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Faixa de potência dos tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil	38
TABELA 2. Avaliação da reserva de torque dos motores dos tratores agrícolas	41
TABELA 3. Relação peso/potência do motor para as condições com e sem lastros no trator	42
TABELA 4. Eficiência de tração em relação à força de tração máxima e ao peso do trator com lastro	43

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Modelos de tratores comercializados no Brasil em função de cada fabricante	53
QUADRO 2. Potências disponíveis na TDP (kW) e na BT em concreto (kW), em função da faixa de potência dos tratores	55
QUADRO 3. Potências disponíveis na barra de tração em solo firme (kW), em solo arado (kW) e em solo solto (kW), em função da faixa de potência dos tratores	56
QUADRO 4. Potências disponíveis na TDP (kW) e na BT em concreto (kW), em função do tipo de tração dos tratores.....	57
QUADRO 5. Potências disponíveis na BT em solo firme (kW), na BT em solo arado (kW) e na BT em solo solto (kW), em função do tipo de tração dos tratores.....	58
QUADRO 6. Reserva de torque (%) e reserva de rotação (%) em função da faixa de potência dos tratores	59
QUADRO 7. Reserva de torque (%) e reserva de rotação (%), em função do tipo de tração dos tratores	60
QUADRO 8. Relação peso trator pela potência do motor (N kW^{-1}), com lastro e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores.....	61
QUADRO 9. Relação peso trator pela potência do motor (N kW^{-1}), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	62
QUADRO 10. Força de tração máxima (N), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores	63
QUADRO 11. Força de tração máxima (N), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	64
QUADRO 12. Relação força de tração pelo peso do trator (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores.....	65
QUADRO 13. Relação força de tração pelo peso do trator (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	66
QUADRO 14. Rendimento de tração (adimensional) em concreto, em solo firme, em solo arado e em solo solto, em função da faixa de potência dos tratores.....	68
QUADRO 15. Rendimento de tração (adimensional) em concreto, em solo firme, em solo arado e em solo solto, em função do tipo de tração dos tratores.....	68
QUADRO 16. Transferência de peso (N), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores.....	69
QUADRO 17. Transferência de peso (N), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	70
QUADRO 18. Coeficiente de tração (percentual), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores	70
QUADRO 19. Coeficiente de tração (percentual), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores.....	71
QUADRO 20. Altura do centro de gravidade (mm), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores	72
QUADRO 21. Altura do centro de gravidade (mm), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores.....	73

QUADRO 22. Declividade operacional limite na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores	74
QUADRO 23. Declividade operacional limite na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	75
QUADRO 24. Declividade operacional limite na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores	75
QUADRO 25. Declividade operacional limite na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	76
QUADRO 26. Declividade máxima operacional na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores	77
QUADRO 27. Declividade máxima operacional na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	77
QUADRO 28. Declividade máxima operacional na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores	78
QUADRO 29. Declividade máxima operacional na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	79
QUADRO 30. Consumo horário de combustível ($L\ h^{-1}$), em função da faixa de potência dos tratores	80
QUADRO 31. Consumo horário de combustível ($L\ h^{-1}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores	81
QUADRO 32. Autonomia de combustível (horas), em função da faixa de potência dos tratores	81
QUADRO 33. Autonomia de combustível (horas), em função do tipo de tração dos tratores	82
QUADRO 34. Consumo específico de combustível ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$) em relação à potência nominal do motor, em função da faixa de potência dos tratores ...	83
QUADRO 35. Consumo específico de combustível ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$) em relação à potência nominal do motor, em função do tipo de tração dos tratores	83
QUADRO 36. Consumo específico de combustível ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$) na TDP, em função da faixa de potência dos tratores	84
QUADRO 37. Consumo específico de combustível ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$) na TDP, em função do tipo de tração dos tratores	84
QUADRO 38. Rendimento termomecânico (%), em função da faixa de potência dos tratores	85
QUADRO 39. Rendimento termomecânico (%), em função do tipo de tração dos tratores	85

RESUMO

RINALDI, Paula Cristina Natalino, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2011. **Parâmetros de desempenho de tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Orientadores: Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

A mecanização agrícola brasileira teve seu grande desenvolvimento a partir de 1959, com o trabalho manual e semimecanizado sendo substituído gradativamente pelo mecanizado, chegando, nos dias de hoje, a um alto nível de mecanização. No Brasil, atualmente, além de não existir um centro de ensaios obrigatórios, são poucos os trabalhos que visam a determinar o desempenho dos tratores agrícolas. Os testes de desempenho dos espécimes são feitos pelos fabricantes e, por não ser exigida a divulgação oficial dos relatórios, os consumidores só dispõem de informações do próprio fabricante. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os parâmetros de desempenho dos tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil em relação às faixas de potência e tipo de tração, por meio de consulta às especificações técnicas dos fabricantes, relatórios de ensaios anteriores e medições “in loco” de alguns espécimes, pressupondo que uma análise detalhada das informações contidas nas especificações técnicas e as medições de certas características possibilitassem analisar o real potencial de cada modelo de trator. Para isso, foram calculados, dos 191 tratores agrícolas de pneus fabricados/comercializados no Brasil, no período de julho de 2010 a julho de 2011, os seguintes parâmetros: potência disponível na tomada de potência (TDP) e na barra de tração (BT); torque; relação peso do trator/potência do motor; força de tração máxima estimada na BT; relação força de tração/peso; rendimento de tração; transferência de peso; coeficiente de tração; declividade operacional; consumo horário de combustível; autonomia de combustível; consumo específico de combustível; e rendimento termomecânico. Alguns desses parâmetros foram avaliados em diferentes condições de solo e lastragem. Os resultados demonstraram que a faixa de potência IV e tipo de tração 4x2 TDA apresentam os melhores valores para potências disponíveis, reserva de torque e força de tração máxima estimada; os tratores na faixa III de potência e tipo de tração 4x2

TDA têm capacidade para trabalhar em maiores declividades; e o consumo horário e específico de combustível é menor para os tratores 4x2 e na faixa I potência. Pode-se concluir que os modelos de tratores da faixa II e o tipo de tração 4x2 TDA têm maior representatividade no mercado nacional. Entre os parâmetros estudados, o melhor desempenho foi registrado para os tratores das faixas III e IV e tipo de tração 4x2, tendo sido a metodologia utilizada eficiente para a determinação dos parâmetros de desempenho dos tratores.

ABSTRACT

RINALDI, Paula Cristina Natalino, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2011. **Performance parameters of agricultural tractors with marketed tires in Brazil.** Advisor: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisors: Mauri Martins Teixeira and Paulo Roberto Cecon.

Brazilian agricultural mechanization has had its great development since 1959, with the manual and semi-mechanized work gradually being replaced by mechanized, reaching today a high level of mechanization. In Brazil today, beyond there is no mandatory testing center, there are few studies aiming to determine the performance of agricultural tractors. Performance tests of the specimens are made by manufacturers, and because the official reports disclosure is not required, consumers have information only from the own manufacturer. Thus, this study aimed to evaluate the performance parameters of the agricultural tractors with manufactured and/or sold tires in Brazil in relation to power ranges and type of traction, through manufacturers consultation about the technical specifications, reports of previous tests, and measurements "*in loco*" of some specimens, assuming that a detailed analysis of the informations contained in the technical specifications and measurements of certain characteristics could enable the analysis of the real potential of each tractor model. To do so, from 191 agricultural tractors with marketed tires in Brazil, from July 2010 to July 2011, we calculated the following parameters, available *thermal design power (TDP)* and in drawbar (DB), torque, relative tractor weight/engine power, maximum traction force at DB; relative traction force/weight, traction yield, weight transfer, traction coefficient, operating slope, hourly consumption of fuel, fuel autonomy, specific fuel consumption, and thermomechanical performance. Some of these parameters were evaluated under different soil and ballast conditions. The results showed that the power range IV and 4x2 TDA traction type present the best values for available powers, torque reserve, and estimated maximum traction power; tractors in the power range III and 4x2 TDA traction type have the capacity to work in higher slopes; and hourly and specific fuel consumption is lower for 4x2 tractors in the power range I. It can be concluded that tractors models of

range II and 4x2 TDA traction type have greater representation in the national market. Among the studied parameters, the best performance was recorded for the tractor of range III and IV and 4x2 traction type, and the used methodology has been effective to determine the tractors performance parameters.

1. INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola brasileira teve o seu grande desenvolvimento a partir de 1959 com o trabalho manual e semimecanizado sendo substituído gradativamente pelo mecanizado. O trator agrícola, pela sua versatilidade na execução de inúmeras tarefas, proporcionou esse desenvolvimento, servindo como fonte de potência e tração de implementos agrícolas.

A indústria de tratores agrícolas disponibiliza, no mercado brasileiro, vários tipos e modelos dessas máquinas, em faixas de potência entre 15 a 320 kW. Segundo Anfavea (2011), as produções das principais marcas em 2010 foram: Massey Ferguson (17.085 unidades), New Holland (16.391 unidades), Valtra (14.784 unidades), John Deere (10.933 unidades), Agrale (1.987 unidades) e Case (1.529 unidades), totalizando 62.709 unidades de tratores agrícolas.

O interesse nas pesquisas em mecanização agrícola tem sido cada vez mais pronunciado, provavelmente pela evolução desse setor nos últimos 30 anos. Os principais interessados são os projetistas, que desejam prever se o trator projetado atende aos objetivos do projeto; os consultores dos usuários, que necessitam conhecer o desempenho do trator; os usuários, que necessitam entender os aspectos básicos do desempenho para que possam interagir com seus consultores e trabalhar de maneira eficiente; e aqueles responsáveis por fornecer os serviços, como treinamento, administração e segurança.

A avaliação dos fatores de desempenho dos tratores agrícolas é essencial para gerar informações que possibilitem ao agricultor conhecer a máquina e obter o conjunto mecanizado para a otimização dos recursos.

A seleção do conjunto mecanizado está cada vez mais difícil para o agricultor, pois são oferecidos, ao consumidor, diversas marcas e modelos contendo inúmeras inovações tecnológicas. Porém, esta diversidade, muitas vezes, pode dificultar a escolha pelo agricultor em relação ao aspecto operacional, econômico e financeiro.

O desempenho dos tratores agrícolas pode ser avaliado pela força de tração, pela potência na tomada de potência e na barra de tração, pelo

coeficiente e eficiência de tração, pela patinagem das rodas motrizes, pelo consumo de combustível, entre outros parâmetros.

No Brasil, além de não existir um centro de ensaios obrigatórios, são poucos os trabalhos que visam a determinar o desempenho dos tratores agrícolas, então se pressupôs que uma análise detalhada das informações contidas nas especificações técnicas e as medições de certas características possibilitariam o conhecimento do real potencial de cada modelo de trator, em condições estáticas.

Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os parâmetros de desempenho dos tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil, em relação às faixas de potência e ao tipo de tração.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tratores agrícolas

O trator agrícola é uma máquina autopropelida provida de meios que, além de lhe conferir apoio estável sobre uma superfície horizontal, capacitam-no a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas (MIALHE, 1980).

Segundo a ASAE S390.1(1994), o trator agrícola consiste na principal fonte de potência na agricultura, sendo a base da mecanização, pois está envolvido em praticamente quase todas as operações realizadas. Conceitua-se o trator como uma máquina de tração projetada e inicialmente recomendada a fornecer potência aos equipamentos agrícolas, proporcionando uma força na direção de avanço para tracionar os equipamentos de preparo do solo e/ou outros implementos agrícolas.

Schlosser (2001) define o trator agrícola como uma unidade móvel de potência, composta de motor, transmissão, sistema de direção e de sustentação e componentes complementares, em que se acoplam implementos e máquinas com diversas funções. É uma máquina composta de mecanismos complexos capazes de transformar energia química em trabalho com implementos.

Mialhe (1980) comenta que as transmissões dos tratores são mecanismos que recebem, transformam e transmitem potência do motor ao rodado. A embreagem é um mecanismo de aderência, responsável pela conexão do volante do motor aos demais órgãos de transmissão do trator, tendo como função promover ou interromper a transmissão de movimento do motor à caixa de câmbio. A função da caixa de câmbio possibilita uma identidade de características entre o motor e o rodado: velocidade e sentido do movimento e torque transmitido.

O mesmo autor ainda afirma que a transmissão final é o conjunto de mecanismos responsáveis pela transmissão de movimento da caixa de

câmbio ao rodado, sendo composta por coroa e pinhão, diferencial, semi-árvores motoras e redução final.

No trator agrícola, a energia gerada pela combustão é transformada em energia mecânica no motor. O trabalho mecânico desenvolvido no motor é aplicado no acionamento de máquinas e implementos através dos meios de aproveitamento de potência, como o sistema hidráulico, a tomada de potência e a barra de tração (MIALHE, 1974).

O sistema hidráulico do trator é responsável pelo acionamento da direção, do sistema de engate em três pontos e do controle remoto de implementos, que serve para acionar cilindros nos implementos (SCHLOSSER, 2001).

Arias-Paz (2000) afirma que o sistema de engate de três pontos surgiu para substituir a barra de tração, em alguns casos. Esse tipo de engate acopla o implemento ao trator, através de três pontos, fazendo com que o implemento se levante ou se abaixe por meio de um sistema hidráulico. Esse tipo de engate é o que possui maior integração entre implemento e trator, cuja função é levantar, nivelar e ajustar os implementos montados ao trator.

Reis et al. (2002) acrescentam que a barra de tração se encontra na parte traseira do trator, centrada transversalmente e apresenta a possibilidade de se deslocar tanto lateralmente, a fim de que o equipamento acompanhe adequadamente o trator em curva, quanto longitudinalmente, para acoplamento à tomada de potência (TDP) de alguns tipos de máquinas.

De acordo com Schlosser (2001), a barra de tração é usada para equipamentos de arrasto, o que possibilita a aplicação da força de tração do trator em um só ponto.

Através da barra de tração, desenvolve-se a força exigida pelos equipamentos por meio da transferência de energia do motor para os rodados, através das transmissões, que finalmente transformam o torque do eixo motriz do trator em força disponível na barra de tração, isto é, a força de tração resultante da interação do trator com o meio, sendo gerada no motor,

chega ao solo pelas rodas. Do encontro desses dois elementos, formando o conjunto roda-solo, resulta o fenômeno da tração.

A forma mais usada de utilização da potência desenvolvida pelo motor é empregando a barra de tração pela sua versatilidade, porém, é menos eficiente quando comparada à tomada de potência e ao sistema hidráulico (SORANSO, 2006).

As perdas de potência aparecem ao desenvolver tração nas rodas, no eixo da TDP e no sistema hidráulico. O desempenho de um trator pode ser avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível (SILVA e BENEZ, 1997).

A transmissão de potência do motor para a barra de tração sofre diversas perdas passando pela caixa de câmbio, coroa e pinhão, diferencial e redução final. Além dessas perdas na transmissão da potência do motor, ocorrem perdas devido à patinagem, deformação dos pneus, tipo de solo, teor de água do solo, entre outras fontes de perda (MIALHE, 1980). Devido a estas perdas, é necessário conhecer a potência fornecida pelo motor e o que realmente é disponibilizado de potência na barra de tração para tração, bem como o seu real requerimento em força de tração.

A tomada de potência (TDP) tem a função específica de transmitir potência à máquina acoplada ao trator, segundo Arias-Paz (2000). Márquez (1990) afirma que a TDP é a saída direta da potência mecânica do trator, sem passar pelas rodas. Schlosser (2001) acrescenta que, nos materiais técnicos, pode-se encontrar a abreviatura TDP, TDF ou PTO, do inglês *Power take off*.

Schlosser (2001) define que os rodados são uma das partes mais importantes, pois além de outras funções, são responsáveis por converter o movimento rotativo do motor em movimento linear útil, que proporciona o deslocamento. Entre as principais funções dos rodados estão: proporcionar condição de equilíbrio; dar sustentação (flutuação); possibilitar vão livre ao trator, para trabalhar sobre as culturas; propiciar desenvolvimento de tração; suportar o peso total do trator; proporcionar uma interação solo-máquina com o máximo rendimento; e amortecer as vibrações provocadas pelas irregularidades do terreno.

De acordo com Reis et al. (2002), as características dos tratores atuais não são definitivas. O desenvolvimento tecnológico e econômico da agricultura deve continuar atuando no projeto e concepção dos tratores. Algumas tendências de inovações tecnológicas já estão sendo observadas, como aponta Márquez (1990), entre elas estão: pneus mais largos, maior número de marchas, possibilidade de outras rotações na TDP, sistema de engate frontal, TDP frontal, sistemas eletrônicos de controle de equipamentos, fornecimento da potência elétrica aos equipamentos.

Os tratores agrícolas devem receber cuidados especiais e, geralmente, são recomendados pelos fabricantes nos manuais de operação. Por isso, os operadores devem ter acesso a esses manuais para conhecer melhor a máquina e os principais pontos de manutenção, como, por exemplo, pontos de lubrificação, nível do óleo lubrificante, nível de combustível, fluido de arrefecimento, localização da bateria, entre outros (REIS et al., 2002).

2.2. Desempenho dos tratores agrícolas

Testes de potência de motores e ensaios em condições reais de trabalho vêm sendo feitos desde o início da mecanização agrícola, visando ao rendimento dos tratores agrícolas (LINARES, 1996). Porém, no início do século XX, houve um crescente interesse em se conhecer o rendimento dos tratores de uma maneira sistemática e rigorosa. Neste sentido, ensaios oficiais de tratores foram desenvolvidos na Universidade de Nebraska desde 1923, com o objetivo de fornecer informações aos usuários norte-americanos baseados em normas que garantissem que os tratores apresentassem as especificações e características indicadas pelos fabricantes.

Os primeiros ensaios para a barra de tração foram realizados em solos agrícolas, porém a dificuldade em transferir os resultados para os diferentes tipos de solo e condições de trabalho tornou necessário que os ensaios fossem realizados em pistas de concreto, mesmo sabendo-se que

as condições de trabalho em um solo agrícola diferem substancialmente dos de ensaios em pista (LINARES, 1996).

Segundo Zoz (1997), progressos consideráveis vinham sendo obtidos, nas últimas décadas, no estudo da tração através do desenvolvimento de critérios para avaliar o desempenho do trator com base nos resultados de ensaios realizados em pista de concreto. Entretanto, Gabriel Filho et al. (2008) citam a necessidade de maior quantidade de pesquisas para avaliar o desempenho em tração sob condições de campo e, com isso, fornecer informações suficientes para que esse atributo seja estimado.

A modelagem do comportamento dos tratores por meio da adoção de teorias de predição do desempenho tem sua grande utilização atualmente por fabricantes de pneus e de tratores agrícolas, pois permite prever parâmetros como a patinagem, a força de tração, o coeficiente dinâmico de tração e, conseqüentemente, a eficiência em tração, importantes para o processo conceitual e de marketing de projetos. A base destas teorias, segundo Souza Filho (2001), está na caracterização do conjunto mecanizado e do solo.

