

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE DE VARIÁVEIS CANÔNICAS NO DESEMPENHO DE UM
TRATOR AGRÍCOLA COM DIFERENTES TIPOS DE PNEUS E SOBRE
PISTAS DE ENSAIO DISTINTAS**

THAÍS DE OLIVEIRA CORRÊA

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação do Prof. Me. Beethoven Gabriel Xavier Alves.

URUTAÍ-GO

Março de 2019

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE DE VARIÁVEIS CANÔNICAS NO DESEMPENHO DE UM
TRATOR AGRÍCOLA COM DIFERENTES TIPOS DE PNEUS E SOBRE
PISTAS DE ENSAIO DISTINTAS**

THAÍS DE OLIVEIRA CORRÊA

Orientador: Prof. Me. Beethoven Gabriel Xavier Alves

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação do Prof. Me. Beethoven Gabriel Xavier Alves.

URUTAÍ-GO

Março de 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

CC824a Corrêa, Thais de Oliveira
Análise de variáveis canônicas no desempenho de um
trator agrícola com diferentes tipos de pneus e sobre
pistas de ensaio distintas / Thais de Oliveira
Corrêa; orientador Beethoven Gabriel Xavier Alves. --
Urutaí, 2019.
23 p.

Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) --
Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2019.

1. Análise Multivariada. 2. Arduino. 3. Carro
Dinamométrico. I. Xavier Alves, Beethoven Gabriel ,
orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: **THAÍS DE OLIVEIRA CORRÊA**

Matrícula: **2016101200640264**

Título do Trabalho: **ANÁLISE DE VARIÁVEIS CANÔNICAS NO DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA COM DIFERENTES TIPOS DE PNEUS E SOBRE PISTAS DE ENSAIO DISTINTAS**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: **Será submetido em periódico que não permite publicação anterior do mesmo texto**

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: **15/03/2021**

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutá, 16/04/2019.

Thaís de Oliveira Corrêa

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Beethoven Gabriel Xavier Alves

Assinatura do(a) orientador(a)

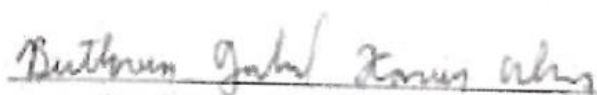
INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

ALUNA: Thais de Oliveira Corrêa

ORIENTADOR: Prof. Msc. Beethoven Gabriel Xavier Alves

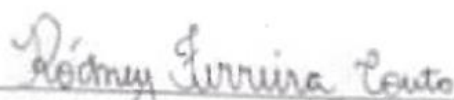
Aprovado pela Comissão Examinadora



Prof. Msc. Beethoven Gabriel Xavier Alves



Prof. Dsc. Anderson Rodrigo da Silva



Prof. Msc. Rodney Ferreira Couto

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	6
2. MATERIAL E MÉTODOS	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
ANEXO	xxiv

RESUMO

O desempenho do trator quando submetido à tração pela barra é influenciado por parâmetros de pneu, condição do solo, tipo de implemento e configuração do trator. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais em uma pista de concreto asfáltico e em uma pista de solo firme sem cobertura, com diferentes solicitações de força na barra de tração. Foram realizados dois experimentos, ambos em delineamento inteiramente casualizado, um experimento com o pneu radial e outro com pneu diagonal, os dois em esquema fatorial 2x6, compostos por doze ensaios com três repetições por ensaio, totalizando trinta e seis testes para cada tipo de pneu. Tanto para o pneu radial como para o diagonal, o primeiro nível do esquema fatorial foi constituído por duas diferentes superfícies das pistas de ensaio (concreto asfáltico e solo firme sem cobertura) e o segundo nível dos fatores foram as solicitações de carga na barra, composto por seis forças de tração (1,5; 4; 10; 15; 20 e 24 kN). Para mensurar a força foi utilizada uma célula de carga; para o consumo de combustível, um fluxômetro e para a patinagem, sensores magnéticos. As demais variáveis foram calculadas a partir dos dados coletados. O trator equipado com pneus radiais, em ambos tipos de pistas, teve um desempenho melhor do que quando equipado com pneus diagonais. A análise de variáveis canônicas se adequou bem aos parâmetros de desempenho do trator agrícola ensaiado, explicando 93% das variações entre os parâmetros observados.

Palavras-chave: Análise multivariada, Arduíno, Carro Dinamométrico.

ABSTRACT

The performance of the tractor when subjected to traction by drawbar is influenced by tire parameters, soil condition, type of implement and tractor configuration. The objective of this study was to evaluate the performance of an agricultural tractor equipped with radial and diagonal tires on an asphalt concrete track and on a solid ground track without cover, with different forces on the drawbar. Two experiments were installed, both in a completely randomized design, one experiment for radial tire and one for diagonal tire, the two in factorial scheme 2x6, composed of twelve treatments each, three repetitions per treatment, totaling thirty-six trials for each type of tire. For both the radial and diagonal tires, the first level of the factorial scheme consisted of two different surfaces of the test tracks (asphalt concrete and unprotected ground) and the second level of the factors were the load demands on the bar, composed of six tensile forces (1,5, 4, 10, 15, 20 and 24 kN). To measure the force a load cell was used; for fuel consumption, a flowmeter and for skating, magnetic sensors. The other variables were calculated from the data collected. The tractor equipped with radial tires, in both types of tracks, performed better than when equipped with diagonal tires. The analysis of canonical variables was well suited to the performance parameters of the tested agricultural tractor, explaining 93% of the variations between the observed parameters.

Keywords: Multivariate analysis, Arduino, Dynamometric Car.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia contida no combustível e fornecê-la para tracionar máquinas e implementos agrícolas. O desempenho na barra de tração de um trator depende, principalmente, da potência do motor, dos mecanismos de transmissão, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo (GABRIEL FILHO et al., 2010)

O pneu agrícola é um fator importante no desempenho operacional do trator, pois serve para garantir o equilíbrio e sustentação da máquina, proporcionar o deslocamento, guiar pela direção desejada e amortecer os eventuais impactos (MONTANHA et al., 2012). Segundo Jesuíno et al. (2011) e Montanha et al. (2011), o tipo de construção dos pneus, dentre outros, correlaciona-se também com a capacidade de tração, a eficiência energética e o consumo de combustível do trator.