Os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, torque e potência desenvolvida na tomada de potência (TDP), eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes, consumo de combustível, entre outros (SILVA e BENEZ, 1997).

Os mesmos autores afirmam ainda que a monitorização do desempenho do trator tem sido do interesse de pesquisadores há mais de três décadas, tendo como principal objetivo a otimização do desempenho do trator para aumentar a eficiência de utilização do combustível, de modo que produza máxima quantidade de trabalho por unidade de combustível consumido.

Quanto maior o ajuste da potência disponível do trator com a potência requerida pelo equipamento sob determinadas condições de trabalho, mais eficiente será a seleção da máquina (SERRANO et al., 2003).

A capacidade de tração e fornecimento de potência suficiente para desempenhar a maioria das operações necessárias na agricultura depende,

em parte, do tipo de dispositivo de tração. Nos casos em que esses dispositivos são pneumáticos, o tamanho, a pressão de inflação, a carga aplicada sobre o eixo motriz, a transferência de peso, entre outros, interferem na capacidade de tração do trator (ZOZ e GRISSO, 2003).

Assim, os autores reafirmam que a tração é o resultado da interação entre o rodado e a superfície. Uma preocupação dos pesquisadores diz respeito à eficiência no consumo de combustível, pois representa um custo elevado no processo produtivo, além de ser de origem fóssil e não renovável. O consumo de combustível é influenciado por fatores como lastro, carga demandada na barra de tração, tipo de pneu e velocidade de deslocamento (LOPES et al., 2003a).

A tração dos tratores depende fundamentalmente das características dos rodados e do solo agrícola, devendo ser suficiente para vencer a resistência oferecida para a movimentação do próprio trator, bem como deslocar a carga imposta à barra de tração nas velocidades requeridas para o trabalho (MIALHE, 1980).

Outro problema que afeta o desempenho do trator é o deslizamento das rodas motrizes, ao qual estão diretamente relacionados a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível. O valor da patinagem para se obter a máxima eficiência de tração deve ficar entre 8 a 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos revolvidos e de 14 a 16% em solos arenosos, segundo a ASAE S290.5 (1989).

A norma ASAE 497.4 (2003) apresenta as perdas nas diversas etapas de transmissão de potência para a tomada de potência (TDP) e para a barra de tração e a relação entre elas. Porém, a potência líquida obtida na barra de tração é válida para a condição de piso de concreto (eficiência máxima de transmissão de potência). Portanto, para calcular as diferentes potências na barra de tração em função dos vários tipos e condições de solos agrícolas, esse valor deve ser multiplicado pelo rendimento do rodado nesses solos. Esta representação considera perdas em torno de 19 a 25% da potência produzida no motor aos pontos de acoplamento devidas às perdas decorrentes nos sistema de transmissão, embreagem, diferencial, redução final e rodados.

2.2.1. Tração dos tratores agrícolas

O modelo de trator com tração nas duas rodas traseiras dominou o mercado por muitos anos. Com o aumento das áreas cultivadas e a utilização de grandes equipamentos, surgiu a necessidade do aumento da potência dos tratores, bem como de adaptações nos modelos, com o objetivo de se conseguir um rendimento adequado (BASHFORD et al., 1985).

Os tratores com a opção de acionamento nas 4 rodas, 4x2 TDA, tiveram suas produções iniciais entre as décadas de 60 e 70. Em 1977, foram disponibilizados no mercado brasileiro apenas 17% do total desses tratores. Já na Europa, em 1982, 50% dos tratores vendidos já eram com essa opção de acionamento (RACKHAM e BLIGHT, 1985).

O uso da tração dianteira auxiliar (TDA) em tratores de duas rodas motrizes (2RM) com potência acima de 75 kW disseminou-se no Brasil a partir da década de 1980. Essa tendência alcançou, mais tarde, tratores de menor potência. A eficácia da TDA nesses tratores tem sido comprovada por diversos pesquisadores (MACHADO et al., 2010).

De acordo com Yanai et al. (1998), cerca de 60% dos modelos de tratores disponíveis apresentam tração dianteira auxiliar (TDA), o que demonstra a grande aceitação no mercado nacional. Esta aceitação pode ser atribuída, segundo Corrêa et al. (1998), à capacidade superior de tração destes tratores, principalmente em condições de solo mais adverso.

A maioria dos novos modelos disponíveis no mercado apresenta TDA. A preferência pelos tratores com TDA é devida à sua maior capacidade de tração, principalmente em condições trativas adversas e, sobretudo, pela relação benefício e custo ser positiva e maior que nos outros modelos (MAZIERO, 2010).

Segundo Schlosser (1996), o trator com a opção de tração nas quatro rodas e com os pneus dianteiros com garras de menor diâmetro que os traseiros são muito aceitos no mercado. Esses tratores, também conhecidos como “tracionados”, apresentam a versatilidade de se adequarem em função da operação a ser realizada.

Este tipo de trator agrícola tem uma ligação rígida entre os eixos dianteiros e traseiros, quando o operador aciona a TDA. Com o sistema conectado, o eixo dianteiro gira com uma rotação superior ao eixo traseiro, denominada avanço cinemático. Esse avanço varia de modelo para modelo de trator de acordo com critérios do fabricante e tem a função de corrigir as diferenças de diâmetros entre as rodas do eixo dianteiro e traseiro. Como as velocidades periféricas das duas rodas devem ser aproximadamente iguais, os fabricantes recomendam pares compatíveis de pneus, deixando essas velocidades aproximadamente iguais (LINARES, 1996).

Segundo Schlosser (1996), pesquisas demonstram que com a utilização desses pneus, a rotação do eixo dianteiro deve ser um pouco superior à rotação do eixo traseiro. Esta relação pode ser alterada, já que depende da pressão interna dos pneus, carga sobre os pneus, transferência de peso e do desgaste diferenciado dos pneus (RACKHAM e BLIGHT, 1985).

Hilbert et al. (1992) avaliaram o desempenho de tratores com tração simples e tração dianteira auxiliar com a mesma potência, variando a velocidade de deslocamento em condições de campo. Os testes apresentaram diferenças significativas entre os tratores de tração simples e os de tração dianteira auxiliar em relação à resistência ao rolamento, ao passo que a velocidade de deslocamento não afetou o seu desempenho.

Schlosser (1987) comparou o desempenho de um trator no campo, utilizando duas técnicas de aração, com e sem o uso da tração dianteira auxiliar. Observou, com o uso da TDA, um aumento de 17% na capacidade operacional efetiva e diminuição da patinagem.

Yanai et al. (1988), com base em dados levantados em ensaios de tratores em concreto, analisaram o desempenho de cinco tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar, quando comparados com sua versão de tração simples, e concluíram que o uso da tração dianteira causou um aumento de 33,3% na força, na barra de tração.

Utilizando um trator com potência máxima de 71 kW, em um solo franco, Yanai et al. (1999) ultimaram que o emprego da TDA também

influencia significativa e positivamente na patinagem, velocidade de deslocamento e potência na barra de tração.

Spagnolo et al. (2010), quantificando o esforço máximo na barra de tração de um trator com potência de 18,4 kW em piso firme (asfalto), com e sem a utilização da TDA em diferentes velocidades, constataram que o acionamento da TDA ocasionou acréscimo superior a 22% na força de tração nas marchas reduzidas, e a força de tração não apresentou variação com o acionamento da TDA quando utilizada em marcha simples.

2.2.2. Potência disponível no trator

O trator deve ter potência suficiente para acionar e tracionar máquinas ou implementos que, por outro lado, devem ter tamanho e características compatíveis com o trator (SANTOS, 2010a).

Das três principais maneiras de se utilizar a potência gerada pelo motor de um trator agrícola, tomada de potência, sistema hidráulico e barra de tração, esta última é a mais utilizada, apesar de ser a menos eficiente (LILJEDAHN et al., 1995).

De acordo com Mialhe (1991), dependendo das condições de operação do trator, as perdas na transmissão de potência do motor para a barra de tração podem atingir altos níveis, comprometendo o desempenho do trator.

Zoz (1987), estimando a perda de potência em diferentes condições de solo para tratores 4x2, afirma que as perdas podem variar de 20% em pista de concreto, até 53% ou mais em solos soltos, pois esses solos apresentam condições inadequadas para a tração.

A transmissão da potência do motor para a TDP é feita na maioria dos casos de forma mecânica, através de um conjunto de engrenagens, portanto, sem a influência de agentes externos, onde ocorrem muitas perdas. De acordo com as características dessas engrenagens, as perdas de transmissão poderão ser maiores ou menores, o que se pode afirmar é que a potência disponível na TDP estará sempre abaixo da indicada pelo fabricante (CENEA, 1982).

A ASAE 497.4 (2003) apresentou um diagrama de estimativa de perda de potência nos diferentes setores do trator e em diversos tipos de tratores (4x2, 4x2 TDA, 4x4 e de esteiras) e diferentes condições de superfície. A perda de potência disponível na barra de tração em relação à potência líquida no motor de tratores 4x2 pode variar de 22 a 51% para piso de concreto e solos soltos, respectivamente, enquanto a perda de potência dos tratores 4x2 TDA pode variar de 22 a 42% para piso de concreto e solos soltos, respectivamente.

Qualquer melhoria que puder ser feita com relação à transformação da potência do motor em potência de tração da forma mais eficiente possível contribuirá diretamente para a eficiência da produção agrícola e para a conservação e uso racional de energia (MAZIERO, 2010).

Portanto, é 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, podem-se dimensionar implementos adequados à capacidade do trator (MAZIERO, 2010).

2.2.3. Torque do motor

O torque, segundo Mialhe (1980), é um momento que tende a produzir ou que produz rotação. É o produto de uma força por um raio.

O trator agrícola recebe o movimento que vem do seu motor, transmite-o às rodas, alterando velocidade e torque e aplicando ao solo uma força tangencial. Essa força deve ser suficientemente grande para que sejam vencidas as forças de sentido contrário, que são a resistência ao rolamento e a carga na barra de tração. Essa interação se faz dentro de limites que são próprios das condições do terreno, como o de suportar esforços e o seu conteúdo de água; das características do trator, como pneus e peso; e de quanto o motor pode gerar em torque (SANTOS, 2010b).

Quando o solo não suporta o esforço aplicado, é produzido o fenômeno denominado de patinagem, que ocorre pelo rompimento da porção parcial ou total do solo, que está na região entre as garras dos

pneus, dependendo das condições explicadas anteriormente (SANTOS, 2010b).

De acordo com Hermann et al. (1982) o acréscimo de torque é uma medida que define bem a versatilidade de um motor, ou seja, a capacidade de aumentar o torque à medida que há uma diminuição na rotação do motor. Quanto à reserva de torque ou seu aumento, que é a diferença entre o torque máximo e o torque na potência máxima, espera-se um valor acima de 10% para motores de aspiração normal e acima de 15% para motores turbinados.

Para aumentar a velocidade de deslocamento em pequenas proporções, normalmente o operador eleva a rotação do motor, resultando em queda de torque do motor e aumento no consumo de combustível. Estima-se que a maioria dos motores dos tratores atualmente disponíveis no mercado atingem seu torque máximo em rotações inferiores a 1500 rpm. A partir desta faixa de rotação, a reserva de torque começa a diminuir, a potência requerida na barra de tração e o consumo de combustível passam a aumentar gradativamente à medida que se aumenta ainda mais a rotação do motor sem a troca das à mesma marcha (ALMEIDA et al., 2010).

2.2.4. Relação peso do trator/potência do motor

A evolução histórica do peso do trator bem como da relação peso/potência vem sendo estudada por diversos autores. Em geral, os tratores vêm se tornando mais leves, bem como a relação peso/potência vem sendo reduzida, sendo essa redução maior para tratores de potência mais elevada (MÁRQUEZ, 1990; BIONDI et al., 1996).

Entretanto, Renius (1994) indica que os tratores de menor potência são indicados para trabalhos leves, sendo assim, deve-se obter uma relação baixa, em torno de $343,35 \text{ N kW}^{-1}$, para que não fique muito pesado para uma operação que exige pouco da máquina.

Conforme Márquez (1990) e Biondi et al. (1996), a redução no peso dos tratores é explicada pelo melhor dimensionamento do chassi, que elimina materiais desnecessários e reduz os custos de produção. Esta

redução provoca diminuição da resistência ao rolamento, com importante decréscimo da potência perdida, e induz o uso equipamentos com engate no sistema hidráulico de três pontos, que proporcionam transferência de carga dinâmica às rodas motrizes, substituindo com vantagem o lastro fixo. A redução de peso imprime versatilidade ao trator, entretanto, as operações que demandam grande esforço de tração determinam uma alta dependência de lastro.

Schlosser et al. (2005), comparando o peso dos tratores nacionais em comercialização com as faixas de potência, observaram um aumento no peso em função do aumento da potência. Os tratores com potência superior a 100 kW apresentaram um peso (5.815kg) cerca de 120% superior ao peso dos tratores com potência inferior a 50 kW. Entretanto, a tendência muda quando a comparação é feita tendo como parâmetro a interação entre o peso e a potência. A relação peso/potência diminuiu com o aumento da potência dos tratores. Para os modelos com mais de 100 kW de potência no motor, esta relação foi 38% menor relativamente aos tratores equipados com motores de potência inferior a 50 kW. Assim, pode-se inferir que o aumento na potência é proporcionalmente maior que o aumento do peso.

Os tratores mais leves, com relações peso/potência em torno dos 35 kg kW⁻¹, são adequados à execução de operações mais leves e a maiores velocidades, tais como pulverização, transporte interno e externo na propriedade, entre outras. Já os tratores com relação peso/potência em torno dos 60 kg kW⁻¹ são apropriados a operações de maior exigência de força de tração, desenvolvendo, portanto, menores velocidades, tais como aração, escarificação, gradagem e outras.

Com relação ao uso de tratores de potência elevada e com baixa relação peso/potência para a execução de trabalhos pesados, é necessário adicionar lastro, sendo assim, há necessidade de uma maior capacitação de seus usuários para que essa adição seja feita de maneira correta (SCHLOSSER et al., 2005). Se esse procedimento não for realizado de maneira adequada, haverá reflexo diretamente no incremento dos custos fixos e variáveis da máquina em função da subutilização e do desperdício de combustível.

Os mesmos autores relatam que a relação peso/potência dos tratores nacionais em comercialização no Brasil, para os tratores 4x2 e 4x2 TDA, decresce com o aumento da potência do motor. Além disso, este decréscimo é mais acentuado para os tratores 4x2. O comportamento apresentado pelos tratores confirma a tendência relatada por diversos autores (MÁRQUEZ, 1990; RENIUS, 1994; BIONDI et al., 1996).

Ainda Schlosser et al. (2005) observaram que, para uma mesma potência, há uma grande variação na relação peso/potência, podendo-se encontrar tratores de 40 kW com relações peso/potência que variam de aproximadamente 50 a 90 kg kW⁻¹. Assim, conforme Márquez (1990), é importante, neste caso, escolher o modelo com menor relação peso/potência compatível com a natureza do trabalho a ser efetuado, buscando melhores resultados.

Nota-se que a tendência apresentada pelos tratores de menor potência inverte-se quando são analisados os tratores de maior potência, acima de 80 kW. Neste caso, são encontrados modelos com relações peso/potência que variam de 30 a 65 kg kW⁻¹. Estes últimos, 65 kg kW⁻¹, somente podem ser utilizados eficientemente para a execução de operações pesadas, com grande demanda de força de tração, impossibilitando rendimentos semelhantes em operações leves (SCHLOSSER et al., 2005).

Já os modelos com mais de 80 kW, com relações peso/potência mais próximas de 30 kg kW⁻¹, são mais versáteis, podendo ser utilizados tanto para operações mais leves quanto para operações mais pesadas. Isto traz como vantagem a diminuição do número de tratores necessários na propriedade, o que reduz significativamente os custos, porém aumenta a dependência da adição de peso (lastragem) quando empregados para a execução de trabalhos mais pesados (SCHLOSSER et al., 2005).

Schlosser et al. (2005) analisaram o peso específico de 203 modelos de tratores agrícolas fabricados no Brasil, da marca Massey Ferguson, Agrale, New Holland, John Deere e Valtra. Os resultados evidenciaram que a relação peso/potência não diferiu entre as referidas marcas, ficando em torno dos 60 kg kW⁻¹. Entretanto, para os modelos da marca New Holland, a relação peso/potência foi menor, pois, apesar de apresentar níveis de

potência semelhante aos modelos da Massey Ferguson, John Deere e Valtra, eles podem ser considerados construtivamente mais leves.

A relação peso/potência dos tratores agrícolas fabricados e comercializados no Brasil varia, basicamente, em função da marca e modelo do trator e da potência do motor. É importante salientar que estes dados são parâmetros que auxiliam na seleção dos tratores e na otimização do seu uso, visando à redução dos custos agregados nas máquinas agrícolas (SCHLOSSER et al., 2005).

2.2.5. Força de tração máxima

A tração é a força na direção do deslocamento produzida por um trator em sua barra de tração (ASAE 496.2, 2003).

Entretanto, o solo atua de forma a diminuir a força de tração do trator ao oferecer uma resistência para o avanço da roda, chamada de resistência ao rolamento, com isso a força “possível” se converte em “real”, chamada diretamente de força de tração. Porém, esta redução da força de tração depende de duas circunstâncias: tipo de solo (textura e teor de água) e tipo de rodado (carga aplicada e área de contato pneu/solo). Esta limitação tem uma consequência a patinagem, que faz com que o trator se mova a uma velocidade menor do que a correspondida pelas voltas oriundas do motor (LINARES, 2001).

Gabriel Filho et al. (2008), avaliando o equipamento denominado “Unidade Móvel de Ensaio da Barra de Tração - UMEB”, desenvolvido na FCA/Unesp de Botucatu em três condições de solo agrícola, obtiveram como resultado que a força de tração foi estatisticamente semelhante nas três condições, mantendo-se próxima dos 25 kN, conforme desejado. No solo mobilizado, o intervalo de variação entre o menor e o maior valor foi mais acentuado do que nos demais solos, e as variações não foram maiores do que 2,70%. No solo firme e no solo coberto com palha, o coeficiente de variação foi baixo, com valores iguais a 1,94% e 1,50%, respectivamente.

Segundo Fontana et al. (1986), o aumento da força de tração é uma das principais vantagens do trator 4x2 TDA. Os autores explicam que o

aumento da força de tração para a mesma potência disponível no motor é devido a todo o seu peso ser utilizado como peso dinâmico aderente, desenvolvendo maior tração e menor resistência ao rolamento.

Mantovani et al. (1999), analisando o desempenho de um conjunto trator-implemento agrícola no campo, usando de um sistema eletrônico de medições, observaram que os resultados do esforço de tração obtidos mostraram tendência de correlação em 0,996 com os valores obtidos por meio de fórmulas.

A força de tração necessária é o principal fator a ser considerado para o cálculo da potência nominal que um trator deverá ter no motor para tracionar determinado equipamento (PACHECO, 2000).

Segundo Mialhe (1980), a força de tração deve ser suficiente para vencer a resistência oferecida para movimentação do próprio trator bem como deslocar a carga imposta à barra de tração nas velocidades requeridas para o trabalho.

2.2.6. Relação força de tração/peso (eficiência de tração)

A eficiência no uso dessa força é limitada pela ação dos dispositivos de tração, que, nos tratores agrícolas, mais usualmente, são rodados pneumáticos (SRIVASTAVA et al., 1996).

A baixa eficiência de tração ocorre por causa de alguns fatores como o tipo de solo, distribuição de peso sobre os rodados, características dos rodados, transferência de peso durante a operação, tipo e quantidade de cobertura vegetal, entre outros (GABRIEL FILHO et al., 2002).

Esse mesmo autor, avaliando o desempenho operacional de um trator agrícola em área com diferentes tipos de cobertura vegetal, concluiu que a maior quantidade de matéria seca na superfície do solo aumenta os índices de patinagem e, por isso, diminui a eficiência de tração. Esse fato pode ser explicado pelo fato de a tração ser resultado da interação entre o rodado e a superfície em questão.

Pesquisas demonstram que a máxima eficiência de tração é obtida quando ocorre determinada patinagem dos pneus no solo, cujo valor ideal depende do tipo de terreno onde o trator desenvolve seu trabalho.

Dwyer e Febo (1987) afirmam que a patinagem da roda causa desgaste do pneu e ataque no solo. Algumas patinagens das rodas são inevitáveis e, entretanto, mesmo na máxima eficiência apresenta a quantidade a qual é tolerada.

2.2.7. Rendimento de tração

A qualidade de trabalho de um trator pode ser expressa pelo rendimento de tração, que é a relação entre a potência disponível na barra de tração e a potência fornecida pelo motor (JENANE e BASHFORD, 2000; SANTOS, 2010b).

O rendimento na barra de tração é frequentemente usado para comparar ou avaliar tratores (LILJEDAHN et al., 1995). Segundo Goering et al. (2003), diversas causas reduzem o rendimento da tração, entre elas, a resistência ao rolamento, o atrito e a deflexão do dispositivo de tração. Alguns fatores influenciam nas condições de tração, portanto, no seu rendimento, entre eles: pressão interna do pneu, parâmetros de solo (propriedades físicas), peso suportado pelo pneu, presença de restos culturais ou coberturas no solo.

Segundo Mialhe (1991), quando se passa da condição de pista de concreto para terreno agrícola, é justamente na interface rodado-solo onde as perdas de potência se tornam mais críticas. Para Lanças (1996), as condições superficiais do solo firme apresentaram melhores resultados de eficiência de tração comparando-se com solo preparado (solto).

O rendimento da tração em terrenos arados é baixo e as maiores possibilidades de aumento nestes casos dependem da redução da resistência ao rolamento. Nestas superfícies, a pressão interna pode ser reduzida, comparando com as pressões internas recomendadas para a mesma carga em superfícies firmes, reduzindo a resistência ao rolamento e aumentando a tração, mas é importante o restabelecimento da pressão

interna dos pneus para as superfícies mais firmes, prevenindo, assim, possíveis danos ao pneu, aumentando, conseqüentemente, a tração e a sua vida útil (INNS e KILGOUR, 1978).

Como foi visto, a pressão interna utilizada nos pneus afeta a tração, porém não se deve reduzi-la para valores abaixo da pressão recomendada para a carga aplicada no pneu. Pesquisas realizadas demonstram que o fator de maior influência na vida útil do pneu é a pressão interna (PIRELLI, 1998).

De acordo com Zoz et al. (2002) e Zoz e Grisso (2003), existe uma importante diferença entre o rendimento de tração e o rendimento do trator. O rendimento do trator é proporcional ao rendimento dos mecanismos de tração, mas não igual a ele; portanto, para se obter o desempenho de tração, é necessário conhecer a potência disponível no dispositivo de tração. Um trator pode operar com uma combinação de dispositivos de tração diferentes, ou seja, pneus de tamanho diferentes nas árvores dianteiras e traseiras. Devido à transferência de peso durante a operação de campo, mesmo num trator com a mesma configuração de pneus na frente e na parte traseira (tratores 4x4), o peso dinâmico nos pneus será, provavelmente, diferente entre as árvores dianteiras e traseiras, requerendo pressões diferentes dos pneus.

2.2.8. Coeficiente de tração

Schlosser (1997) explica que o coeficiente dinâmico de tração é um parâmetro que pode diferenciar um trator em função da sua capacidade de realizar tração.

Goering et al. (2003) definem o coeficiente de tração como a relação entre a tração na barra e a carga dinâmica atuante no dispositivo de tração. O tipo de dispositivo de tração, a pressão interna dos pneus, o tipo, estado e conteúdo de umidade do solo, o desenho da banda de rodagem, as dimensões do dispositivo de tração e a distribuição do peso sobre o solo condicionam o coeficiente de tração.

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 pela maior resistência ao rolamento e maior compactação do solo. Quantidade insuficiente de lastros provoca excesso de patinagem e maior perda de potência pela queda no rendimento de tração. 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 (SOUZA e QUEIROZ, 2005).

2.2.9. Estabilidade dos tratores

A crescente utilização do trator agrícola tem trazido como consequência aumento de acidentes de trabalho, mesmo com as diversas melhorias realizadas no seu projeto para aumentar a eficiência, conforto e segurança nas operações. Mesmo com o desenvolvimento tecnológico, que favoreceu o projeto dessas máquinas, os acidentes por tombamento continuam sendo a principal causa.

Delgado (1991) e Schlosser et al. (2002), pesquisando o assunto, constataram, respectivamente, que 60% e 52% dos acidentes foram causados por tombamentos de tratores. Estudos mais recentes, realizados entre 1992 e 2002 nos Estados Unidos, indicaram que 42% dos acidentes fatais com tratores têm sido devidos a tombamento (SANDERSON et al., 2006).

Debiasi et al. (2004), estudando as causas dos acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados, concluíram que os acidentes foram causados por atitudes e condições inseguras, representando 82% e 18%, respectivamente. Destacam-se, entre as principais causas de acidente, a operação do trator em condições para as quais ele não foi projetado e a perda de controle em aclives/declives.

De acordo com Khoury Júnior et al. (2009), a bitola e a localização do centro de gravidade são os fatores que mais afetam a estabilidade para o tombamento lateral do trator. Já a localização do centro de gravidade na

coordenada longitudinal e a distância entre eixos afetam a estabilidade do trator em tombamentos para trás.

2.2.10. Consumo horário e específico de combustível

O consumo de combustível pode ser apresentado como unidade de volume por unidade de tempo ($L\ h^{-1}$), não se considerando a influência da variação da temperatura tampouco a quantidade de potência gerada. Outra forma de apresentar o consumo de combustível é por meio de unidade de massa por unidade de tempo ($kg\ h^{-1}$); esta forma, apesar de considerar a influência da temperatura, também não contempla a potência gerada. A forma mais técnica de se expressar o consumo é unidade de massa por unidade de potência ($g\ kW^{-1}h^{-1}$); esta forma é conhecida como consumo específico e, pelo fato de considerar a massa e a potência, pode ser usada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanho e formas diferentes (LOPES et al., 2003b).

De acordo com Mialhe (1996), a mensuração da quantidade de combustível consumida é um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia. Porém, muitas vezes, o agricultor, no momento da escolha do modelo para a compra, se baseia principalmente na potência, no conforto, na facilidade de manobra, na manutenção e no preço, esquecendo-se, muitas vezes, de considerar a eficiência energética (SILVEIRA, 2010).

Desde o emprego de máquinas e implementos agrícolas montados ou de arrasto, tornou-se preocupação de pesquisadores e empresas a mensuração do consumo de combustível em função das características dos sistemas de produção (SILVA et al., 1999).

Na transmissão de potência do motor de tratores para a barra de tração, ocorrem perdas de energia que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores de perda de potência, apresentando condições inadequadas para a tração,

causando um consumo excessivo de combustível pelo trator (GABRIEL FILHO et al., 2010).

Na implantação de culturas agrícolas, o consumo de combustível é função de vários fatores tais como: adequação e condição do conjunto trator-implemento, potência do motor, profundidade da operação, tipo e condição de solo, tempo de manobras e do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção (CORRÊA et al., 1999).

Foi verificado por Fernandes et al. (2008) que o plantio direto foi o sistema que proporcionou menor consumo de combustível, seguido pelo sistema de cultivo mínimo com grade de discos leve, preparo reduzido e preparo convencional, respectivamente. O plantio direto teve um custo energético de 52,72% do custo do sistema convencional, e o cultivo mínimo foi de 77,52%, possibilitando economizar 25,45 e 12,10 L de óleo diesel para cada hectare trabalhado.

Várias pesquisas têm demonstrado que os custos energéticos, especificamente o combustível em máquinas, representam alta porcentagem do custo energético total de produção na agricultura (FAO, 1990). Segundo Ibañez e Rojas (1994), o custo da maquinaria agrícola, fundamentalmente o combustível, varia entre 35 a 45% do custo total de produção. Entretanto, Reis (2004) afirma que é possível reduzir o consumo de combustível dos tratores usando somente o necessário de potência para dada atividade.

Lopes et al. (2003a) verificaram que o consumo de combustível num trator 4x2 TDA com 121 cv no motor é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

Considerando a grande extensão territorial e as condições climáticas favoráveis, Lopes et al. (2003b) caracterizam a agricultura como tentáculos de grande importância econômica, fato este que implica grandes áreas cultivadas, de intensa utilização de tratores agrícolas e responsáveis por quase metade do custo por hectare. O mesmo autor ainda cita a necessidade de quantificar precisamente o consumo de combustível entre as diversas operações executadas no campo como alternativa na redução das despesas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados dados, em condições estáticas, de 191 tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil. Esta coleta foi realizada no período de julho de 2010 a julho de 2011, consultando as especificações técnicas dos fabricantes, relatórios de ensaios e medições “in loco” de alguns espécimes.

Os tratores foram estratificados por quatro faixas de potência, segundo Anfavea (2011), denominadas, respectivamente, como leves, médios, pesados e superpesados, conforme descrito na Tabela 1.

TABELA 1. Faixa de potência dos tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil

Faixa	Classificação	Faixa de Potência	
		(cv)	(kW)
1	Leves	≤ 49	≤ 36
2	Médios	$50 \leq P \leq 99$	$37 \leq P \leq 73$
3	Pesados	$100 \leq P \leq 199$	$74 \leq P \leq 146$
4	Superpesados	≥ 200	≥ 147

Fonte: Anfavea (2011).

Para analisar os parâmetros de desempenho dos tratores agrícolas, atualmente, comercializados no Brasil, foram calculadas as seguintes variáveis: potência disponível na tomada de potência (TDP) e na barra de tração (BT) em diferentes condições de solo; torque; relação peso do trator/potência do motor com e sem lastro; força de tração máxima na BT com e sem lastro; relação força de tração/peso com e sem lastro; rendimento de tração em diferentes condições de solo; transferência de peso com e sem lastro; coeficiente de tração com e sem lastro; declividade operacional com e sem lastro, na bitola mínima e máxima; consumo horário de combustível; autonomia de combustível; consumo específico de combustível; e rendimento termomecânico.

3.1. Potência disponível

Nos catálogos de tratores, a potência apresentada é a nominal do motor. Portanto, essa informação pode levar a erros de dimensionamento e adequação do conjunto mecanizado. Sendo assim, devem-se analisar sempre as potências disponíveis na tomada de potência (TDP) e na barra de tração (BT), segundo ASAE 497.4 (2003), de acordo com a Figura 1.

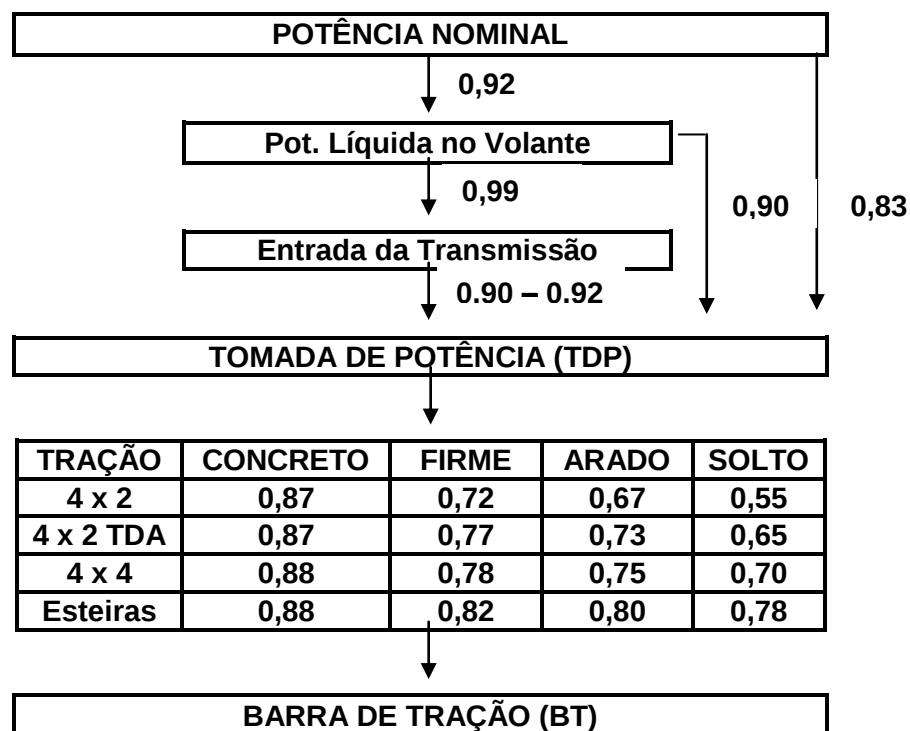


FIGURA 1. Variações da potência dos tratores agrícolas, ASAE 497.4(2003).

3.1.1. Potência disponível na tomada de potência

A potência disponível na tomada de potência (TDP) foi determinada pela ASAE D.497.4 (2003), conforme Figura 1.

3.1.2. Potência disponível na barra de tração

A potência disponível na barra de tração (BT) foi determinada conforme ASAE D.497.4 (2003) para todas as condições de solo apresentadas na Figura 1.

3.2. Torque do motor

É definido como o momento de força que tende a produzir ou que produz rotação.

3.2.1. Torque na potência nominal do motor

Foi determinado de acordo com a Equação 1 (GOERING et al., 2003).

$$T = \frac{60 \times P}{2\pi \times n} \quad (1)$$

em que

T = Torque, (mN);

P = Potência nominal do motor, (W); e

n = Rotação do motor na potência nominal, (rpm).

3.2.2. Torque na tomada de potência a 540 rpm

Foi determinado de acordo com a Equação 1 (GOERING et al., 2003).

3.3. Reserva de torque

É uma medida que define bem a versatilidade de um motor, ou seja, a capacidade de aumentar o torque à medida que há uma diminuição do regime do motor e foi calculada de acordo com a Equação 2, conforme Mialhe (1996).

$$RT = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \quad (2)$$

em que

RT = Reserva de torque, (%);

T_2 = Torque máximo, (mN); e

T_1 = Torque na potência máxima, (mN).

A avaliação da reserva de torque dos motores do ciclo Diesel foi analisada de acordo com Cenea (1982), conforme Tabela 2.

TABELA 2. Avaliação da reserva de torque dos motores dos tratores agrícolas

RESERVA DE TORQUE	AVALIAÇÃO
Abaixo de 10%	Pouca
Entre 15 e 10%	Razoável
Acima de 15%	Boa

Fonte: Cenea (1982)

3.4. Reserva de rotação

A reserva de rotação indica a diminuição percentual de rotação quando ela decresce do ponto de potência máxima para o ponto de torque máximo e foi calculada utilizando a Equação 3, de acordo com Mialhe (1996).

$$RR = \frac{RPM - RTM}{RPM} \times 100 \quad (3)$$

em que

RR = Reserva de rotação, (%);

RPM = Rotação relativa à potência máxima, (rpm); e

RTM = Rotação relativa ao torque máximo, (rpm).

3.5. Relação peso do trator/potência do motor

Foi determinada, pela Equação 4, para as condições com e sem lastros do trator, e a avaliação dessa relação foi feita de acordo com Cenea (1982), conforme Tabela 3.

$$R_{PT/P} = \frac{PT}{P} \quad (4)$$

em que

$R_{PT/P}$ = Relação peso do trator pela potência do motor, (N kW⁻¹);

PT = Peso total do trator, (N); e

P = Potência nominal do motor, (kW⁻¹).

TABELA 3. Relação peso/potência do motor para as condições com e sem lastros no trator

CONDIÇÕES	AVALIAÇÃO
Trator com lastro	749,61 N kW ⁻¹
Trator sem lastro	529,74 N kW ⁻¹
Média com e sem lastro	667,08 N kW ⁻¹

Fonte: Cenea (1982)

3.6. Força de tração máxima estimada na barra de tração visando à estabilidade do trator

A força na barra de tração é afetada pelo solo, pela relação de transmissão, pelo tipo do rodado e pela quantidade de lastro instalado e foi determinada pela Equação 5, nas condições com e sem lastro, estabelecida pela ABNT NBR 10400 (1997).

Os fabricantes não disponibilizam o peso dianteiro estático (PDE) dos tratores, e como não foi possível pesar o eixo dianteiro dos 191 modelos analisados, recorreu-se aos resultados de ensaios oficiais e observou-se que em média o PDE correspondia a 35% e 40% do peso total do trator para tratores 4x2 e 4x2 TDA, respectivamente. Esse percentual foi utilizado para os tratores com e sem lastro.

$$FTM \leq \frac{0,8 \cdot PDE \cdot DEE}{HB} \quad (5)$$

em que

- FTM = Força de tração máxima estimada, (N);
 PDE = Peso dianteiro estático, (N);
 DEE = Distância entre eixos, (m); e
 HB = Altura da barra de tração (a partir do plano de apoio até a face superior da barra de tração), (m).

3.7. Relação força de tração/peso

Esta relação, também conhecida como eficiência de tração, é função da distribuição dos pesos nos eixos, tipos de pneus e condições de superfície e representa a capacidade do trator em utilizar seu peso em prol da força de tração. A relação força de tração/peso com e sem lastro foi determinada pela Equação 6.

$$R_{FTM/PT} = \frac{FTM}{PT} \quad (6)$$

em que

- $R_{FTM/PT}$ = Relação força de tração/peso, (%);
 FTM = Força de tração máxima estimada, (N); e
 PT = Peso do trator com lastro e sem lastro, (N).

A avaliação da relação força de tração/peso ou eficiência de tração foi de acordo com Cenea (1982), conforme Tabela 4.