A eficiência de um trator em realizar tração em condições reais de operação é consequência da interação do rodado com a superfície de rolamento, ou seja, depende da interação entre as características dos pneus, como o tipo de construção, e as características físico-mecânicas do solo (JANULEVIČIUS et al., 2014).

A capacidade trativa de um trator depende de um complexo conjunto de fatores que envolvem a interação do rodado com o solo. Numerosos modelos têm sido propostos para quantificar ou prever esses mecanismos de interação rodado-solo, dentre eles Wismer e Luth (1974) foi um dos pioneiros em desenvolver uma equação largamente utilizada para prever a eficiência de tração em condições de solo para pneus de constituição diagonal. Atualmente, a equação proposta por Brixius (1987), que é uma alteração na Equação de Wismer e Luth (1974), é a mais utilizada, sendo adotada pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1999).

Tendo em vista a aplicabilidade do ensaio de tratores em situações de campo, fundamentou-se este estudo na modelagem do desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais em uma pista de concreto asfáltico e em uma pista de solo firme sem cobertura, com diferentes solicitações de força na barra de tração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido nas coordenadas geográficas de 16° 22' 43,8" Latitude Sul, 48° 56' 50,7" Longitude Oeste e altitude média de 1110 m. Foram utilizadas duas pistas para o ensaio, sendo a primeira uma pista de concreto asfáltico nas dimensões de 140 m de comprimento por 5 m de largura, aproveitando efetivamente os 100 m medianos da pista, com o remanescente utilizado para aceleração e desaceleração. E a segunda, uma pista em solo firme sem cobertura nas dimensões de 120 m de comprimento por 12 m de largura, utilizando efetivamente da mesma maneira os 100 m medianos da pista. As pistas de ensaio não possuíam inclinação no sentido da largura, apresentando inclinação de 1% no sentido do comprimento, em conformidade à norma da OECD – Code 8 (OECD, 2018).

Foram instalados dois experimentos, ambos em delineamento inteiramente casualizado, um experimento com pneu radial e outro com pneu diagonal, os dois em esquema fatorial 2x6, compostos por doze ensaios cada, três repetições por ensaio, totalizando trinta e seis testes para cada tipo de pneu. Tanto para o experimento utilizando pneu radial como para o experimento com pneu diagonal, o primeiro nível do esquema fatorial foi constituído por duas diferentes superfícies das pistas de ensaio (concreto asfáltico e solo firme sem cobertura) e o segundo nível dos fatores foram as solicitações de carga na barra, composto por seis forças de tração (1,5; 4; 10; 15; 20 e 24 kN). Na Tabela 1 são apresentas as médias observadas da força de tração do trator ensaiado.

TABELA 1 – Valores das forças esperadas (kN) e observadas na barra de tração do trator impostas pelo carro dinamométrico

Solicitação de tração esperada	Força de tração média observada em pneu diagonal	Força de tração média observada em pneu radial
1,5	1,401	1,536
4	3,431	4,475
10	10,370	10,474
15	15,218	15,545
20	20,727	19,882
24	23,845	23,305

Avaliou-se um trator agrícola, com tração dianteira auxiliar desligada, motor ciclo diesel, sob regime de rotação de 2200 RPM, turboalimentado com intercooler, sistema de injeção com bomba rotativa, quatro cilindros, cilindrada total de 4485 cm³, potência nominal de 82,4 kW (112 cv). Nas rodas motrizes do trator foram utilizados pneus radiais 18.4 R34 e pneus diagonais 18.4 34, ambos pneus novos. A distância entre eixos do trator é de 2,668 m. O peso estático do eixo traseiro do trator quando equipado com pneus radiais foi de 34,790 kN,

e 36,162 kN quando com pneus diagonais. A altura da barra de tração do trator foi de 0,465 m. O óleo diesel utilizado foi obtido na rede de abastecimento local, classificado como diesel automotivo interior ou tipo B, indicado para o uso em motores ciclo diesel, seguindo a classificação da agência nacional de petróleo, com massa específica de $842,5 \text{ g l}^{-1}$.

Para a aplicação da força na barra de tração do trator ensaiado foi utilizado um carro dinamométrico, capaz de impor à barra de tração forças constantes durante o ensaio e instrumentado para fazer o monitoramento e a aquisição das variáveis de forma automática, conforme Alves e Reis (2018).

Para aferição da força média na barra de tração foi utilizada uma célula de carga do tipo tração/compressão marca Excel, modelo RS-5000, construída em aço de baixa liga, com tratamento térmico e propriedades mecânicas controladas, apresentando formato em “S”, com temperaturas de utilização entre -5°C e 60°C e alimentação entre 6 e 10Vcc, com capacidade nominal de 50kN, e com possibilidade de sobrecarga admissível para atuações esporádicas e eventuais de até 150% da carga nominal. O sinal da célula de carga foi amplificado utilizando um amplificador do tipo INA 125P, seguindo a metodologia para amplificação de sinal proposta por Martins Junior et al. (2013). O sinal amplificado foi convertido para valores de força observada em Newtons (kN), conforme curva de calibração apresentada na Figura 1.