TABELA 4. Eficiência de tração em relação à força de tração máxima e ao peso do trator com lastro

EFICIÊNCIA	AValiação
Abaixo de 65%	Inaceitável
Entre 65 e 75%	Baixa
Entre 75 e 85%	Razoável
Acima de 85%	Boa

Fonte: Cenea (1982)

3.8. Rendimento de tração

É representado como o coeficiente de conversão da potência do motor em potência na barra de tração, para uma dada condição de trabalho. Foi determinado pela Equação 7, conforme Mialhe (1996), para as condições de trabalho em concreto, solo firme, arado e solto, conforme apresentadas pela ASAE D.497.4 (2003).

$$R_t = \frac{P_{BT}}{P} \quad (7)$$

em que

R_t = Rendimento de tração, adimensional;

P_{BT} = Potência na barra de tração, (kW); e

P = Potência nominal do motor, (kW).

3.9. Transferência de peso

Corresponde ao máximo de peso dianteiro estático (PDE) com e sem lastro que pode ser transferido para o peso traseiro estático (PTE), conforme ilustrado na Figura 2.

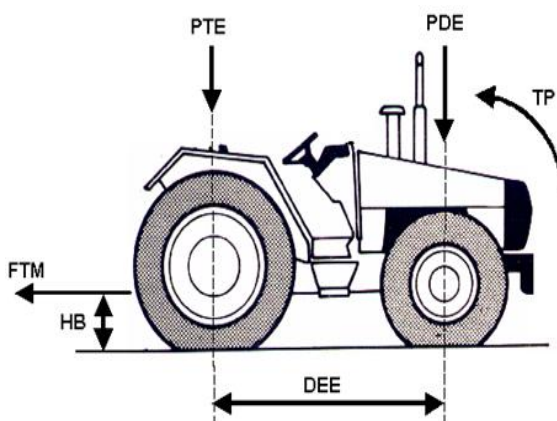


FIGURA 2. Representação esquemática da transferência de peso no trator agrícola com e sem lastro.

Foi calculado pela Equação 8, nas condições com e sem lastro, e o resultado deverá ser um valor menor e igual a 80% do PDE para que não ocorra o levantamento do eixo dianteiro do trator, conforme Mialhe (1980).

$$TP = \left(\frac{HB}{DEE} \right) \cdot FTM \quad (8)$$

em que

- TP = Transferência de peso, (N);
 HB = Altura da barra de tração, (m);
 DEE = Distância entre eixos, (m); e
 FTM = Força de tração máxima estimada, (N).

3.10. Coeficiente de tração com e sem lastro

O coeficiente de tração indica quanto de seu peso traseiro dinâmico (PTD) que o trator pode tracionar, sendo calculado conforme a Equação 9 (MIALHE, 1974).

$$Kt = \frac{FTM}{cd} \quad (9)$$

em que

- Kt = Coeficiente de tração, adimensional;
 FTM = Força de tração máxima estimada, (N); e
 cd = Carga dinâmica sobre o rodado de tração, (N).

A carga dinâmica sobre o rodado de tração foi calculada pela Equação 10 (MIALHE, 1974).

$$cd = PTE + TP \quad (10)$$

em que

- cd = Carga dinâmica sobre o rodado de tração, (N);
 PTE = Peso estático no rodado de tração, (N); e
 TP = Transferência de peso, (N).

3.11. Declividade operacional limite com e sem lastros

Foi determinada a declividade operacional limite com e sem lastro nas bitolas mínima e máxima, conforme Equação 11 (MIALHE, 1980).

$$d = \frac{\frac{s^2}{2y} - p}{\frac{p \cdot s}{2y} + s} \cdot 100 \quad (11)$$

em que

- d = Declividade operacional limite com e sem lastros, (%);
- s = Bitola do trator, (mm);
- y = Altura do centro de gravidade, com e sem lastro, (mm); e
- p = Profundidade do sulco (300 mm).

Os fabricantes não disponibilizam a altura do centro de gravidade dos tratores, e como não é possível calcular a declividade sem essa altura, utilizou-se a metodologia proposta por Mialhe (1980), descrita pelas Equações 12 a 16.

A configuração geométrica das cotas de um trator de pneus está ilustrada na Figura 3.

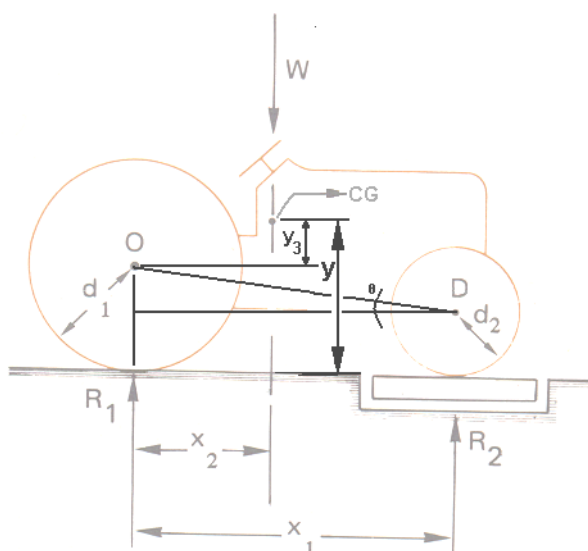


FIGURA 3. Configuração geométrica das cotas com o trator na horizontal.
Fonte: Adaptação de Mialhe (1980).

Inicialmente foi calculado o valor de θ , conforme a equação 12.

$$\theta = \arctan \left(\frac{d_1 - d_2}{x_1} \right) \quad (12)$$

em que

θ = Ângulo formando entre o plano horizontal e a linha que passa pelos centros dos eixos traseiro e dianteiro, (graus);

d_1 = Raio pneu traseiro, (mm);

d_2 = Raio pneu dianteiro, (mm); e

x_1 = Distância entre eixos com o trator na horizontal, (mm).

A norma ABNT NBR 12567 (1992) regulamenta que, na determinação do centro de gravidade dos tratores agrícolas, o valor do ângulo de realização do teste deve ser entre 20 a 25°, conforme Figura 4, sendo assim, adotou-se o valor do ângulo β_1 correspondente a 25°.

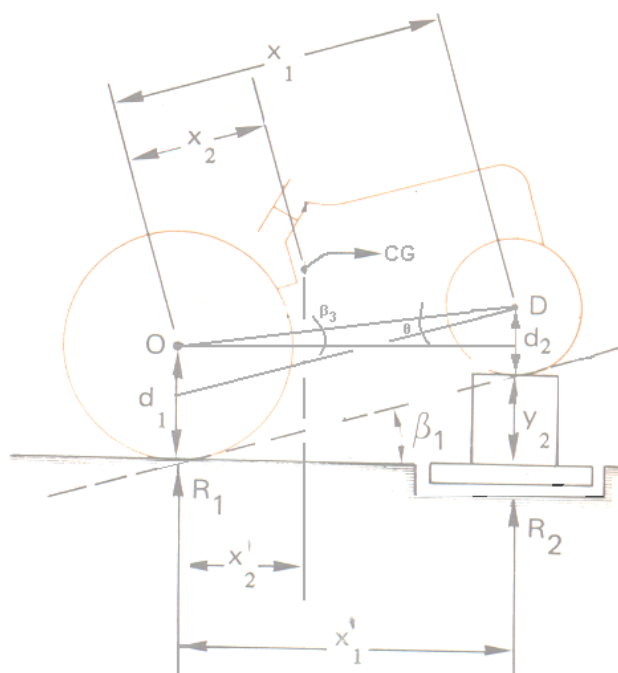


FIGURA 4. Configuração geométrica das cotas com o trator inclinado a 25°. Fonte: Adaptação de Mialhe (1980).

O ângulo β_3 foi calculado pela Equação 13.

$$\beta_3 = \beta_1 - \theta \quad (13)$$

em que

β_3 = Ângulo entre o plano horizontal e a linha que passa pelos centros dos eixos traseiros e dianteiros, após o trator ser inclinado, (graus);

β_1 = Ângulo de inclinação entre o plano horizontal e o plano de apoio do trator, (graus); e

θ = Ângulo formando entre o plano horizontal e a linha que passa pelos centros dos eixos traseiro e dianteiro, (graus).

A cota x_1' foi calculada pela Equação 14.

$$x_1' = \left(\frac{x_1}{\cos \theta} \right) \cdot \cos \beta_3 \quad (14)$$

em que

x_1' = Distância entre eixos com o trator inclinado, (mm);

x_1 = Distância entre eixos com o trator na horizontal, (mm);

θ = Ângulo de entre o plano horizontal e a linha que passa pelos centros dos eixos traseiro e dianteiro, (graus); e

β_3 = Ângulo entre o plano horizontal e a linha que passa pelos centros dos eixos traseiros e dianteiros, após o trator ser inclinado, (graus).

Fazendo o somatório dos momentos em relação ao centro do rodado traseiro, a cota y_3 foi calculada pela Equação 15.

$$y_3 = \frac{(R_2 \cdot x_1 \cdot \cos \beta_1) - (R_2' \cdot x_1')}{W \cdot \sin \beta_1} \quad (15)$$

em que

R_2 = Reação do apoio no rodado dianteiro, trator na horizontal (N);

x_1 = Distância entre eixos com o trator na horizontal, (mm);

β_1 = Ângulo de inclinação entre o plano horizontal e o plano de apoio do trator, (graus).

R_2' = Reação do apoio no rodado dianteiro, trator inclinado (N);

x_1' = Distância entre eixos com o trator inclinado, (mm); e

W = Peso total do trator, (N).

A cota y que é a distância do centro de gravidade ao plano horizontal é calculada pela Equação 16.

$$y = d_1 + y_3 \quad (16)$$

em que

y = Altura do centro de gravidade em relação ao plano horizontal, (mm);

d_1 = Raio pneu traseiro, (mm); e

y_3 = Altura do centro de gravidade em relação ao plano traseiro que passa pelo centro do pneu traseiro, (mm).

3.12. Declividade máxima operacional com e sem lastros

Foi determinada a declividade máxima operacional com e sem lastro de acordo com a Equação 17 (MIALHE, 1980).

$$d_{máx} = 0,5 \cdot d \quad (17)$$

em que

$d_{máx}$ = Declividade máxima operacional com e sem lastro, (%); e

d = Declividade operacional limite com e sem lastro, (%).

3.13. Consumo horário de combustível estimado

Foi determinado em função da potência nominal do motor, segundo ASAE 496.2 (2003).

Para motores de ciclo diesel com potência nominal abaixo e acima de 200 cv, o consumo horário foi calculado pelas Equações 18 e 19, respectivamente.

$$c = 0,205 \cdot PTO (máx) \quad (18)$$

em que

c = Consumo horário de combustível, (L h⁻¹); e

$PTO (máx)$ = Potência máxima na TDP, (kW).

$$c = 0,223 \cdot PTO (máx) \quad (19)$$

em que

c = Consumo horário de combustível, (L h⁻¹); e

$PTO (máx)$ = Potência máxima na TDP, (kW).

3.14. Autonomia de combustível

Foi determinada pela Equação 20, de acordo com Cenea (1982).

$$A = \frac{V}{0,85 \cdot c} \quad (20)$$

em que

A = Autonomia de combustível, (h);

V = Volume do tanque de combustível, (L); e

c = Consumo horário de combustível, (L h⁻¹).

3.15. Consumo específico de combustível

É definido como o peso de combustível consumido por unidade de potência por hora de trabalho.

3.15.1. Consumo específico de combustível em relação à potência nominal do motor

Foi determinado pela Equação 21, segundo Mialhe (1996).

$$C = \frac{c \cdot \rho}{P} \quad (21)$$

em que

- C = Consumo específico de combustível, ($\text{g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$);
- c = Consumo horário de combustível, (L h^{-1});
- ρ = Massa específica do combustível, (g L^{-1}); e
- P = Potência nominal do motor, (kW).

3.15.2. Consumo específico na TDP

Foi determinado pela Equação 22, segundo Mialhe (1996).

$$C = \frac{c \cdot \rho}{P} \quad (22)$$

em que

- C = Consumo específico de combustível, ($\text{g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$);
- c = Consumo horário de combustível, (L h^{-1});
- ρ = Massa específica do combustível, (g L^{-1}); e
- P = Potência disponível na TDP, (kW).

3.16. Rendimento termomecânico

Também conhecido como rendimento global. Segundo Mialhe (1996), este rendimento expressa a eficiência global do motor como conversor da energia do combustível em energia mecânica no volante e foi determinado de acordo com a Equação 23.

$$M = \frac{632000}{P_c \cdot C} \cdot 100 \quad (23)$$

em que

M = Rendimento termomecânico, (%);

P_c = Poder calorífico, (kcal kg⁻¹); e

C = Consumo específico de combustível, (g kW⁻¹ h⁻¹).

3.17. Estatística

Para as variáveis potência disponível na tomada de potência (TDP) e na barra de tração (BT); torque; relação peso do trator/potência do motor; força de tração máxima na BT; relação força de tração/peso; rendimento de tração; transferência de peso; coeficiente de tração; declividade operacional; consumo horário de combustível; autonomia de combustível; consumo específico de combustível e rendimento termomecânico, foram considerados o total dos tratores que continham informações necessárias e os resultados apresentados pela média.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 são descritos os modelos de tratores, comercializados no Brasil pelas marcas Agrale, Case, Green Horse, John Deere, Landini, Massey Ferguson, New Holland, Tramontini, Valtra e Yanmar, que compuseram a pesquisa.

QUADRO 1. Modelos de tratores comercializados no Brasil em função de cada fabricante

Fabricantes		Modelos de tratores
	Agrale	20
	Case	12
	Green Horse	5
	John Deere	30
	Landini	9
	Massey Ferguson	35
	New Holland	30
	Tramontini	4
	Valtra	28
	Yanmar	18

A relação dos modelos analisados por fabricante encontra-se no Apêndice A.

Na Figura 5, é apresentado o percentual de participação de cada fabricante em relação aos 191 tratores analisados.

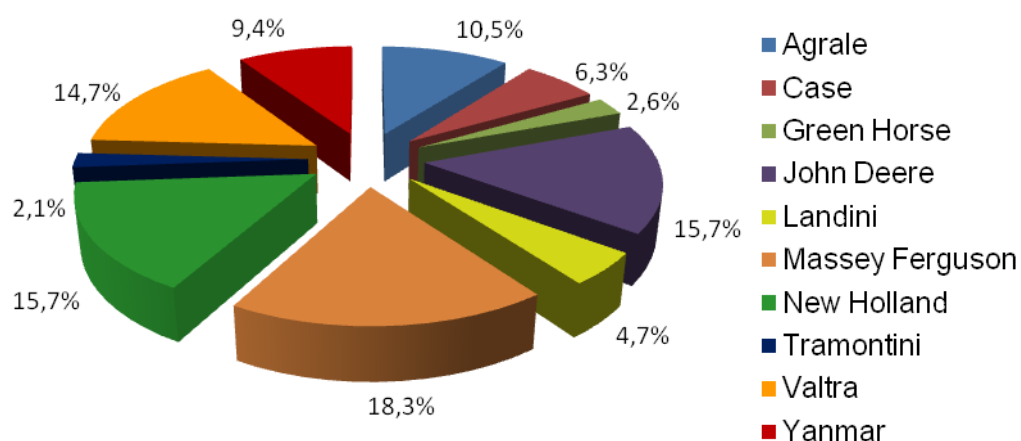


FIGURA 5. Percentual de participação de cada fabricante em relação ao total dos tratores analisados.

Pode-se observar, na Figura 5, que a marca Massey Ferguson apresenta o maior número de modelos comercializados no Brasil, seguido pela New Holland, John Deere, Valtra e Agrale. As demais marcas apresentam um percentual de participação inferior a 10%.

Na Figura 6, é apresentado o número de modelos de tratores de cada fabricante em função da faixa de potência.

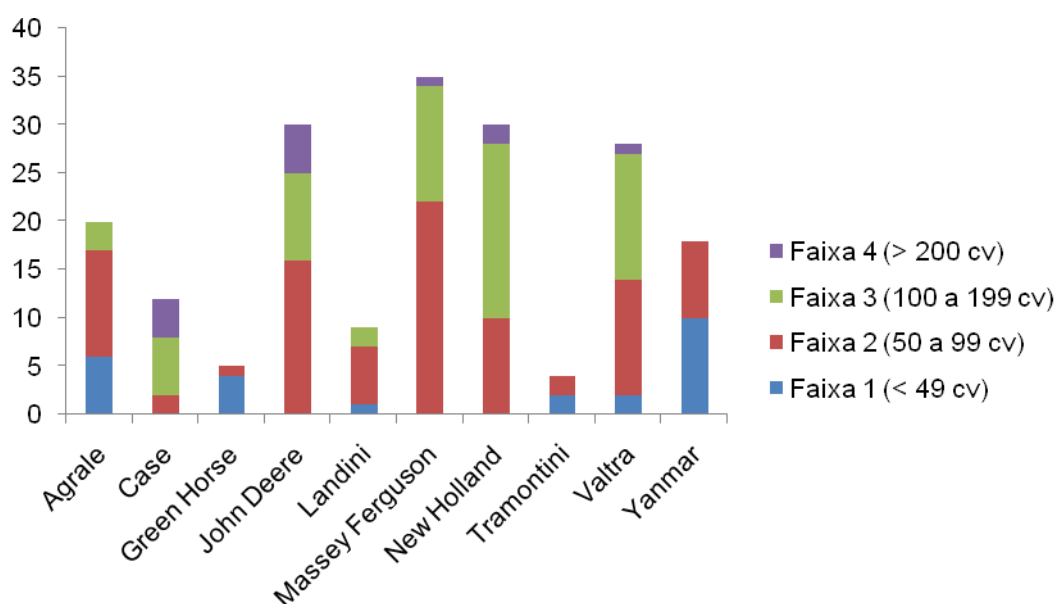


FIGURA 6. Número de modelos dos tratores por fabricante em função da faixa de potência.

Entre os fabricantes de tratores agrícolas, os que possuem maior representatividade na faixa I, II, III e IV de potência são Yanmar, Massey Ferguson, New Holland e John Deere, respectivamente (Figura 6). A faixa de potência II representa 47% no mercado brasileiro.

Na Figura 7, é apresentado o número de modelos de tratores de cada fabricante em função do tipo de tração.

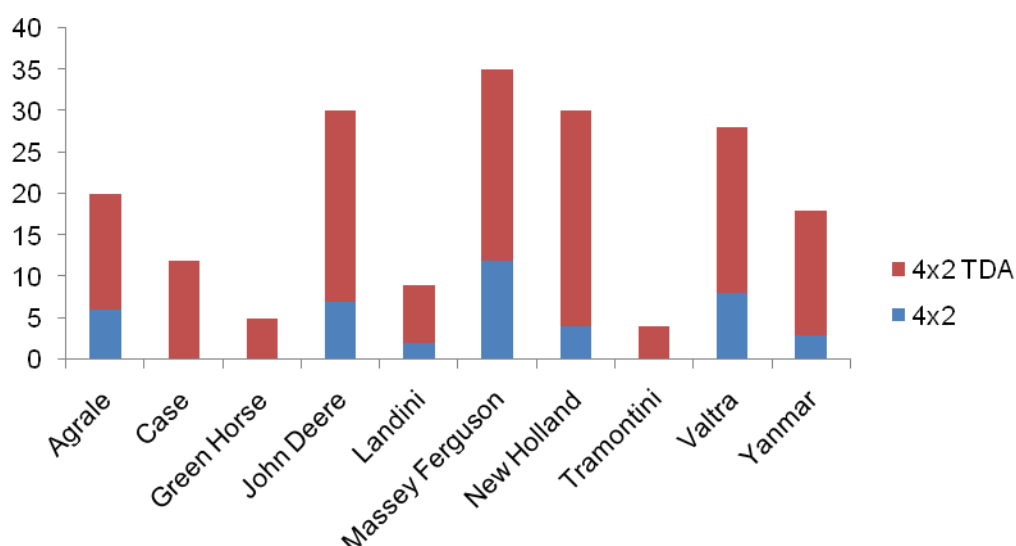


FIGURA 7. Número de modelos dos tratores por fabricante em função do tipo de tração.

Entre os fabricantes de tratores agrícolas, os que possuem maior representatividade com a tração 4x2 e 4x2 TDA são Massey Ferguson e New Holland, respectivamente (Figura 7). O tipo de tração 4x2 TDA representa 79% no mercado brasileiro.

Os modelos dos respectivos fabricantes, em função da faixa de potência e tipo de tração, são apresentados nos apêndices A-J.

4.1. Potências disponíveis

No Quadro 2, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) das potências disponíveis na tomada de potência (P_{TDP}) e na barra de tração em concreto ($P_{BT \text{ CONCRETO}}$), em função das faixas de potência.

QUADRO 2. Potências disponíveis na TDP (kW) e na BT em concreto (kW), em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$P_{TDP} \pm \sigma_x$	CV	$P_{BT \text{ CONCRETO}} \pm \sigma_x$	CV
I	25	$19,39 \pm 6,11$	31,51	$20,33 \pm 6,41$	31,50
II	90	$43,25 \pm 7,71$	17,82	$45,34 \pm 8,08$	17,82
III	63	$87,48 \pm 17,52$	20,03	$91,70 \pm 18,36$	20,02
IV	13	$148,01 \pm 23,11$	15,61	$155,15 \pm 24,23$	15,62

Pode-se observar No Quadro 2 que a potência disponível na TDP aumenta com as faixas de potência de I para IV. Como o aproveitamento da potência na TDP é 83% da potência nominal do motor, Figura 1, é evidente que com o aumento das faixas de potência aumenta-se a potência disponível na TDP. As potências na barra de tração para o concreto, solo firme, solo arado e solo solto, assim como na TDP, aumentaram com o incremento das faixas de potência (Quadro 2 e 3).

A variabilidade dos dados da potência disponível na TDP e no concreto, em relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV (Quadro 2). Com isso, evidencia-se que há maior homogeneidade dos dados na referida faixa.

No Quadro 3, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) das potências disponíveis na barra de tração em um solo firme ($P_{BT \text{ FIRME}}$), em um solo arado ($P_{BT \text{ ARADO}}$) e em um solo solto ($P_{BT \text{ SOLTO}}$), em função das faixas de potência.

QUADRO 3. Potências disponíveis na barra de tração em solo firme (kW), em solo arado (kW) e em solo solto (kW), em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$P_{\text{FIRME}} \pm \sigma_x$	CV
I	25	17,67 $\pm$ 5,59	31,63
II	90	39,42 $\pm$ 7,21	18,29
III	63	79,96 $\pm$ 15,96	19,96
IV	13	136,71 $\pm$ 22,02	16,11
$P_{\text{BT ARADO}} \pm \sigma_x$			
I	25	16,84 $\pm$ 5,53	32,84
II	90	37,66 $\pm$ 6,95	18,45
III	63	76,87 $\pm$ 15,52	20,19
IV	13	130,18 $\pm$ 20,33	15,62
$P_{\text{BT SOLTO}} \pm \sigma_x$			
I	25	14,82 $\pm$ 5,06	43,14
II	90	33,23 $\pm$ 6,41	19,29
III	63	68,39 $\pm$ 13,92	20,35
IV	13	115,91 $\pm$ 18,10	15,61

No Quadro 2, a potência disponível na TDP foi menor que a potência na barra de tração em piso de concreto. Porém, quando comparada com

diferentes condições de solo, Quadro 3, ela foi maior em todas as faixas de potência. Esse fato se deve à transmissão da potência do motor para a TDP ser feita por um conjunto de engrenagens, não estando sujeita ao contato com o solo, onde ocorrem as maiores perdas na relação rodado-solo.

As perdas de potência foram maiores quando se passou da condição de pista de concreto para terreno agrícola (Quadros 2 e 3). Mialhe (1991) justifica que é na interface rodado-solo onde as perdas de potência se tornam mais críticas. Yanai et al. (1999) explicam que essas perdas são mais críticas por causa do fenômeno da patinagem, que provoca redução no avanço do trator, e do recalque ou afundamento do rodado no solo, que aumenta a resistência ao rolamento. Monteiro et al. (2011) afirmam que as condições da superfície do solo causam diferentes condições de patinagem dos rodados do trator. Este fato também já tinha sido relatado por Mazetto et al. (2004) e Gabriel Filho et al. (2004).

A variabilidade dos dados das potências disponíveis nas diferentes condições do solo, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV (Quadro 3). Sendo assim, há maior homogeneidade dos dados nesta faixa.

No Quadro 4, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) das potências disponíveis na tomada de potência (P_{TDP}) e na barra de tração em concreto ($P_{BT \text{ CONCRETO}}$), em função do tipo de tração.

QUADRO 4. Potências disponíveis na TDP (kW) e na BT em concreto (kW), em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	$P_{TDP} \pm \sigma_x$	CV	$P_{BT \text{ CONCRETO}} \pm \sigma_x$	CV
4x2	40	41,88 ± 12,82	30,61	45,50 ± 13,44	29,54
4x2 TDA	151	67,14 ± 38,23	56,94	69,95 ± 40,08	57,30

No Quadro 5, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) das potências disponíveis na barra de tração em solo firme ($P_{BT \text{ FIRME}}$), em solo arado ($P_{BT \text{ ARADO}}$) e em solo solto ($P_{BT \text{ SOLTO}}$), em função do tipo de tração.

QUADRO 5. Potências disponíveis na BT em solo firme (kW), na BT em solo arado (kW) e na BT em solo solto (kW), em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	$P_{BT \text{ FIRME}} \pm \sigma_x$	CV
4x2	40	38,73 $\pm$ 11,78	30,41
4x2 TDA	151	61,29 $\pm$ 35,14	57,33
$P_{BT \text{ ARADO}} \pm \sigma_x$			
4x2	40	37,06 $\pm$ 11,44	30,87
4x2 TDA	151	58,69 $\pm$ 33,63	57,30
$P_{BT \text{ SOLTO}} \pm \sigma_x$			
4x2	40	32,13 $\pm$ 10,44	32,49
4x2 TDA	151	52,26 $\pm$ 29,94	57,29

Evidencia-se, nos Quadros 4 e 5, que os tratores com tração dianteira auxiliar apresentam maiores potências disponíveis quando comparados aos tratores sem essa opção. Schlosser (1997) afirma que os tratores 4x2 TDA podem desenvolver 15% mais potência na barra de tração do que um similar de mesmo peso na versão 4x2.

A primeira explicação para a maior potência disponível nos tratores 4x2 TDA é o fato desses tratores apresentarem uma tendência de serem mais potentes que aqueles 4x2. De acordo com a evolução das máquinas e pela maior versatilidade dos tratores com opção na tração dianteira, em pouco tempo acredita-se que mesmo os tratores de baixa potência terão a opção da tração dianteira. Sendo assim, os tratores 4x2 apresentam uma tendência ao desaparecimento pela melhor relação custo benefício dos tratores com tração dianteira auxiliar.

Outra possibilidade de os tratores com tração dianteira auxiliar apresentarem maiores potências disponíveis é o fato da melhor distribuição de peso entre os eixos do trator: assim, o eixo dianteiro transferirá mais peso para o eixo traseiro, aumentando a aderência do rodado com o solo, e o trator terá menos perda de potência provocada pela patinagem.

ASAE 497.4 (2003) afirma que a perda de potência disponível na barra de tração em relação à potência líquida no motor de tratores 4x2 pode variar de 22 a 51% para piso de concreto e solos soltos, respectivamente, enquanto a perda de potência dos tratores 4x2 TDA pode variar de 22 a 42% para piso de concreto e solos soltos, respectivamente. O presente trabalho

encontrou valores intermediários aos de referência: de 30% para tratores 4x2 e de 25% para tratores 4x2 TDA.

A variabilidade dos dados das potências disponíveis na TDP e na barra de tração em diferentes condições do solo, em relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 (Quadros 4 e 5).

4.2. Reserva de torque e reserva de rotação

No Quadro 6, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da reserva de torque (RT) e da reserva de rotação (RR) em função das faixas de potência.

QUADRO 6. Reserva de torque (%) e reserva de rotação (%) em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	RT $\pm \sigma_x$	CV	RR $\pm \sigma_x$	CV
I	25	27,12 $\pm$ 26,10	96,24	26,99 $\pm$ 8,34	30,90
II	90	14,68 $\pm$ 9,41	64,10	36,48 $\pm$ 3,92	10,74
III	63	25,46 $\pm$ 7,27	28,55	36,80 $\pm$ 2,82	7,66
IV	13	29,86 $\pm$ 5,98	20,03	31,85 $\pm$ 5,64	17,71

A avaliação para a reserva de torque para as faixas I, III, IV é considerada boa, pois os valores foram acima de 15%, conforme Tabela 2 (CENEA, 1982). O maior valor observado dessa variável foi na faixa IV, em que os tratores apresentam maior potência. Isso significa que os tratores mais potentes apresentam uma maior capacidade de aumentar o torque à medida que há uma diminuição do regime do motor. Ainda na mesma Tabela, com relação à reserva de rotação, o maior valor encontrado foi na faixa III.

A variabilidade dos dados da reserva de torque e da reserva de rotação, em relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV e III, respectivamente (Quadro 6). Com isso, há maior homogeneidade dos dados nas referidas faixas.

No Quadro 7, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da reserva de torque (RT) e da reserva de rotação (RR) em função do tipo de tração.

QUADRO 7. Reserva de torque (%) e reserva de rotação (%), em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	RT $\pm \sigma_x$	CV	RR $\pm \sigma_x$	CV
4x2	40	18,73 $\pm$ 16,31	87,08	36,64 $\pm$ 5,71	15,58
4x2 TDA	151	21,47 $\pm$ 12,61	58,73	34,60 $\pm$ 5,64	16,30

O maior valor observado para a reserva de torque em função do tipo de tração foi para os tratores com tração dianteira auxiliar, demonstrando que esses tratores apresentam uma maior capacidade de aumentar o torque quando submetidos a uma situação em irá variar a rotação do motor, por exemplo, em uma subida com declive mais acentuado. Já para reserva de rotação, é observado o contrário, em que o maior valor encontrado foi para tratores sem a opção de tração no eixo dianteiro.

A variabilidade dos dados da reserva de torque e da reserva de rotação, em relação às faixas de potência, foi menor com a tração 4x2 TDA e 4x2, respectivamente (Quadro 7).

4.3. Relação peso do trator pela potência do motor

No Quadro 8, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da relação peso do trator pela potência do motor ($R_{PT/P}$), com e sem lastro, em função da faixa de potência.

QUADRO 8. Relação peso trator pela potência do motor (N kW^{-1}), com lastro e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	PT/P $\pm s_x$	CV
com lastro			
I	25	757,27 $\pm$ 133,44	17,62
II	83	640,18 $\pm$ 130,30	20,35
III	43	664,30 $\pm$ 93,04	14,00
IV	13	686,47 $\pm$ 51,26	7,47
sem lastro			
I	21	647,63 $\pm$ 132,96	20,53
II	76	531,52 $\pm$ 94,21	17,72
III	51	550,42 $\pm$ 71,46	12,98
IV	12	511,17 $\pm$ 66,60	13,02

Os resultados encontrados na relação peso do trator pela potência do motor foram superiores ou próximos à referência recomendada pelo Cenea (1982), nas condições com e sem lastro, que são $749,61 \text{ N kW}^{-1}$ e $529,74 \text{ N kW}^{-1}$, respectivamente. Porém, os valores de referência considerados pelo Cenea (1982) foram médias e não há uma metodologia que se estratifique em função dos níveis de potência.

Como se observa no Quadro 8, os valores encontrados para os tratores na faixa I e II foram bem superiores aos encontrados por Renius (1994), $343,35 \text{ N kW}^{-1}$. Para Schlosser et al. (2005) quando tratores pequenos apresentam alta relação peso/potência, eles perdem potência e energia para vencer a resistência ao rolamento adicional ocasionada pelo excesso de peso, o que resulta em diversos prejuízos, tais como maior consumo de combustível, aumento da compactação do solo e menor capacidade operacional. Já para as faixas III e IV, os valores foram mais próximos aos encontrados por este autor, $588,6 \text{ kN kW}^{-1}$.

A variabilidade dos dados do peso trator pela potência do motor, com relação às faixas de potência, foi menor nas faixas IV e III, respectivamente (Quadro 8). Com isso, há maior homogeneidade dos dados nas referidas faixas.

No Quadro 9, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da relação peso do

trator pela potência do motor ($R_{PT/P}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 9. Relação peso trator pela potência do motor ($N\ kW^{-1}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	n	$R_{PT/P} \pm s_x$	CV
com lastro			
4x2	40	672,49 $\pm$ 122,63	18,23
4x2 TDA	124	666,58 $\pm$ 124,14	18,62
sem lastro			
4x2	33	561,63 $\pm$ 106,56	18,97
4x2 TDA	127	548,56 $\pm$ 97,57	17,79

A relação peso do trator pela potência do motor, com e sem lastro, foi maior nos tratores 4x2. Isso colabora para uma excelente aceitação e preferência atual pela aquisição de tratores com a opção da tração dianteira auxiliar, pois, mesmo sendo tratores mais versáteis, eles apresentam uma menor relação peso/potência.

A variabilidade dos dados da reserva de torque e da reserva de rotação, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 e 4x2 TDA, respectivamente (Quadro 9).

4.4. Força de tração máxima

No Quadro 10, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da força de tração máxima (FTM), com e sem lastro, em função da faixa de potência.

QUADRO 10. Força de tração máxima (N), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	FTM $\pm$ s _x	CV
		com lastro	
I	20	23868,81 $\pm$ 7818,74	32,76
II	70	49483,74 $\pm$ 16316,85	32,97
III	30	104238,02 $\pm$ 39558,62	37,95
IV	12	219805,15 $\pm$ 47282,85	21,51
		sem lastro	
I	20	20086,24 $\pm$ 8131,05	40,48
II	74	39366,67 $\pm$ 11679,29	29,67
III	33	83288,80 $\pm$ 32620,63	39,16
IV	12	163043,64 $\pm$ 46699,99	28,64

Conforme foi verificado nos Quadros 2 e 3, o aumento da faixa de potência está diretamente relacionado ao incremento da potência disponível para qualquer condição do solo. Sendo assim, é justificável o aumento da força de tração máxima com a elevação da faixa de potência.

Pôde-se comprovar, de acordo com resultados do Quadro 10, que uma das finalidades do lastro é aumentar a força de tração. Nota-se, com a adição de lastro, que os valores de FTM foram superiores para todas as faixas de potência em relação aos tratores sem lastro. Estes resultados corroboraram Monteiro et al. (2011), que estudaram a influência da variação do lastro líquido no pneu para a pista com superfície mobilizada, na força de tração, tendo obtido menores valores de força na barra de tração na condição sem lastro, sendo que as outras condições (40 e 75% de água) não diferiram entre si.

A variabilidade dos dados da força de tração máxima, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV, com e sem lastro (Quadro 10). Com isso, há maior homogeneidade dos dados na referida faixa.

No Quadro 11, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da força de tração máxima (FTM), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 11. Força de tração máxima (N), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	n	FTM $\pm$ s _x	CV
	com lastro		
4x2	33	46166,28 $\pm$ 17412,29	37,42
4x2 TDA	101	81488,03 $\pm$ 65467,52	80,34
sem lastro			
4x2	33	35349,19 $\pm$ 12824,38	36,28
4x2 TDA	106	64654,61 $\pm$ 48826,54	75,52

A força de tração para tratores com a opção da tração dianteira auxiliar é maior quando comparados àqueles que não apresentam tração no eixo dianteiro, podendo atingir valores ainda mais elevados com a adição de lastros.

Quando os tratores passaram de 4x2 para 4x2 TDA, obteve-se um incremento de 56,6% e 54,7% para a força de tração com e sem lastro, respectivamente. Os valores encontrados foram superiores aos trabalhos de Yanai et al. (1988) e Spagnolo et al. (2010), que encontraram valores próximos e inferiores a 33%. Este fato pode ter ocorrido devido à maior largura dos pneus com relação aos tratores testados pelos referidos autores. Conforme Mialhe (1996), as dimensões dos pneus influenciam na área de contato pneu-solo, que, por sua vez, juntamente com a carga sobre os rodados e o tipo de solo, influenciam a força potencial máxima na barra de tração.

A variabilidade dos dados da força de tração máxima, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2, com e sem lastro (Quadro 11).

4.5. Relação força de tração pelo peso do trator

No Quadro 12, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da relação força de tração pelo peso do trator ($R_{FTM/PT}$), com e sem lastro, em função da faixa de potência.

QUADRO 12. Relação força de tração pelo peso do trator (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	$R_{FTM/PT} \pm s_x$	CV
com lastro			
I	22	143,43 ± 19,08	13,30
II	70	145,69 ± 35,19	24,15
III	30	149,57 ± 22,01	14,71
IV	12	176,81 ± 29,73	16,81
sem lastro			
I	20	143,12 ± 18,32	12,80
II	74	142,74 ± 33,60	23,54
III	33	146,15 ± 19,29	13,20
IV	12	174,91 ± 29,14	16,66

A avaliação da relação força de tração pelo peso, com e sem lastro, é considerada boa, pois todos os valores estão acima da referência, que é 85%, de acordo com Cenea (1982). Pode-se observar que todos os valores foram acima de 100%. Isso significa que os tratores nas quatro faixas de potência, com e sem lastro, conseguem tracionar um valor superior ao próprio peso. Isso se justifica pelo aumento da força de tração com o aumento da faixa de potência.

A carga que atua sobre o rodado motriz influencia o desempenho do trator e, conseqüentemente, o desgaste dos pneus. Esta carga é diretamente afetada pela força de tração, em decorrência da variação nos valores da transferência de peso, o que, segundo Balastreire (2005), em termos práticos, é a capacidade do trator de utilizar o próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganho de tração.

A variabilidade dos dados da relação força de tração pelo peso do trator, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa I, com e sem lastro (Quadro 12). Com isso, há maior homogeneidade dos dados na referida faixa.