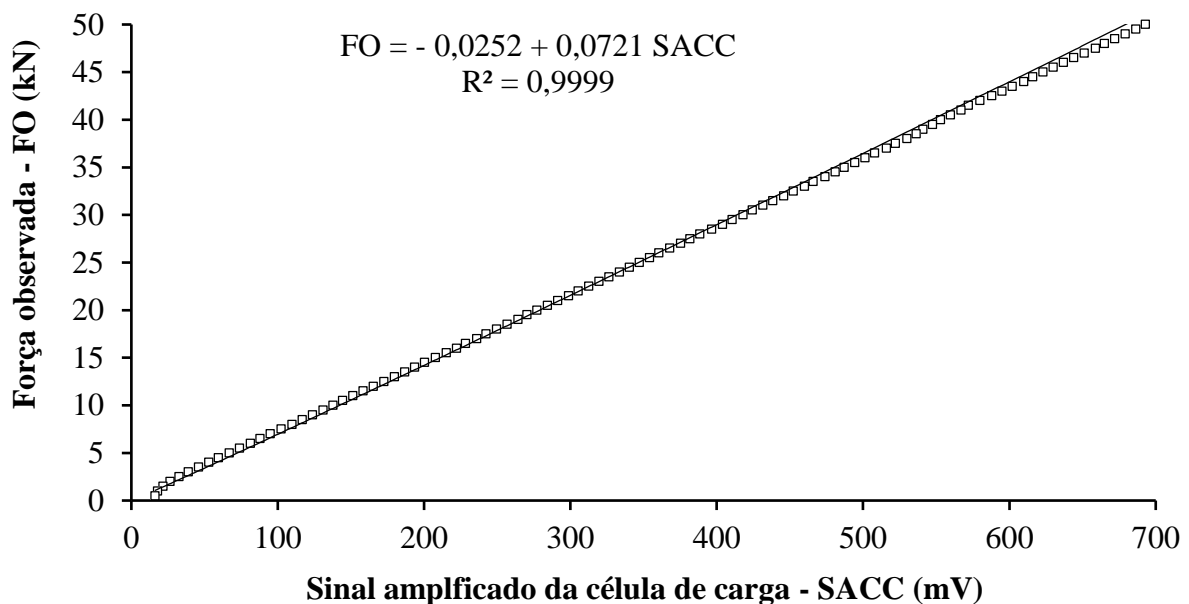


FIGURA 1- Curva de calibração da célula de carga Excel RS-5000 em laboratório

Após a conversão, os dados foram tratados por média e processados por meio de um micro controlador do tipo Arduino®, que por sua vez transmitiu os dados para serem armazenados num computador com processador Intel® Core™ i7-4510U 2GHz, 8GB de RAM e HD 500 GB e Sistema Operacional Windows 10 64bits, localizado dentro da cabine do trator.

O cálculo da força média na barra de tração foi efetuado pela média das forças aplicadas na barra de tração do trator durante o percurso do ensaio, conforme Alves e Reis (2018).

Para a modelagem do desempenho do trator agrícola foram determinados, por meio de equações, o consumo horário de combustível, o consumo específico de combustível, a velocidade de deslocamento do conjunto trator e carro dinamométrico, a potência na barra, o coeficiente de tração e a patinação nas rodas motrizes.

O cálculo do consumo horário de combustível foi realizado de acordo com a Equação 1, adaptada de Reis et al. (2013), em que os pulsos elétricos gerados por um fluxômetro foram convertidos em volume, considerando a vazão de 1 ml pulso⁻¹ e o tempo gasto em cada pista de ensaios.

$$\text{ConH} = \frac{N_p \times 3,6}{t} \quad (1)$$

Em que:

ConH - consumo horário de combustível, (l h⁻¹);

N_p - número de pulsos do medidor de combustível, (ml); e

t - tempo gasto no percurso da parcela, (s).

Para a determinação do consumo específico foi utilizada a Equação 2, adaptada de Ortiz-Cañavate (2012), onde o consumo horário é transformado em consumo específico em função da potência disponível na barra de tração.

$$\text{ConE} = \frac{\text{Con H} \times P}{P_b} \quad (2)$$

Em que:

ConE - consumo específico de combustível, [g (kW h)⁻¹];

ConH - consumo horário de combustível, (l h⁻¹);

P - massa específica do combustível utilizado, (g l⁻¹); e

P_b - potência na barra, (kW).

Segundo Halliday et al. (2009) a velocidade de deslocamento pode ser determinada por meio da relação entre distância (D) percorrida pelo trator e o tempo gasto para tal (t), conforme Equação 3.

$$\text{Vel} = \frac{D}{t} \quad (3)$$

Em que:

Vel - velocidade média de deslocamento do trator, (km h⁻¹);

D - distância percorrida pelo trator no ensaio, (km); e

t - tempo gasto para percorrer a distância “D”, (h).

A potência na barra de tração pode ser determinada de acordo com Gomes et al. (2016), em função da força média na barra de tração e da velocidade de deslocamento do trator. Desse modo, a potência na barra de tração pode ser calculada, de acordo com a Equação 4:

$$P_b = \frac{F_m \times vel}{3,6} \quad (4)$$

Em que:

P_b - potência na barra de tração, (kW);

F_m - força média na barra de tração, (kN); e

Vel - velocidade de deslocamento, (km h⁻¹).

O coeficiente de tração é uma relação entre forças, que pode ser observada na Equação 5, adaptada de Kumar et al. (2013).

$$CT = \frac{F_m}{W_d} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

CT - coeficiente de tração, (%);

F_m - força média na barra de tração, (kN); e

W_d - carga dinâmica sobre eixos de tração, (kN).

A carga dinâmica, segundo Barger et al. (1963), é calculada de acordo com a Equação 6, sendo definida como o somatório da transferência de peso (TP) com a força de reação do solo ao eixo traseiro (W).

$$W_d = W + TP \quad (6)$$

Em que:

W_d - carga dinâmica sobre eixos de tração, (kN);

W - força de reação do solo ao eixo traseiro, (kN);

TP - transferência de peso devido a tração, (kN).

A patinação das rodas motrizes do trator foi determinada comparando-se o número de voltas das rodas motrizes do trator sem carga com o número de voltas das rodas motrizes do trator com carga (GOMES et al., 2016), durante o percurso de 100 m da pista de ensaio, conforme Equação 7.

$$Pat = \frac{NV_{cc} - NV_{sc}}{NV_{cc}} \times 100 \quad (7)$$

Em que:

Pat - patinagem das rodas motrizes, (%);

NVsc - número de voltas sem carga;

NVcc - número de voltas com carga.