No Quadro 13, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da relação força de tração pelo peso do trator ($R_{FTM/PT}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 13. Relação força de tração pelo peso do trator (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	n	$R_{FTM/PT} \pm s_x$	CV
com lastro			
4x2	33	140,41 $\pm$ 34,12	24,30
4x2 TDA	101	151,77 $\pm$ 29,52	19,45
sem lastro			
4x2	33	137,91 $\pm$ 33,42	24,23
4x2 TDA	106	149,02 $\pm$ 27,98	18,78

A relação força de tração pelo peso é maior nos tratores com a opção da tração dianteira auxiliar. Isso provavelmente ocorre pelo fato de serem tratores com maior disponibilidade de potência e maior força de tração máxima.

A variabilidade dos dados da relação força de tração pelo peso do trator, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 TDA, com e sem lastro (Quadro 13).

4.6. Rendimento de tração

No Quadro 14, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do rendimento de tração (Rt) em concreto, solo firme, solo arado e solo solto, em função da faixa de potência.

Os valores de rendimento de tração apresentam, dependendo da condição do solo, nenhuma ou pouca diferença em relação ao incremento da faixa de potência. Porém, dentro da mesma faixa de potência, há um decréscimo no rendimento de tração à medida que o solo vai ficando com agregados menores ou soltos, por exemplo, solo gradeado. Isso provavelmente acontece pelo fato de quando o solo está mais solto, menor é a aderência do contato rodado com o solo e, conseqüentemente, maior a resistência ao rolamento. Silva e Kay (1996) confirmam que solos cheios de torrões, ou macios, oferecem uma resistência maior às rodas do que um terreno firme. Nagaoka et al. (2002) confirmam a justificativa, ao afirmarem que a mobilização do solo diminuiu a capacidade do trator em desenvolver a

tração, pois o solo desagregado não ofereceu a mesma reação quando comparado com o mesmo tipo de solo em que não houve a desagregação das partículas. Essa situação requer mais energia do trator para a tração e, com isso, maior consumo específico de combustível para manter a velocidade do trator.

Jenane e Bashford (2000), em diferentes condições do solo, também encontraram máximos rendimentos para solo firme, 90%, comparados aos 70% para solo solto. Schlosser et al. (2004) e Souza e Queiroz (2005) confirmaram esses resultados.

A variabilidade dos dados de rendimento de tração para o concreto, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa I. Porém, para as demais condições de solo, foi menor a faixa IV. Com isso, há maior homogeneidade dos dados nas referidas faixas (Quadro 14).

No Quadro 15, são apresentados o número de tratores amostrados (N), a média e o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do rendimento de tração (R_t) em concreto, solo firme, solo arado e solo solto, em função do tipo de tração.

O rendimento de tração é maior nos tratores sem a opção da tração dianteira auxiliar, com exceção quando se trabalha em solo solto, pois os valores foram iguais a 64% (Quadro 15).

A variabilidade dos dados do rendimento de tração, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 para o concreto e 4x2 TDA para as demais condições de solo (Quadro 15).

QUADRO 14. Rendimento de tração (adimensional) em concreto, em solo firme, em solo arado e em solo solto, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$R_{tCONCRETO} \pm \sigma_x$	CV	$R_{tFIRME} \pm \sigma_x$	CV	$R_{tARADO} \pm \sigma_x$	CV	$R_{tSOLTO} \pm \sigma_x$	CV
I	25	$0,87 \pm 2,27E-17$	2,60E-15	$0,76 \pm 2,29E-02$	3,01	$0,72 \pm 2,45E-02$	3,40	$0,63 \pm 4,08E-02$	6,47
II	90	$0,87 \pm 3,11E-17$	3,57E-15	$0,76 \pm 2,25E-02$	2,96	$0,72 \pm 2,05E-02$	2,85	$0,64 \pm 3,42E-02$	5,34
III	63	$0,87 \pm 9,00E-16$	1,03E-13	$0,76 \pm 2,10E-02$	2,76	$0,73 \pm 7,56E-03$	1,03	$0,65 \pm 1,26E-02$	1,94
IV	13	$0,87 \pm 1,47E-16$	1,69E-14	$0,77 \pm 1,39E-02$	1,80	$0,73 \pm 2,31E-16$	3,16E-14	$0,65 \pm 1,16E-16$	1,78E-14

QUADRO 15. Rendimento de tração (adimensional) em concreto, em solo firme, em solo arado e em solo solto, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	$R_{tCONCRETO} \pm \sigma_x$	CV	$R_{tFIRME} \pm \sigma_x$	CV	$R_{tARADO} \pm \sigma_x$	CV	$R_{tSOLTO} \pm \sigma_x$	CV
4x2	40	$0,89 \pm 2,45E-17$	2,75E-15	$0,77 \pm 2,42E-02$	3,14	$0,74 \pm 3,01E-02$	4,07	$0,64 \pm 5,01E-02$	7,83
4x2 TDA	151	$0,86 \pm 1,67E-15$	1,94E-13	$0,75 \pm 1,71E-02$	2,28	$0,72 \pm 8,92E-16$	1,24E-13	$0,64 \pm 1,23E-15$	1,92

4.7. Transferência de peso

No Quadro 16, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da transferência de peso (TP), em função da faixa de potência.

QUADRO 16. Transferência de peso (N), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	TP $\pm s_x$	CV
		com lastro	
I	22	4677,65 $\pm$ 1003,17	4,66
II	64	9691,91 $\pm$ 2719,01	3,54
III	28	19922,25 $\pm$ 4898,95	4,07
IV	10	35457,99 $\pm$ 4476,41	7,92
		sem lastro	
I	20	3868,86 $\pm$ 1104,63	3,50
II	68	7709,02 $\pm$ 1670,38	4,61
III	29	16457,78 $\pm$ 4118,66	3,99
IV	10	27078,78 $\pm$ 3886,93	6,97

A transferência de peso aumentou com a elevação da faixa de potência. Isso aconteceu pelo fato de a transferência de peso estar relacionada com a força de tração. Isso foi comprovado por Schlosser et al. (2004) quando relatam que o efeito da tração fez que se transfira maior parcela do peso do eixo dianteiro ao traseiro, fazendo que este tenha maior coeficiente dinâmico de tração, portanto, recebendo mais condições para melhorar o coeficientes de tração.

A variabilidade dos dados de transferência de peso, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa II com lastro e faixa I sem lastro. (Quadro 16).

No Quadro 16, com a adição de lastro, os valores foram ainda maiores, pelo fato de a colocação do lastro justificar o aumento da quantidade de peso dianteiro que pode ser transferido para o eixo traseiro.

No Quadro 17, são apresentados o número de tratores amostrados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da transferência de peso (TP), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 17. Transferência de peso (N), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	tipo de tração dos tratores		
	n	TP ± s _x	CV
	com lastro		
4x2	31	9364,02 ± 3087,67	32,97
4x2 TDA	93	14465,69 ± 9906,65	68,48
sem lastro			
4x2	31	7173,22 ± 2258,25	31,48
4x2 TDA	96	11742,54 ± 7558,49	64,37

Os tratores que possuem tração dianteira auxiliar podem transferir mais peso para o eixo traseiro. Isso se deve a uma distribuição de pesos mais equilibrada entre os eixos do trator. Com a adição de lastro, esse incremento é ainda mais acentuado.

A variabilidade dos dados da transferência de peso, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 com e sem lastro (Quadro 17).

4.8. Coeficiente de tração

No Quadro 18, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do coeficiente de tração (Kt), em função da faixa de potência.

QUADRO 18. Coeficiente de tração (percentual), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	Kt ± s _x	CV
	com lastro		
I	22	153,35 ± 20,30	13,24
II	70	159,54 ± 45,87	28,75
III	30	164,29 ± 24,26	14,77
IV	12	199,86 ± 23,41	11,71
sem lastro			
I	20	153,76 ± 19,61	12,75
II	74	158,84 ± 40,52	25,51
III	33	165,06 ± 29,35	17,78
IV	12	198,29 ± 23,06	11,63

Nas faixas I e III, os tratores sem lastro proporcionam maior coeficiente de tração em comparação aos tratores com lastro. Já os tratores lastrados apresentaram melhores resultados nas faixas II e IV. Pode-se observar que ao aumentar a faixa de potência, eleva-se o coeficiente, independentemente, do peso do trator. Os tratores na faixa IV têm capacidade de tracionar, aproximadamente, duas vezes o peso dinâmico traseiro. Conforme afirmado por Schlosser et al. (2004), as variáveis força de tração, transferência de peso, coeficiente dinâmico de tração e coeficiente de tração estão diretamente relacionadas. Isso é comprovado no presente trabalho.

A variabilidade dos dados de coeficiente de tração, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV, com lastro e sem lastro (Quadro 16).

No Quadro 19, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do coeficiente de tração (Kt), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 19. Coeficiente de tração (percentual), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	n	Kt ± s _x	CV
		com lastro	
4x2	33	154,41 ± 40,12	25,98
4x2 TDA	101	167,65 ± 34,00	20,28
		sem lastro	
4x2	33	152,25 ± 39,67	26,05
4x2 TDA	106	166,34 ± 34,27	20,60

Os tratores 4x2 TDA com lastro apresentam maiores coeficientes de tração, quando comparados aos tratores sem a opção da tração dianteira e sem lastro. Os tratores 4x2 TDA lastrados apresentam a capacidade de tracionar 8% acima do seu peso dinâmico traseiro, quando comparado aos tratores 4x2 lastrados. Acredita-se que quando os tratores estão com a tração dianteira acionada, ela pode ajudar na diminuição da patinagem dos pneus motrizes traseiros e com isso ter um maior coeficiente de tração.

Yanai et al. (1999) afirmam que há influência significativa da lastragem e do acionamento da tração dianteira auxiliar no parâmetro coeficiente de tração.

A variabilidade dos dados do coeficiente de tração, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 TDA com e sem lastro (Tabela 18).

4.9. Centro de gravidade

No Quadro 20, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da altura do centro de gravidade (Y_{CG}), em função da faixa de potência.

QUADRO 20. Altura do centro de gravidade (mm), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	$Y_{CG} \pm s_x$	CV
		com lastro	
I	25	374,13 $\pm$ 34,41	9,20
II	82	452,49 $\pm$ 42,90	9,48
III	41	562,00 $\pm$ 36,82	6,55
IV	11	659,92 $\pm$ 45,41	6,88
		sem lastro	
I	21	396,80 $\pm$ 35,47	8,94
II	62	480,79 $\pm$ 44,35	9,22
III	19	601,34 $\pm$ 42,69	7,10
IV	9	720,32 $\pm$ 18,96	2,63

A altura do centro de gravidade é crescente entre as faixas de potência I a IV, com e sem lastro. Provavelmente isto se deve ao fato de os tratores, ao aumentarem sua potência, necessitarem ser mais altos, mais robustos, com maior vão livre e maior altura da barra de tração, sendo assim, a resultante de todas as forças que atuam nos tratores será mais elevada em relação à referência, que é o solo. Então, nota-se que os tratores menos potentes, por possuírem menor altura do centro de gravidade, provavelmente apresentam maior estabilidade.

Porém, quando se adiciona lastro, a altura do centro de gravidade diminui, dando mais estabilidade e segurança para a operação,

independentemente da faixa de potência. Com a adição do lastro, ocorre maior transferência de peso e achatamento dos pneus, diminuindo o raio dos pneus motrizes, aumentando a superfície de contato do rodado com o solo, proporcionando maior aderência e, conseqüentemente, maior estabilidade. Schlosser et al. (2004) também relatam que os raios estáticos aumentam nos eixos dianteiro e traseiro quando se diminui o peso do trator ou à medida que se utiliza uma pressão interna maior nos pneus.

A variabilidade dos dados da altura do centro de gravidade, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa III com lastro e na faixa IV sem lastro (Quadro 20).

No Quadro 21, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da altura do centro de gravidade (Y_{CG}), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 21. Altura do centro de gravidade (mm), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	n	$Y_{CG} \pm s_x$	CV
	com lastro		
4x2	40	437,05 ± 40,45	9,25
4x2 TDA	119	498,12 ± 94,44	18,96
sem lastro			
4x2	26	447,72 ± 40,43	9,03
4x2 TDA	85	522,46 ± 103,77	19,86

Com relação à tração, os tratores sem a opção da tração dianteira ainda têm a tendência de serem tratores de menor potência, com menor altura da barra de tração, mais leves, menor vão livre e, conseqüentemente, terão menor altura do centro de gravidade.

A variabilidade dos dados da altura do centro de gravidade, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 com e sem lastro (Quadro 21).

4.10. Declividade operacional limite

No Quadro 22, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da declividade operacional limite na bitola mínima ($d_{\text{bit min}}$), com e sem lastro, em função da faixa de potência.

QUADRO 22. Declividade operacional limite na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	$d_{\text{bit min}} \pm s_x$	CV
		com lastro	
I	23	76,53 $\pm$ 17,64	23,05
II	78	95,95 $\pm$ 13,99	14,58
III	41	102,32 $\pm$ 12,09	11,81
IV	11	84,07 $\pm$ 16,63	19,78
		sem lastro	
I	21	68,31 $\pm$ 12,36	18,09
II	60	88,89 $\pm$ 14,77	16,61
III	19	88,14 $\pm$ 9,14	10,37
IV	9	72,04 $\pm$ 1,68	2,33

A declividade operacional limite na bitola mínima, com e sem lastro, foi maior na faixa III e II, respectivamente. Com a adição do lastro, o trator pode trabalhar com segurança em declives mais acentuados. Isso se deve ao fato de a transferência de peso e o achatamento dos pneus acarretarem uma maior superfície de contato do rodado com o solo, quando os tratores estão lastrados. O centro de gravidade varia de posição quando se adicionam lastros ao trator, de acordo com Khoury Junior et al. (2009).

A variabilidade dos dados da declividade operacional limite na bitola mínima, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa III com lastro e na faixa IV sem lastro (Quadro 22).

No Quadro 23, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da declividade operacional limite na bitola mínima ($d_{\text{bit min}}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 23. Declividade operacional limite na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores			
TRAÇÃO	n	$d_{bit\ min} \pm s_x$	CV
	com lastro		
4x2	40	94,87 ± 17,03	17,95
4x2 TDA	113	93,53 ± 16,47	17,60
sem lastro			
4x2	26	86,75 ± 18,68	21,53
4x2 TDA	83	82,35 ± 14,27	17,33

Os tratores sem a opção da tração dianteira podem trabalhar em maiores declividades independentemente de estarem lastrados. Isso provavelmente pode estar relacionado ao seu menor vão livre vertical.

A variabilidade dos dados da declividade operacional limite na bitola mínima, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 TDA com e sem lastro (Quadro 23).

No Quadro 24, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da declividade operacional limite na bitola máxima ($d_{bit\ máx}$), com e sem lastro, em função da faixa de potência.

QUADRO 24. Declividade operacional limite na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	$d_{bit\ máx} \pm s_x$	CV
	com lastro		
I	23	91,07 ± 27,88	30,61
II	78	126,45 ± 26,74	21,15
III	41	132,70 ± 15,04	11,33
IV	11	123,01 ± 3,48	2,83
sem lastro			
I	21	80,00 ± 19,00	23,75
II	60	116,10 ± 26,37	22,71
III	19	133,34 ± 10,05	7,54
IV	9	115,92 ± 3,18	2,74

Os tratores lastrados possuem maior declividade na bitola máxima, com exceção da faixa III. Comparando os tratores na bitola mínima e máxima, em todos os casos, os tratores podem operar em maiores declividades quando estão com a bitola máxima. Com a bitola máxima, os

tratores se tornam mais estáveis e conseguem permanecer com estabilidade em terrenos de declividade mais acentuada.

A variabilidade dos dados da declividade operacional limite na bitola mínima, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV, com e sem lastro (Quadro 24).

No Quadro 25, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da declividade operacional limite na bitola máxima ($d_{\text{bit máx}}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 25. Declividade operacional limite na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	n	$d_{\text{bit máx}} \pm s_x$	CV
		com lastro	
4x2	40	124,78 $\pm$ 31,96	25,61
4x2 TDA	113	121,77 $\pm$ 24,98	20,51
sem lastro			
4x2	26	111,06 $\pm$ 31,43	28,30
4x2 TDA	83	112,47 $\pm$ 26,30	23,38

A declividade operacional limite com lastro na bitola máxima foi maior para os tratores com a opção de tração no eixo dianteiro. Isso provavelmente pode estar relacionado ao seu menor vão livre. Entretanto, o mesmo não foi observado para os tratores quando não estão lastrados.

A variabilidade dos dados da declividade operacional limite na bitola máxima, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 TDA, com e sem lastro (Quadro 25).

4.11. Declividade máxima operacional

No Quadro 26, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da declividade máxima operacional na bitola mínima ($d_{\text{máx bit min}}$), com e sem lastro, em função da faixa de potência.

QUADRO 26. Declividade máxima operacional na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$dm_{\text{bit min}}^{\text{máx}} \pm s_x$	CV
com lastro			
I	23	$38,26 \pm 8,82$	23,05
II	78	$49,98 \pm 6,99$	13,98
III	41	$51,16 \pm 6,04$	11,80
IV	11	$42,03 \pm 8,31$	19,77
sem lastro			
I	21	$34,15 \pm 6,18$	18,10
II	60	$44,44 \pm 7,38$	16,61
III	19	$44,07 \pm 4,57$	10,37
IV	9	$36,02 \pm 0,84$	2,33

A declividade máxima operacional na bitola mínima, com e sem lastro, foi maior na faixa III e II, respectivamente. Com a adição do lastro, o trator pode trabalhar com segurança em declives mais acentuados. Isso se deve ao fato de a transferência de peso e o achatamento dos pneus provocarem maior superfície de contato do rodado com o solo quando os tratores estão lastrados.

A variabilidade dos dados da declividade máxima operacional na bitola mínima, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa III com lastro e na faixa IV sem lastro (Quadro 26).

No Quadro 27, são apresentados o número de tratores (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação da declividade máxima operacional na bitola mínima ($dm_{\text{bit min}}^{\text{máx}}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 27. Declividade máxima operacional na bitola mínima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	$dm_{\text{bit min}}^{\text{máx}} \pm s_x$	CV
com lastro			
4x2	40	$47,43 \pm 8,51$	17,94
4x2 TDA	113	$22,38 \pm 4,11$	18,36
sem lastro			
4x2	26	$43,37 \pm 4,67$	10,77
4x2 TDA	83	$41,17 \pm 7,13$	17,32

Os tratores sem a opção da tração dianteira podem trabalhar em maior declividade máxima operacional independentemente de estarem lastrados. Isso provavelmente pode estar relacionado ao seu menor vão livre.

A variabilidade dos dados da declividade máxima operacional na bitola máxima, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 com e sem lastro (Quadro 25).

No Quadro 28, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da declividade máxima operacional na bitola mínima ($dm_{\text{bit min}}^{\text{máx}}$), com e sem lastro, em função da faixa de potência.