As variáveis consumo horário de combustível, consumo específico de combustível, velocidade de deslocamento do conjunto trator e carro dinamométrico, potência na barra de tração, coeficiente de tração e patinagem nas rodas motrizes, para o pneu radial e para o diagonal, foram submetidas a análise de variáveis discriminantes canônicas utilizando o *software* R versão 3.5.1 (R Core Team, 2018). Posteriormente, foram submetidas à análise de variância MANOVA e a regressões.

A Tabela 2 descreve as vinte e quatro combinações adotadas para os dois experimentos com pneu radial e diagonal, relacionando pista de concreto asfáltico e pista de solo firme sem cobertura com as respectivas forças e pneus utilizados.

TABELA 2 – Descrição dos tratamentos numéricos

Tratamento PCA	Tratamento PSFSC	Descrição
1	13	Força de 1,5 kN : Pneu radial
2	14	Força de 1,5 kN : Pneu diagonal
3	15	Força de 4 kN : Pneu radial
4	16	Força de 4 kN : Pneu diagonal
5	17	Força de 10 kN : Pneu radial
6	18	Força de 10 kN : Pneu diagonal
7	19	Força de 15 kN : Pneu radial
8	20	Força de 15 kN : Pneu diagonal
9	21	Força de 20 kN : Pneu radial
10	22	Força de 20 kN : Pneu diagonal
11	23	Força de 24 kN : Pneu radial
12	24	Força de 24 kN : Pneu diagonal

PCA: Pista de Concreto Asfáltico; PSFSC: Pista de Solo Firme Sem Cobertura. A descrição separada por dois pontos indica separação de fatores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A representação gráfica da análise de variáveis canônicas está apresentada na Figura 2. Verificou-se que 76,2% da variação obtida entre os tratamentos foi explicada pelo eixo Can1, 16,8% pelo eixo Can2, conseqüentemente a soma dos eixos Can1 e Can2 justificaram 93% da variação.

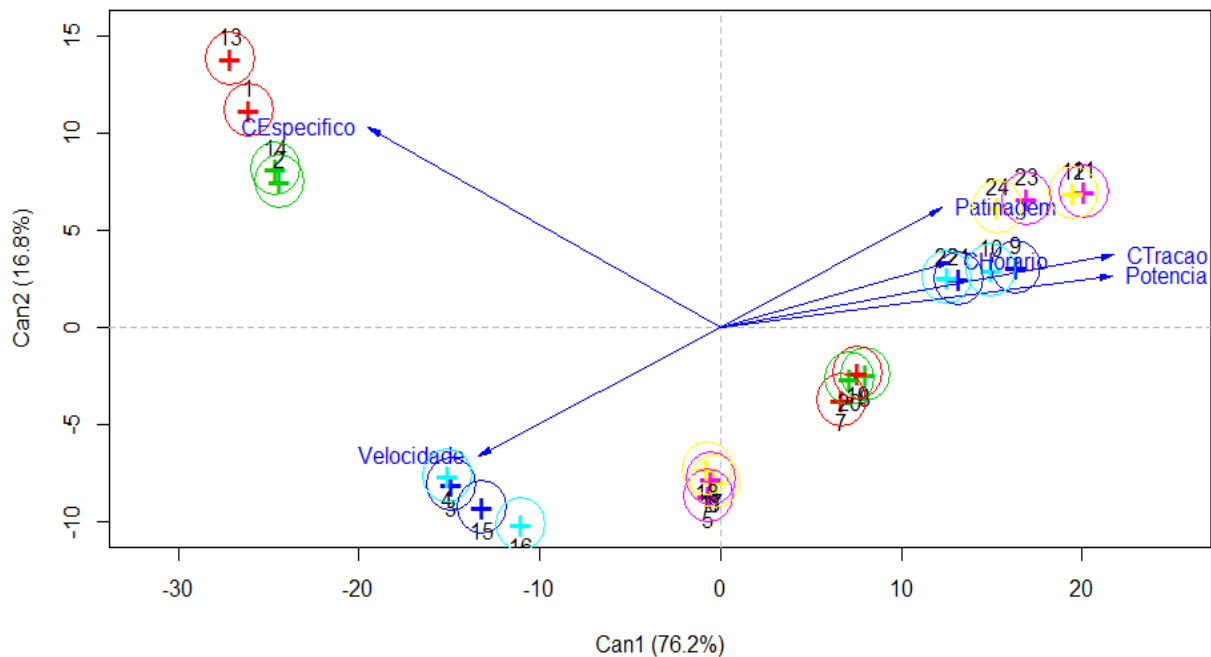


Figura 2 – Biplot contendo a relação das variáveis em resposta aos tratamentos (tipos de pistas, pneus e forças), representadas pelas variáveis canônicas Can1 e Can2. (CEspecifico: Consumo Específico de combustível; Velocidade: Velocidade de deslocamento do trator; Patinagem: Patinagem das rodas motrizes; CHorario: Consumo Horário de combustível; CTracao: Coeficiente de Tração; Potencia: Potência na barra de tração do trator)

A Figura 2 mostra os vetores das seis variáveis resposta. Por meio da dispersão das respostas nos eixos representativos Can1 e Can2, é possível avaliar a similaridade ou dissimilaridade dos tratamentos apresentados na Tabela 2. Quanto mais longo o vetor maior é a importância do atributo na diferenciação das variáveis e também ao analisar a proximidade entre as elipses na Figura 2, é possível comparar os tratamentos numéricos que aparecem no interior das elipses.

Segundo Lacour et al. (2014) a eficiência do trator é expressa em termos de consumo específico e eficiência de campo e é altamente correlacionada com as características de desempenho dinâmico do trator dadas por meio da velocidade de deslocamento.

Observa-se na Figura 2 que a força de 4 kN foi a que gerou maior velocidade nas duas pistas e nos dois tipos de pneus, sendo evidenciado pelos tratamentos 3, 4, 15 e 16. A velocidade

se associou inversamente à patinagem, enquanto que a força de 24 kN foi a que gerou maior patinagem e também a menor velocidade, podendo ser visto pelos tratamentos 11, 12, 23, e 24.

Souza et al. (2014), ao avaliarem a patinagem dos rodados em função da força aplicada na barra de tração do trator, observaram que ao diminuir a força requerida na barra de tração do trator a patinagem dos rodados também diminuiu, evidenciando que a patinagem dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado equipamento, corroborando com os dados aqui apresentados e também com os dados de Furlani et al. (2007), onde observaram-se a diminuição da patinagem com o aumento da velocidade.

Analisando o consumo específico, para os dois tipos de pista e os dois tipos de pneus, a força de 1,5 kN aplicada na barra de tração foi a que gerou maior consumo específico de combustível, podendo ser vista nos tratamentos 1, 2, 13 e 14 (Figura 2). Este resultado pode ser explicado por Hellmeister (2012), onde verificou que com o aumento da carga na barra de tração, o consumo específico é minimizado por haver um melhor aproveitamento do combustível em cargas mais altas, onde se tem maior geração de potência.

Salvador et al. (2009), relacionando o consumo específico para cada implemento em diferentes condições de preparo, observaram que as operações de campo com arado, grade aradora e com o escarificador, proporcionaram melhor conversão energética quando utilizados antes da subsolagem, pois, baixos valores de consumo específico de combustível significam otimização simultânea do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação implemento fonte de potência. Assim, a existência de dissimilaridade entre o consumo específico de combustível e de potência, demonstradas na Figura 2, reforça essas afirmações.

Pode ser visto também na Figura 2 uma certa similaridade entre a potência na barra de tração e o coeficiente de tração por estarem próximos, e tal semelhança também pode ser explicada pela forma como essas duas variáveis estão relacionadas, pois ambas são determinadas em função da força na barra de tração, como pode ser visto na Equação 4 e na Equação 5. As variáveis potência e coeficiente de tração, relacionaram-se positivamente.

Considerando a potência na barra de tração e o coeficiente de tração, as forças de 20 kN e 24 kN foram as que melhores se ajustaram para os dois tipos de pistas e pneus, como pode ser visto pelos tratamentos 9, 10, 11, 12, 21, 22, 23 e 24 (Figura 2).

As variáveis consumo específico de combustível, patinagem, consumo horário de combustível, coeficiente de tração e potência na barra de tração, também foram notavelmente contrárias à variável velocidade, assim a velocidade interfere nelas. Isto pode ser explicado pelo

fato que a velocidade de deslocamento altera o desempenho do trator, conseqüentemente a velocidade afeta diretamente o consumo de combustível (GABRIEL FILHO et al., 2010).

Fato observado também por Lopes et al. (2003), que avaliaram o consumo de combustível de um trator em função da velocidade de trabalho e observaram que o aumento da velocidade de deslocamento reduz o consumo específico de combustível.

De acordo com Feitosa et al. (2015), a velocidade de deslocamento dos tratores para determinadas operações altera aspectos operacionais do trator relacionados ao seu desempenho, tais como a patinação dos pneus. A velocidade relaciona-se à potência devido a relação apresentada pela Equação 4, onde a potência na barra de tração pode ser determinada em função da força média na barra de tração e da velocidade de deslocamento do trator.

Dessa forma, observa-se que houve sobreposição entre as áreas abrangidas pelas elipses de cada variável na Figura 2. Isso significa que não houve uma combinação que melhor caracterizasse os tratamentos, dessa forma todas as variáveis foram consideradas como importantes para uma posterior análise. Assim, foi feita análise de regressão para todos os tratamentos.

Na Figura 3 foi feita a análise de regressão com a variável potência na barra de tração e a variável patinação dos pneus, ambas em função da força na barra de tração e para cada tipo de pista e pneu. Pode-se visualizar que ao aumentar a força na barra de tração as variáveis também aumentam para ambos os pneus e pistas.