QUADRO 28. Declividade máxima operacional na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	n	$dm_{\text{bit máx}}^{\text{máx}} \pm s_x$	CV
com lastro			
I	23	45,53 $\pm$ 13,94	30,62
II	78	63,22 $\pm$ 13,37	21,15
III	41	66,35 $\pm$ 7,52	11,33
IV	11	61,50 $\pm$ 1,74	2,83
sem lastro			
I	21	40,00 $\pm$ 9,5	23,75
II	60	58,05 $\pm$ 13,18	22,70
III	19	66,67 $\pm$ 5,02	7,53
IV	9	57,96 $\pm$ 1,59	2,74

Apesar do valor bem próximo, com exceção da faixa III, os tratores quando adicionados lastros possuem menor declividade máxima operacional na bitola máxima. Comparando os tratores na bitola mínima e máxima, em todos os casos, os tratores podem operar em declividade máxima quando estão com a bitola máxima. Com a bitola máxima, os tratores se tornam mais estáveis e conseguem permanecer com estabilidade em terrenos de topografia mais acidentada. Khoury Junior et al. (2009) confirmam que a bitola e a localização do centro de gravidade são os fatores que mais afetam a estabilidade dos tratores agrícolas.

A variabilidade dos dados da declividade máxima operacional na bitola máxima, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV com e sem lastro (Quadro 28).

No Quadro 29, são apresentados o número de tratores analisados (n), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da declividade máxima operacional na bitola máxima ($dm_{\text{bit máx}}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração.

QUADRO 29. Declividade máxima operacional na bitola máxima (%), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	n	$dm_{\text{bit máx}} \pm s_x$	CV
		com lastro	
4x2	40	62,39 ± 15,98	25,61
4x2 TDA	113	60,88 ± 12,49	20,51
sem lastro			
4x2	26	55,53 ± 15,71	28,29
4x2 TDA	83	56,23 ± 13,15	23,39

A declividade máxima operacional com lastro na bitola máxima foi maior para os tratores com a opção de tração no eixo dianteiro. Entretanto, o mesmo não foi observado para os tratores quando não estão lastrados.

A variabilidade dos dados da declividade máxima operacional na bitola máxima, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 TDA com e sem lastro (Quadro 29).

4.12. Consumo horário de combustível

No Quadro 30, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do consumo horário de combustível (c), em função da faixa de potência.

QUADRO 30. Consumo horário de combustível ($L\ h^{-1}$), em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$c \pm \sigma_x$	CV
I	25	$3,98 \pm 1,25$	31,41
II	90	$8,87 \pm 1,59$	17,92
III	63	$17,93 \pm 3,59$	20,02
IV	13	$33,01 \pm 5,15$	15,60

O consumo horário de combustível aumenta à medida que as faixas de potência são elevadas de I para IV. Isso ocorre devido ao aumento da cilindrada do motor nos tratores mais potentes, o que aumenta a quantidade de combustível pulverizado pelo bico injetor na câmara de combustão do motor.

Outra justificativa é o aumento do consumo de combustível ser diretamente relacionado ao aumento da força de tração. Isso pode ser justificado pelo trabalho conduzido por Russini (2009), que analisou o comportamento da força de tração e do consumo de combustível em relação à velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Segundo o autor, isto acontece pelo fato de a bomba injetora ter um mecanismo denominado “governador”, que aumenta a injeção do combustível para suprir as demandas principalmente quando ocorrem sobrecargas momentâneas. A variação no consumo horário de combustível também foi observado por Trintin et al. (2005), quando a velocidade variou de 4,2 para 6,5 $km\ h^{-1}$, havendo um incremento de 35,9% no consumo de combustível e 52% na demanda de potência na barra de tração.

Ainda, de acordo com a metodologia utilizada no presente trabalho, o consumo horário de combustível está relacionado à potência disponível na TDP, que aumentou com o incremento das faixas de potência, sendo assim, justifica-se o aumento desse consumo em relação às faixas.

A variabilidade dos dados do consumo horário de combustível, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV (Quadro 30).

No Quadro 31, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do consumo horário de combustível (c), em função do tipo de tração.

QUADRO 31. Consumo horário de combustível ($L\ h^{-1}$), com e sem lastro, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	$c \pm \sigma_x$	CV
4x2	40	$8,59 \pm 2,63$	30,62
4x2 TDA	151	$13,99 \pm 8,37$	59,83

Os tratores quando estão com a tração dianteira acionada há um aumento no consumo horário de combustível para que possam manter uma maior força de tração em relação à rotação nominal do motor. Fontana et al. (1986), em operação de campo com escarificador, compararam o desempenho de tratores com e sem tração dianteira, tendo observado um aumento de 5,82% em média no consumo horário de combustível com o uso da TDA.

A variabilidade dos dados, com relação ao tipo de tração, do consumo horário de combustível, foi menor com a tração 4x2 (Quadro 31).

4.13. Autonomia de combustível

No Quadro 32, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da autonomia de combustível (A), em função da faixa de potência.

QUADRO 32. Autonomia de combustível (horas), em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$A \pm \sigma_x$	CV
I	25	$9,46 \pm 2,10$	22,20
II	90	$10,71 \pm 2,23$	20,82
III	63	$18,98 \pm 5,33$	28,08
IV	13	$19,37 \pm 2,91$	15,02

Com o aumento da faixa de potência, os tratores podem operar mais tempo no campo sem necessidade de reabastecimento. Os tratores estão sendo projetados com maiores tanques de combustível e esse fato está diretamente relacionado à sua autonomia. Nota-se que a autonomia de combustível foi atendida do ponto de vista prático, econômico e de

segurança para todas as faixas, pois, de acordo com Cenea (1982), o ideal é uma autonomia de 10 horas de trabalho.

A variabilidade dos dados da autonomia de combustível, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV (Quadro 32).

No Quadro 33, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) da autonomia de combustível (A), em função do tipo de tração.

QUADRO 33. Autonomia de combustível (horas), em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	A $\pm \sigma_x$	CV
4x2	40	11,71 $\pm$ 1,81	15,46
4x2 TDA	151	14,44 $\pm$ 6,04	41,83

A autonomia de combustível para os tratores 4x2 TDA foi maior em relação aos tratores 4x2. Provavelmente este fato está relacionado aos tratores com a TDA ainda serem tratores mais robustos e com maiores tanques, pois, de acordo com o CENEA (1982), a capacidade do tanque deve ser de 4,0 litros de diesel por kW do motor, que daria condições para um dia de serviço com um regime de trabalho de 85% da capacidade do motor.

A variabilidade dos dados da autonomia de combustível, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 (Quadro 33).

4.14. Consumo específico de combustível

No Quadro 34, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do consumo específico de combustível (C) em relação à potência nominal do motor, em função da faixa de potência.

QUADRO 34. Consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) em relação à potência nominal do motor, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$C \pm \sigma_x$	CV
I	25	$142,08 \pm 0,15$	0,10
II	90	$142,09 \pm 0,05$	0,03
III	63	$142,07 \pm 0,03$	0,02
IV	13	$154,56 \pm 0,01$	6,47E-03

Com o aumento da faixa de potência, ocorre um pequeno acréscimo no consumo específico de combustível, sendo esse incremento mais notável ao passar da faixa III para IV. Este comportamento está relacionado ao aumento das potências nominais, consumo horário de combustível e à maior força de tração.

A variabilidade dos dados do consumo específico de combustível, com relação às faixas de potência, foi menor na faixa IV (Quadro 34).

No Quadro 35, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do consumo específico de combustível (C) em relação à potência nominal do motor, em função do tipo de tração.

QUADRO 35. Consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) em relação à potência nominal do motor, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	$C \pm \sigma_x$	CV
4x2	40	$142,09 \pm 0,08$	0,06
4x2 TDA	151	$143,17 \pm 3,53$	2,46

Os tratores 4x2 TDA têm maior consumo específico de combustível em relação aos tratores 4x2, por ainda serem tratores de maior potência nominal e consumo horário de combustível, possuindo tratores nas faixas entre 15 kW a 320 kW. Porém, não está sendo fabricado ou comercializado nenhum trator de alta potência, com o tipo de tração 4x2. Fontana et al. (1986) comprovaram aumento do consumo horário de combustível com o uso da TDA.

A variabilidade dos dados do consumo específico de combustível, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 (Quadro 35).

No Quadro 36, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do consumo específico de combustível (C) na TDP, em função da faixa de potência.

QUADRO 36. Consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) na TDP, em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	$C \pm \sigma_x$	CV
I	25	$125,90 \pm 0,12$	0,09
II	90	$125,91 \pm 0,05$	0,04
III	63	$125,90 \pm 0,03$	0,02
IV	13	$136,96 \pm 0,01$	7,30E-03

Com o aumento da faixa de potência, houve um acréscimo no consumo específico de combustível na TDP. Tal fato está relacionado diretamente ao incremento da potência disponível na TDP e do consumo horário de combustível.

A variabilidade dos dados, com relação às faixas de potência, do consumo específico de combustível na TDP, foi menor na faixa IV (Quadro 36).

No Quadro 37, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do consumo específico de combustível (C) na TDP, em função do tipo de tração.

QUADRO 37. Consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) na TDP, em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	$C \pm \sigma_x$	CV
4x2	40	$125,92 \pm 0,07$	0,05
4x2 TDA	151	$126,87 \pm 3,13$	2,47

Em razão do aumento do consumo horário de combustível e da potência disponível na TDP, os tratores 4x2 e 4x2 TDA apresentam maior consumo específico de combustível na TDP.

A variabilidade dos dados do consumo específico de combustível na TDP, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 (Quadro 37).

4.15. Rendimento termomecânico

No Quadro 38, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do rendimento termomecânico (M) em função da faixa de potência.

QUADRO 38. Rendimento termomecânico (%), em função da faixa de potência dos tratores

FAIXA	N	M $\pm \sigma_x$	CV
I	25	41,70 $\pm$ 0,04	0,09
II	90	41,70 $\pm$ 0,02	0,05
III	63	41,70 $\pm$ 0,01	0,02
IV	13	38,33 $\pm$ 0,00	0,00

Nas faixas I a III, o rendimento termomecânico foi o mesmo. Somente na faixa IV, a eficiência na conversão da energia calorífica do combustível em energia mecânica no volante foi menor. Isso deve-se ao fato dessa variável ser inversa ao consumo específico de combustível. Como esse consumo foi maior na faixa IV, o rendimento deveria ser menor nessa mesma faixa, como de fato ocorreu. Nas faixas I a III, o consumo específico apresentou uma pequena diferença e talvez isso tenha resultado em um valor igual para o rendimento nessas faixas.

Não houve variabilidade dos dados do rendimento termomecânico com relação às faixas de potência, (Quadro 38).

No Quadro 39, são apresentados o número de tratores analisados (N), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%) do rendimento termomecânico (M) em função do tipo de tração.

QUADRO 39. Rendimento termomecânico (%), em função do tipo de tração dos tratores

TRAÇÃO	N	M $\pm \sigma_x$	CV
4X2	40	41,70 $\pm$ 0,02	0,05
4X2 TDA	151	41,41 $\pm$ 0,95	2,29

O rendimento termomecânico apresentou um menor valor para os tratores 4x2 TDA. Como o consumo específico foi maior para este tipo de

trator, esperava-se realmente que esses mesmos tratores obtivessem um menor rendimento como pôde ser observado.

A variabilidade dos dados do rendimento termomecânico, com relação ao tipo de tração, foi menor com a tração 4x2 (Quadro 39).

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados para os tratores agrícolas de pneus fabricados/comercializados no Brasil, pode-se concluir que:

- Os modelos de tratores da faixa II, potência de 50 a 99 cv e tração 4x2 TDA têm maior representatividade no mercado nacional, correspondendo a 47% e 79%, respectivamente;
- As potências disponíveis são maiores para a faixa IV, acima de 200 cv, com tipo de tração 4x2 TDA;
- Os tratores da faixa IV, potência acima de 200 cv e tração 4x2 TDA apresentam maior reserva de torque;
- A força de tração máxima é maior para tratores da faixa IV, potência acima de 200 cv e tipo de tração 4x2 TDA com lastro;
- Os tratores da faixa III, potência de 100 a 199 cv e tipo de tração 4x2 com lastro apresentam maior capacidade de trabalhar em maiores declividades;
- O consumo horário e específico de combustível é menor para os tratores 4x2, na faixa I potência, até 49cv;
- A adição de lastros comprovou ser um procedimento importante para a melhoria do desempenho dos tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil;
- Considerando os parâmetros estudados, o melhor desempenho foi registrado para os tratores das faixas III e IV, potência de 100 a 199 cv e acima de 200 cv e tipo de tração 4x2; e
- É importante ressaltar que a melhor potência e tipo de tração irão depender das necessidades e objetivos de cada situação.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 10400**. Trator agrícola. Determinação do desempenho na barra de tração. Método de ensaio. São Paulo: ABNT, 1997. 4p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 12567**. Trator agrícola. Determinação do centro de gravidade, Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 6p.

ALMEIDA, R.A.S. de.; SILVA, C.A.T.; SILVA, S.L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**, Dourados, v.3, n.7, p.63-70, 2010.

ANFAVEA. **Anuário estatístico**. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br>. Acesso em: 10 set. 2011.

ARIAS-PAZ, M. **Tractores**. 15. ed. Madrid: CIE, 2000. 655p.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **ASAE D496.2**. Agricultural machinery management data. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2003. p. 367-372.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **ASAE D497.4**. Agricultural machinery management data. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2003. p. 373-380.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **ASAE S390.1**. Agricultural machinery management data. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1994.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **ASAE S209.5**. Agricultural machinery management data. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1989. p. 44-48.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 2005. 310p.

BASHFORD, L.L.; WOERMAN, G.R.; SHROPSHIRE, G.J. **Front Wheel Assist Tractor Performance in two and Four-Wheel Drives Modes**. Transactions of the ASAE, p. 23-29, 1985.

BIONDI, P.; MARAZITI, F.; MONARCA, D. Technical trends of tractors and combines (1960-1989) based on Italian type-approval data. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.65, p.1-14, 1996.

CENEA – Centro Nacional de Engenharia Agrícola. **Parâmetros para seleção adequada de tratores agrícolas de rodas.** Boletim Técnico. Ano I – nº 1. OUT/NOV/DEZ. 1982.

CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; MILAN, M. Tração dianteira auxiliar: Desempenho em função do pneu dianteiro. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...**Poços de Caldas, 1998, 442 p, p. 154-156.

CORRÊA, I.M.; YANAI, K.; MAZIERO, J.V.G.; LANÇAS, K.P. Determinação da circunferência de rolamento de pneus agrícolas utilizando dois métodos: manual e eletrônico. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p. 179-184, 1999.

DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J.F.; WILLES, J.A. Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.779-784, 2004.

DELGADO, L.M. **El tractor agrícola características y utilización.** Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1991. 235p.

DWYER, M.J.; FEBO, P. **Handbook of agricultural tire performance.** AFRC Intitute of Engineering Research – NIAE, p.1-15. 1987.

FAO. **Energy consumption and input output relation in field operations.** Rome, 1990. 10p.

FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M. da; RINALDI, P. C. N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1582-1587, set./out., 2008.

FONTANA, C.F.; DALLMEYER, A.U.; POZZERA, J.; WEISS, A. Desempenho comparativo de tratores com e sem tração dianteira auxiliar durante a escarificação do solo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.16, n.3, p.237-249, 1986.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.L.; MODOLO, A.J.; DYKSTRAM, M. Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de cobertura vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. p.1-4.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; GUERRA, S.P.; PAULA, C.A.; MONTEIRO, L.A. UMEB - Unidade móvel para ensaio da barra de tração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p. 782-789, 2008.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LEITE, F.; ACOSTA, J.J.B.; JESUINO, P.R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira em Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, mar. 2010.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.L.; MODOLO, A.J.; SILVEIRA, J.C.M. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.781-789, 2004.

GOERING, C.E.; STONE, M.L.; SMITH, D.W.; TURNQUIST, P.K. Off-road vehicle engineering principles. ASAE, MI. 474 p. 2003.

HILBERT, J.; BALBUENA, R.G.; CLAVERIE, J. Medición y predicción de la resistencia a la rodadura en tractores de tracción simple y tracción delantera asistida en laboreo secundario. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM/SBEA, 1992. v.3, p.1742-1752.

HERMANN, P.R., KRAUSE, R., MATTOS, P.C. **Parâmetros para a seleção adequada de tratores agrícolas de rodas**. Boletim Técnico. n.1. p.1-4, 1982.

IBAÑEZ, M.; ROJAS, E. **Costos de operación y producción por concepto de maquinaria agrícola**. Concepción: Universidad Concepción, 1994. 58 p.

INNS, F.M.; KILGOUR, J. Agricultural Tyres. Dunlop Limited, 1978. London. 70p.

JENANE, C.; BASHFORD, L. L. Tractive performance of a mechanical front-wheel assist tractor as related to forward speeds. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe Research Institute. v.77, p.221-226, 2000.

KHOURY JUNIOR, J.K.; SOUZA, C.M.A.de.; RAFULL, L.Z.L.; VARELLA, C.A.A. Simulação da estabilidade de tratores agrícolas 4x2. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.1, p.257-267, 2009.

LANÇAS, K. P. **Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas**. 1996. 171 f. Tese (Livre Docência na disciplina de Mecânica Aplicada/Departamento de Engenharia Rural) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

LILJEDAHN, J.B.; CARLETON, W.M.; TURNQUIST, P.K.; SMITH, D.W. Traction. **Traction and their power units**. Connecticut: Avi Publish Company, n.2, p.219-26, 1995.

LINARES, P. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Madrid : ETSIA, 1996. 157p.

LINARES, P. Transmisiones (I). **Agrotécnica**, p. 71-78, enero. 2001.

LOPES, A.; LANÇAS, K.P.; FURLANI, C.E.A.; NAGAOKA, P.C.N.; GROTTA, D.C.C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da

lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.382-386, 2003a.

LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P. Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, v.5, n.1, p.24- 31, 2003b.

MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V. dos; MACHADO, R.L.T. **Tratores para agricultura familiar: Guia de referência**. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2010. 124p.

MANTOVANI, E.C.; LEPLATOIS, M.L.; INAMASSU, R.Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1241-1246, jul. 1999.

MARQUEZ, L. Solotractor. Madrid: Laboreo S.A. 1990. 231p.

MAZETTO, F.R.; LANÇAS, K.P.; NAGAOKA, A.K.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S.P.S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.750-757, 2004.

MAZIERO, F.C. **Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA)**. 2010. 91 f. Tese (Departamento de Engenharia Rural) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

MIALHE, L.G. **Gerência de sistema tratorizado vs operação otimizada de tratores**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 30p.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ceres, 1974. 301p.

MIALHE, L.G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio & Certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1996. 723p.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. v.2. São Paulo: EDUSP/USP, 1980. 367p.

MONTEIRO, L.A.; LANÇAS, K.P.; GUERRA, S.P.S. Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastros líquidos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.551-560, 2011.

MONTEIRO, L.A.; LANÇAS, K.P.; MASIERO, F.C. Conjuntos: Adição de lastro e quando colocar. **Panorama Rural**, Ribeirão Preto, SP, n.125, p.50-55, jul. 2009.