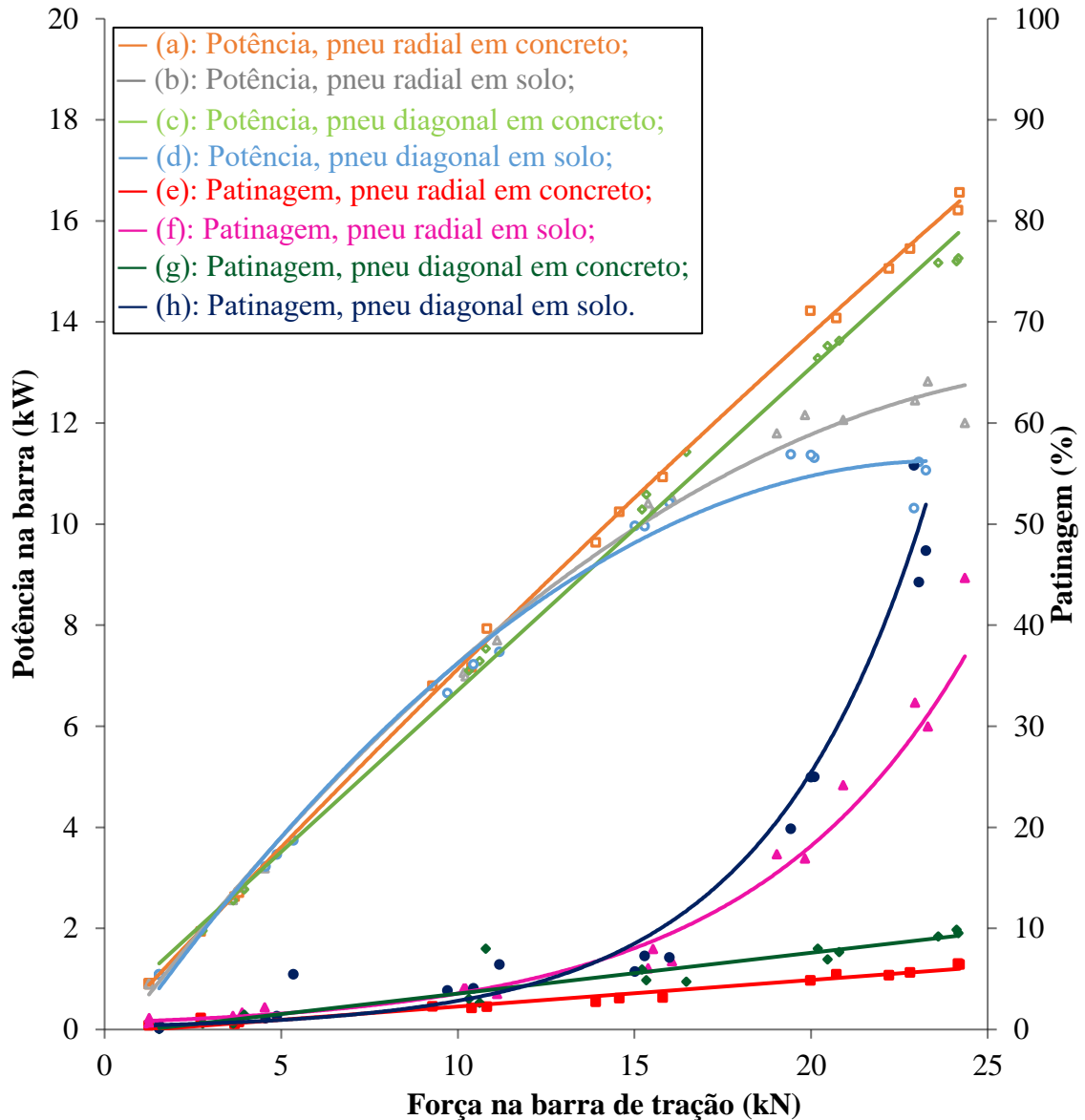


Figura 3 – Análises de regressão envolvendo Potência na barra de tração em função da Força na barra de tração e Patinagem das rodas motrizes em função da Força na barra de tração. Ambas para pneus radiais e pneus diagonais e em pista de solo sem cobertura e pista de concreto asfáltico

Fonte: Autor

Após a aplicação da força de 15 kN na barra de tração do trator ensaiado sobre a pista de solo firme, ocorreu uma amenização na tendência de aumentar a potência disponível na barra de tração do trator com ambos tipos de pneus, assim como ocorreu um incremento mais vigoroso da patinagem das rodas com ambos tipos de pneus, em comparação aos valores dos ensaios do trator sobre pista de concreto asfáltico, corroborando com os resultados apresentados por Furlani et al. (2007), onde mostraram que as condições da superfície do solo podem alterar significativamente o esforço tratório, pois a tração está diretamente relacionada à patinagem do trator.

Segundo Salvador et al. (2009) o parâmetro potência na barra é função da força na barra de tração e da velocidade operacional. O operador deve, portanto, segundo Lyne et al. (1984), selecionar uma velocidade de deslocamento e rotação no motor compatíveis com as características operacionais do implemento e com a qualidade do trabalho a realizar, com o objetivo de economizar potência.

Como observado na Figura 3 as diferentes condições da superfície do solo causaram diferentes condições de patinagem dos rodados do trator, corroborando também com o resultado relatado por Gabriel Filho et al. (2004).

Na Figura 4 é apresentado o ajuste da velocidade de deslocamento em função da força na barra de tração e também o ajuste da patinagem dos rodados em função da força na barra.