NAGAOKA, A.K.; NOMURA, R.H.C.; BRÖRING, N.; KITANO, N.; JASPER, S.P. Avaliação do consumo de combustível, patinagem e capacidade de campo operacional na operação de semeadura da cultura de aveia-preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA/UFBA, 2002.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas.** Rio Branco – AC. Embrapa Acre. Documento, 58, 2000. 21p.

PIRELLI. **Manual técnico.** Pneus para agricultura. 1998. 66p.

RACKHAM, D.H.; BLIGHT, D.P. Four wheel drive tractors – A review. **Journal of Agricultural Engineers**, v.56, p.185-201, 1985.

REIS, E. F. **Máquinas agrícolas: preparo periódico do solo.** Anápolis – GO. Universidade Estadual de Goiás – UnUCET – Engenharia Agrícola, 2004. 25p.

REIS, A. V. dos.; MACHADO, A. L.T.; TILLMANN, C. A. da C.; MORAES, M.L.B de **Motores, Tratores, Combustíveis e Lubrificantes.** Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2002. 315p.

RENIUS, K. Th. Trends in tractor design with particular reference to Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.57, p.3-22, 1994.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas.** 2009. 142f. Dissertação (Departamento de Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SANDERSON, W.T.; MADSEN, M.D.; RAUTIAINEN, R.; KELLY, K.M.; ZWERLING, C.; TAYLOR, C.D.; REYNOLDS, S.J.; STROMQUIST, A.M.; BURMEISTER, L.F.; MERCHANT, J.A. Tractor overturn concerns in Iowa: perspectives from the Keokuk county rural health study. **Journal of Agricultural Safety and Health**, v.12, n.1, p.71-81, 2006.

SANTOS, M.da.S. **Parâmetros mecânicos de tração em sistemas de cultivo da melancia.** 2010a. 97 f. Dissertação (Departamento de Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010a.

SANTOS, P.M. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator.** 2010b. 161f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010b.

SCHLOSSER, J.F. **Comparação entre duas técnicas de aração: trator com as rodas dentro e fora do sulco.** 1987. 101p. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHLOSSER, J.F. **Influence del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas**. 1996. 286f. Tese (Doutorado em energia, máquinas e irrigação) – Universidade Politecnica de Madrid. Madrid, Espanha. 1996.

SCHLOSSER, J.F. **Motores e tratores agrícolas**. Caderno didático. Departamento de Engenharia Rural – Universidade Federal de Santa Maria, RS. 1997. 76p.

SCHLOSSER, J. F. **Tratores agrícolas**. Santa Maria: UFSM, 2001. 63p. (Série técnica II).

SCHLOSSER, J.F.; DEBIASI, H.; PARCIANELLO, G.; RAMBO, L. Caracterização dos acidentes com tratores agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, p.977-981, 2002.

SCHLOSSER, J.F.; DEBIASI, H.; WILLES, J.A.; MACHADO, O.D.C. Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, jan-fev, 2005.

SCHLOSSER, J.F.; LINARES, P.; MÁRQUEZ, L. Influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores com quatro rodas motrizes não isodiamétricas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, 2004.

SERRANO, J.M.; PEÇA, J.O.; PINHEIRO, A.; CARVALHO, M.; NUNES, M.; RIBEIRO, L.; SANTOS, L. The effect of gang angle of offset disc harrows on soil tilth, work rate and fuel consumption. **Biosystems Engineering**, v.84, p.171-176, 2003.

SILVA, A. B.; RESENDE, M.; SOUSA, A.R. de.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um regossolo no agreste Pernambucano. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.299-307, 1999.

SILVA, S.L., BENEZ, S.H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. **Energia na agricultura**. Botucatu, v.12, n.3, p.10-18, 1997.

SILVA, A. P. da.; KAY, B. D. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. **Plant and Soil**, v.184, p.323-9, 1996.

SILVA, S.L.; BENEZ, S.H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos

agrícolas em ensaios de campo. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.12, n.3, p.10-18, 1997.

SILVEIRA, G.M.; SIERRA, J.G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p. 428-424, 2010.

SORANSO, A.M. **Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado etílico e metílico**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Paraná – UNIOESTE, Cascavel.

SOUSA FILHO. **Avaliação de teorias de predição do comportamento de tratores agrícolas**. 2001. 153f. (Dissertação de mestrado) - Universidade federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, Brasil, 2001.

SOUZA, C.M.A.de.; QUEIROZ, D.M.de. Força bem distribuída. **Revista Cultivar Máquinas**, v.3, n.38, p.6-10 2005.

SPAGNOLO, R.T.; BERTOLDI, T.L.; OLDONI, A.; MACHADO, A.L.; REIS, A.V.dos. **Quantificação do esforço máximo de tração em trator com potência inferior a 20 kW**. 2010. Disponível em: www.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pd/CA/CA_00121.pdf. Acesso em: 11 de julho de 2011.

SRIVASTAVA, A.K., GOERING, C.E., ROHRBACH, R.P. **Tractor hitching, traction and testing**. Engineering principles of agricultural machines. 3 ed. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p.117-145, 1996.

TRINTIN, C.G.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTTO, V.C. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.1, p.127-131, 2005.

YANAI, K.; CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G. Uso da tração dianteira auxiliar sob diferentes condições de lastragem e de pressão de inflação. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais ...** Poços de Caldas, 1998. 442p. p.151-153.

YANAI, K.; CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; MENEZES, J.F. de; PECHE, A.T.M. Desempenho comparativo de tratores com e sem tração dianteira auxiliar em pista de concreto. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais...** Iperó: CENEA/SBEA,1988. v.2, p.438-444.

YANAI, K.; SILVEIRA, G.M.; LANÇAS, K.P.; CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1427-1434,1999.

ZOZ, F. **Belt and tire tractive performance**. Milwaukee: Society of Automotive Engineers, 1997. 8p.

ZOZ, F.; GRISSE, R.D. **Traction and tractor performance**. St Joseph: Asae. 2003. 46p.

ZOZ, F.M. **Predicting tractor field performance (updated)**. St. Joseph: ASAE, 1987. p.15. (ASAE Paper, 87-1623).

ZOZ, F. M.; TURNER, R. L.; SHELL L. R. Power delivery efficiency: A valid measure of belt and tire tractor performance. **Transactions of the ASAE**,v.45, p.509-518. 2002.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Modelos dos tratores analisados da marca Agrale

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
Agrale	4100	4 x 2	15	11
Agrale	4100.4	4 x 2 TDA	15	11
Agrale	4118.4	4 x 2 TDA	18	13
Agrale	4230	4 x 2	30	22
Agrale	4230.4	4 x 2 TDA	30	22
Agrale	4230.4 FBO	4 x 2 TDA	30	22
Agrale	5065 Compact	4 x 2	65	48
Agrale	5065 Compact	4 x 2 TDA	65	48
Agrale	5075.4 Compact	4 x 2	75	55
Agrale	5075.4 Compact	4 x 2 TDA	75	55
Agrale	5075	4 x 2	75	55
Agrale	5075	4 x 2 TDA	75	55
Agrale	5075 Inversor	4 x 2 TDA	75	55
Agrale	5085	4 x 2	85	63
Agrale	5085	4 x 2 TDA	85	63
Agrale	5085 Inversor	4 x 2 TDA	85	63
Agrale	5085.4 Arrozeiro Inversor	4 x 2 TDA	85	63
Agrale	BX 6110	4 x 2 TDA	105	77
Agrale	BX 6150	4 x 2 TDA	140	103
Agrale	BX 6180	4 x 2 TDA	168	124

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE B - Modelos dos tratores analisados da marca Case

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
Case	Farmall 80	4 x 2 TDA	80	59
Case	Farmall 95	4 x 2 TDA	95	70
Case	MXM 110	4 x 2 TDA	110	81
Case	MXM 125	4 x 2 TDA	125	92
Case	MXM 135	4 x 2 TDA	141	104
Case	MXM 150	4 x 2 TDA	149	110
Case	MXM 165	4 x 2 TDA	168	124
Case	MXM 180	4 x 2 TDA	180	132
Case	MX 220	4 x 2 TDA	220	162
Case	MX 240	4 x 2 TDA	240	177
Case	MX 270	4 x 2 TDA	270	199
Case	MX 305	4 x 2 TDA	305	224

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE C - Modelos dos tratores analisados da marca Green Horse

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
GreenHorse	GH 204	4 x 2 TDA	20	15
GreenHorse	GH 254	4 x 2 TDA	25	18
GreenHorse	GH 454	4 x 2 TDA	45	33
GreenHorse	GH 454C	4 x 2 TDA	45	33
GreenHorse	GH 754	4 x 2 TDA	75	55

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE D - Modelos dos tratores analisados da marca John Deere

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
John Deere	5303	4 x 2 TDA	57	42
John Deere	5403	4 x 2	65	48
John Deere	5403	4 x 2 TDA	65	48
John Deere	5603	4 x 2	75	55
John Deere	5603	4 x 2 TDA	75	55
John Deere	5605	4 x 2	75	55
John Deere	5605	4 x 2 TDA	75	55
John Deere	5075E	4 x 2	75	55
John Deere	5075E	4 x 2 TDA	75	55
John Deere	5425 N Estreito	4 x 2 TDA	78	57
John Deere	5078E	4 x 2	78	57
John Deere	5078E	4 x 2 TDA	78	57
John Deere	5705	4 x 2	85	63
John Deere	5705	4 x 2 TDA	85	63
John Deere	5085E	4 x 2	85	63
John Deere	5085E	4 x 2 TDA	85	63
John Deere	6110D	4 x 2 TDA	107	79
John Deere	6110E	4 x 2 TDA	110	81
John Deere	6110J	4 x 2 TDA	110	81
John Deere	6125D	4 x 2 TDA	125	92
John Deere	6125E	4 x 2 TDA	125	92
John Deere	6125J	4 x 2 TDA	125	92
John Deere	6145J	4 x 2 TDA	145	107
John Deere	6165J	4 x 2 TDA	165	121
John Deere	7185J	4 x 2 TDA	185	136
John Deere	7205J	4 x 2 TDA	205	151
John Deere	7225J	4 x 2 TDA	225	165
John Deere	8245R	4 x 2 TDA	245	180
John Deere	8270R	4 x 2 TDA	270	199
John Deere	8320R	4 x 2 TDA	319	235

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE E - Modelos dos tratores analisados da marca Landini

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
Landini	DT 50	4 x 2 TDA	48	35
Landini	DT 60	4 x 2	59	43
Landini	DT 60	4 x 2 TDA	59	43
Landini	DT 75	4 x 2	69	51
Landini	DT 75	4 x 2 TDA	69	51
Landini	DT 80	4 x 2 TDA	75	55
Landini	DT 100	4 x 2 TDA	97	71
Landini	140	4 x 2 TDA	138	101
Landini	165	4 x 2 TDA	166	122

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE F - Modelos dos tratores analisados da marca Massey Ferguson

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
Massey Ferguson	MF 250 XF	4 x 2	50	37
Massey Ferguson	MF 250 XF	4 x 2 TDA	50	37
Massey Ferguson	MF 250 XE	4 x 2	50	37
Massey Ferguson	MF 250 XE	4 x 2 TDA	50	37
Massey Ferguson	MF 255	4 x 2	50	37
Massey Ferguson	MF 255	4 x 2 TDA	50	37
Massey Ferguson	MF 255 F	4 x 2	50	37
Massey Ferguson	MF 255 F	4 x 2 TDA	50	37
Massey Ferguson	MF 265 F	4 x 2	65	48
Massey Ferguson	MF 265 F	4 x 2 TDA	65	48
Massey Ferguson	MF 4265	4 x 2	65	48
Massey Ferguson	MF 4265	4 x 2 TDA	65	48
Massey Ferguson	MF 275 F	4 x 2	75	55
Massey Ferguson	MF 275 F	4 x 2 TDA	75	55
Massey Ferguson	MF 4275	4 x 2	75	55
Massey Ferguson	MF 4275	4 x 2 TDA	75	55
Massey Ferguson	MF 4283	4 x 2	85	63
Massey Ferguson	MF 4283	4 x 2 TDA	85	63
Massey Ferguson	MF 4290	4 x 2	85	63
Massey Ferguson	MF 4290	4 x 2 TDA	85	63
Massey Ferguson	MF 283 F	4 x 2	86	63
Massey Ferguson	MF 283 F	4 x 2 TDA	86	63
Massey Ferguson	MF 4291	4 x 2	100	74
Massey Ferguson	MF 4291	4 x 2 TDA	100	74
Massey Ferguson	MF 4292	4 x 2 TDA	110	81
Massey Ferguson	MF 4297	4 x 2 TDA	120	88
Massey Ferguson	MF 4299	4 x 2 TDA	130	96
Massey Ferguson	MF 7140	4 x 2 TDA	140	103
Massey Ferguson	MF 7150	4 x 2 TDA	150	110
Massey Ferguson	MF 7350	4 x 2 TDA	150	110
Massey Ferguson	MF 7170	4 x 2 TDA	170	125
Massey Ferguson	MF 7370	4 x 2 TDA	170	125
Massey Ferguson	MF 7180	4 x 2 TDA	180	132
Massey Ferguson	MF 7390	4 x 2 TDA	190	140
Massey Ferguson	MF 7415	4 x 2 TDA	215	158

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE G - Modelos dos tratores analisados da marca New Holland

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
New Holland	TT 3840	4 x 2 TDA	55	40
New Holland	TT 3840 F	4 x 2 TDA	55	40
New Holland	TL 60 E	4 x 2	65	48
New Holland	TL 60 E	4 x 2 TDA	65	48
New Holland	TT 3880 F	4 x 2 TDA	75	55
New Holland	TT 4030	4 x 2 TDA	75	55
New Holland	TL 75 E	4 x 2	78	57
New Holland	TL 75 E	4 x 2 TDA	78	57
New Holland	TL 85 E	4 x 2	88	65
New Holland	TL 85 E	4 x 2 TDA	88	65
New Holland	TL 95 E	4 x 2	103	76
New Holland	TL 95 E	4 x 2 TDA	103	76
New Holland	7630	4 x 2 TDA	106	78
New Holland	TS 6020	4 x 2 TDA	111	82
New Holland	8030	4 x 2 TDA	122	90
New Holland	TS 6040	4 x 2 TDA	132	97
New Holland	TM 7010	4 x 2 TDA	141	104
New Holland	TM 7010 Exitus	4 x 2 TDA	141	104
New Holland	TM 7010 Pataformado	4 x 2 TDA	141	104
New Holland	TM 7020	4 x 2 TDA	149	110
New Holland	TM 7020 Exitus	4 x 2 TDA	149	110
New Holland	TM 7020 Pataformado	4 x 2 TDA	149	110
New Holland	TM 7030	4 x 2 TDA	168	124
New Holland	TM 7030 Exitus	4 x 2 TDA	168	124
New Holland	TM 7030 Pataformado	4 x 2 TDA	168	124
New Holland	TM 7040	4 x 2 TDA	180	132
New Holland	TM 7040 Exitus	4 x 2 TDA	180	132
New Holland	TM 7040 Pataformado	4 x 2 TDA	180	132
New Holland	T 7040	4 X 2 TDA	200	147
New Holland	T 7060	4 x 2 TDA	223	164

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE H - Modelos dos tratores analisados da marca Tramontini

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
Tramontini	T 3230-4	4 X 2 TDA	32	24
Tramontini	T3230-4 Série Brasil	4 X 2 TDA	32	24
Tramontini	T 5045-4	4 X 2 TDA	50	37
Tramontini	T 5045-4 Série Brasil	4 X 2 TDA	50	37

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv

APÊNDICE I - Modelos dos tratores analisados da marca Valtra

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
Valtra	A 550	4 x 2	47	35
Valtra	A 550	4 x 2 TDA	47	35
Valtra	BF 65	4 x 2	60	44
Valtra	BF 65	4 x 2 TDA	60	44
Valtra	A 650	4 x 2	60	44
Valtra	A 650	4 x 2 TDA	60	44
Valtra	BF 75	4 x 2	72	53
Valtra	BF 75	4 x 2 TDA	72	53
Valtra	A 750	4 x 2	75	55
Valtra	A 750	4 x 2 TDA	75	55
Valtra	A 850	4 x 2	80	59
Valtra	A 850	4 x 2 TDA	80	59
Valtra	A 950	4 x 2	90	66
Valtra	A 950	4 x 2 TDA	90	66
Valtra	BM 100	4 x 2	100	74
Valtra	BM 100	4 x 2 TDA	100	74
Valtra	BM 110	4 x 2 TDA	110	81
Valtra	BM 120	4 x 2 TDA	120	88
Valtra	BM 125i	4 x 2 TDA	125	92
Valtra	BH 145	4 x 2 TDA	145	107
Valtra	BT 150	4 x 2 TDA	150	110
Valtra	BH 165	4 x 2 TDA	165	121
Valtra	BT 170	4 x 2 TDA	170	125
Valtra	BH 180	4 x 2 TDA	180	132
Valtra	BH 185i	4 x 2 TDA	190	140
Valtra	BT 190	4 x 2 TDA	190	140
Valtra	BH 205 i	4 x 2 TDA	195	143
Valtra	BT 210	4 x 2 TDA	215	158

- até 49 cv
- 50 a 99 cv
- 100 a 199 cv
- Acima de 200 cv

APÊNDICE J - Modelos dos tratores analisados da marca Yanmar

Marca	Modelo	Tipo de rodado	Pot. nom. motor (cv)	Pot. nom. motor (kW)
Yanmar	1030 D Cafeeiro	4 x 2	26,5	19
Yanmar	1030 D Cafeeiro	4 x 2 TDA	26,5	19
Yanmar	1030 D Parreira	4 x 2	26,5	19
Yanmar	1030 D Parreira	4 x 2 TDA	26,5	19
Yanmar	1030 D Standart	4 x 2	26,5	19
Yanmar	1030 D Standart	4 x 2 TDA	26,5	19
Yanmar	1145-4 Standart	4 x 2 TDA	39	29
Yanmar	1145-4 Cafeeiro	4 x 2 TDA	39	29
Yanmar	1145-4 Parreira	4 x 2 TDA	39	29
Yanmar	1145-4 Cultivo	4 x 2 TDA	39	29
Yanmar	1050 D Turbo	4 x 2 TDA	50	37
Yanmar	1155-4 Standart	4 x 2 TDA	55	40
Yanmar	1155-4 Estreito	4 x 2 TDA	55	40
Yanmar	1155-4 Parreira	4 x 2 TDA	55	40
Yanmar	1155-4 Arrozheiro	4 x 2 TDA	55	40
Yanmar	1155-4 Cultivo	4 x 2 TDA	55	40
Yanmar	1175 - Estreito	4 x 2 TDA	75	55
Yanmar	1175 - Fruteiro	4 x 2 TDA	75	55

	até 49 cv
	50 a 99 cv
	100 a 199 cv
	Acima de 200 cv