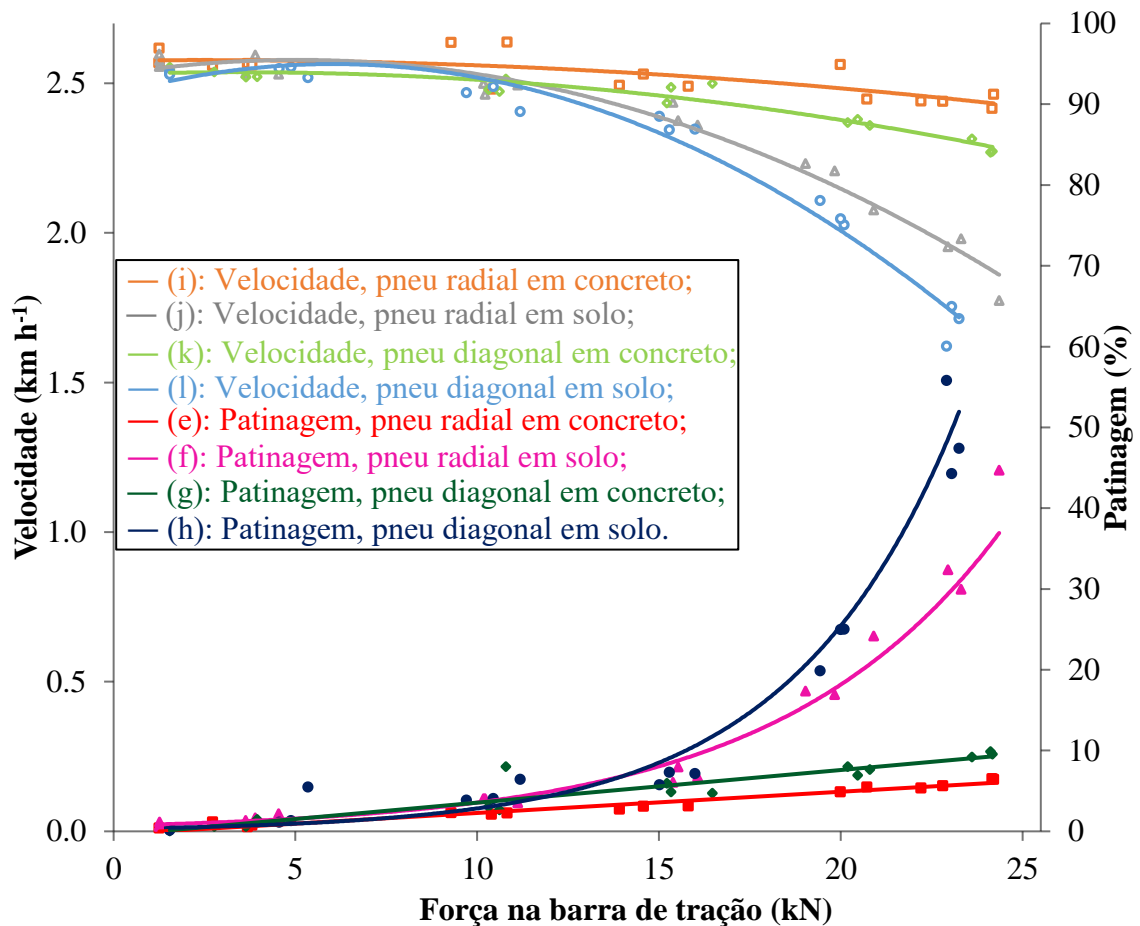


Figura 4 – Análises de regressão envolvendo velocidade de deslocamento em função da força na barra de tração e patinagem das rodas motrizes em função da força na barra de tração (repetida). Ambas para pneus radiais e pneus diagonais e em pista de solo sem cobertura e pista de concreto asfáltico

Fonte: Autor

Analisando a Figura 4 pode-se inferir que o trator equipado com pneus radiais, em ambos tipos de pistas, consegue ter um desempenho melhor, expresso em termos de velocidade de deslocamento, do que quando equipado com pneus diagonais. Além disso, pode ser

observado na Figura 4 que após a aplicação da força de 15 kN na barra de tração do trator ensaiado ocorreu também uma diminuição da velocidade média de deslocamento, justamente por ocorrer o aumento mais vigoroso dos valores de patinagem como visto anteriormente, corroborando com os dados apresentados por Furlani et al. (2007), onde na menor velocidade de deslocamento se observou um aumento na força de tração, resultados semelhantes também aos de Silva (2000).

O consumo horário de combustível não foi ajustado em função da força na barra de tração, pois o consumo horário varia conforme a rotação do motor do trator e, neste trabalho, não houve variação da rotação do motor durante os ensaios.

A Figura 5 apresenta a modelagem dos valores de coeficiente de tração em função da patinagem, abordagem semelhante foi feita por Ortiz-Cañavate (2012), que considera os valores indicados na Figura 5 como obtidos em condições de trabalho boa para solos e pneus.

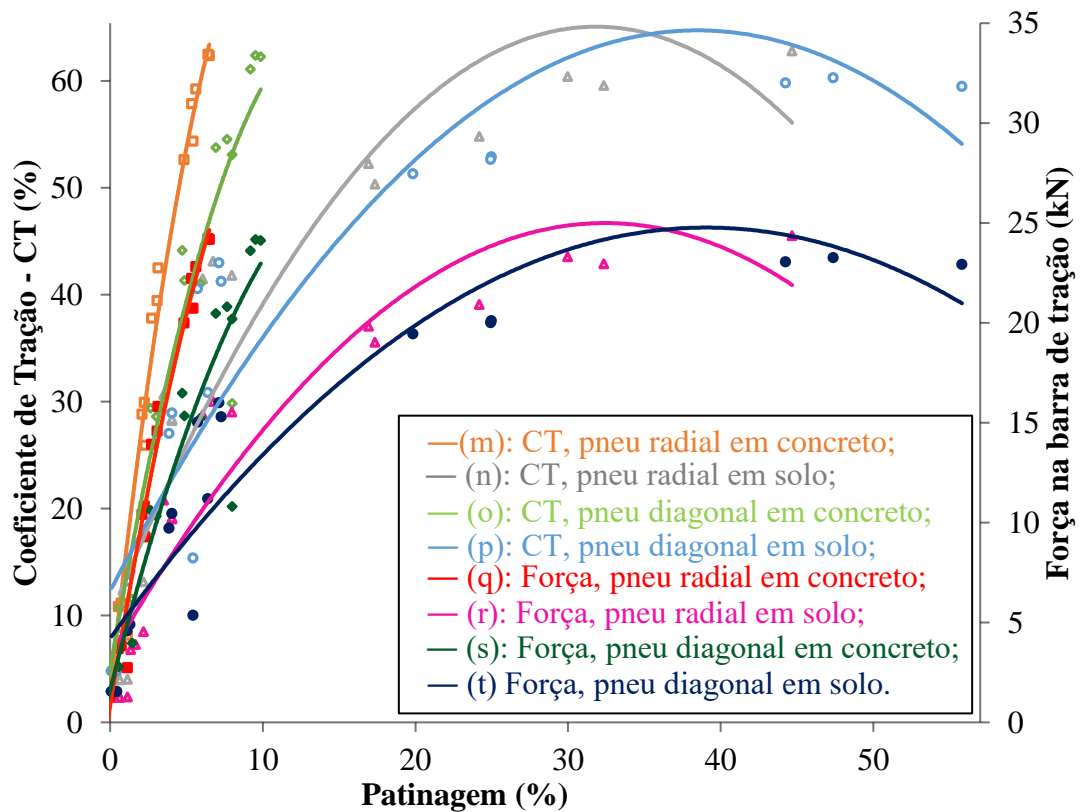


Figura 5 – Análises de regressão envolvendo coeficiente de tração em função da patinagem dos rodados e força na barra de tração em função da patinagem dos rodados. Ambas para pneus radiais e diagonais e em pista de solo sem cobertura e pista de concreto asfáltico

Fonte: Autor

Observa-se que o aumento da patinagem ocasionou aumento no coeficiente de tração, comprovando que para desenvolvimento da tração é necessário haver patinagem. Conforme apresentado por Mahl (2006), a dificuldade de aderência dos rodados do trator ao solo, pode

aumentar a patinação dos mesmos, causando, por consequência, aumento significativo da demanda de força de tração e potência na barra.

A curva de ajuste do consumo específico de combustível em função da força média de tração se comportou de forma não linear, corroborando com Ortiz-Cañavate (2012). Na Figura 6 demonstra-se o gráfico do consumo específico de combustível em função da força na barra de tração.

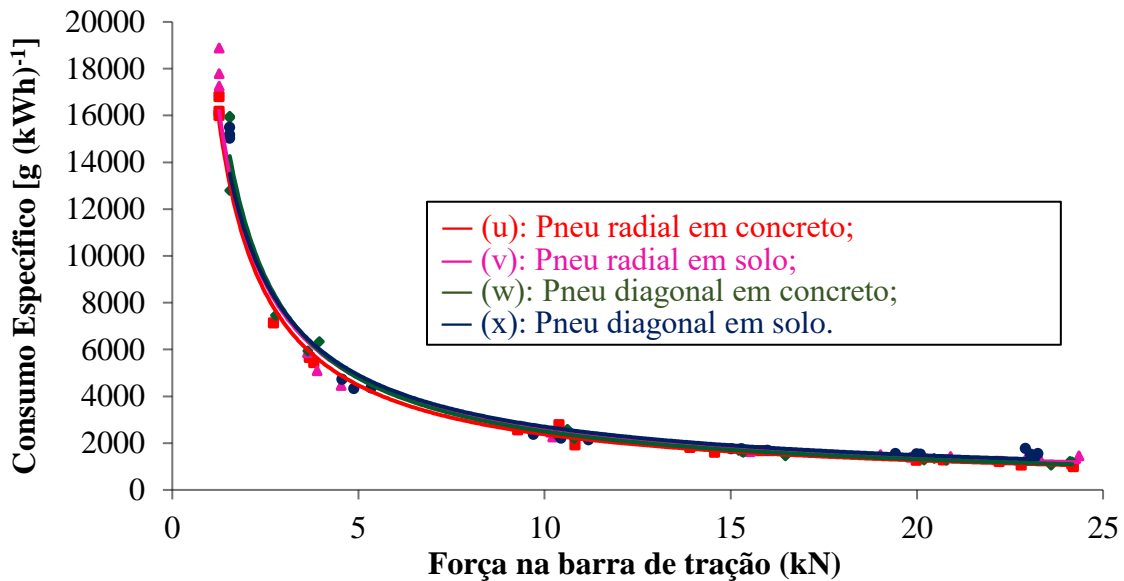


Figura 6 – Análise de regressão envolvendo consumo específico em função da força na barra de tração para pneus radiais e diagonais e em pista de solo sem cobertura e pista de concreto asfáltico

Fonte: Autor

Na Figura 6, com o incremento da força aplicada à barra de tração do trator, o consumo específico decresceu, corroborando com os dados apresentados por Salvador et al. (2009), que avaliaram as operações de campo de um trator com a grade niveladora e com escarificador, antes e depois da subsolagem, onde o trator apresentou o maior consumo específico de combustível no preparo do solo com o escarificador depois da subsolagem, resultando em elevado consumo específico devido à menor exigência de força de tração.

Pode-se analisar, ainda na Figura 6, que o aumento da força na barra, provocou uma diminuição no consumo específico. Isso pode ser explicado conforme Toledo et al. (2009), pois com o aumento da potência na barra de tração o consumo específico reduz significativamente, representando que há melhor aproveitamento energético do combustível consumido quando se eleva a exigência de tração, dentro de certos limites do conjunto.

Na Tabela 3 pode-se analisar os modelos ajustados para cada variável do trator ensaiado e suas respectivas correlações, referentes aos gráficos das Figuras 3, 4, 5 e 6.

Tabela 3 – Equações de regressão ajustadas na modelagem do desempenho do trator ensaiado

	Equações	R ²
(a):	Potência = - 0,0027Força ² + 0,7454Força - 0,0495	0,999
(b):	Potência = - 0,0159Força ² + 0,9293Força - 0,4503	0,996
(c):	Potência = 0,6389Força + 0,3205	0,997
(d):	Potência = - 0,0211Força ² + 1,0049Força - 0,6878	0,990
(e):	Patinagem = 0,2627Força - 0,3536	0,972
(f):	Patinagem = 0,699e ^{0,1629Força}	0,972
(g):	Patinagem = 0,4042Força - 0,4904	0,896
(h):	Patinagem = 0,3174e ^{0,2192Força}	0,886
(i):	Velocidade = - 0,0003Força ² + 0,0015Força + 2,5759	0,613
(j):	Velocidade = - 0,0019Força ² + 0,0194Força + 2,5292	0,972
(k):	Velocidade = - 0,0006Força ² + 0,0039Força + 2,5303	0,942
(l):	Velocidade = - 0,0029Força ² + 0,0344Força + 2,4607	0,973
(m):	Coeficiente de Tração = - 0,573Patinagem ² + 13,024Patinagem + 2,5753	0,977
(n):	Coeficiente de Tração = - 0,0544Patinagem ² + 3,4651Patinagem + 9,5142	0,877
(o):	Coeficiente de Tração = - 0,2857Patinagem ² + 8,3095Patinagem + 4,6281	0,909
(p):	Coeficiente de Tração = - 0,0354Patinagem ² + 2,7247Patinagem + 11,908	0,860
(q):	Força = - 0,1689Patinagem ² + 4,7619Patinagem + 0,836	0,978
(r):	Força = - 0,0206Patinagem ² + 1,3377Patinagem + 3,3104	0,891
(s):	Força = - 0,2857Patinagem ² + 8,3095Patinagem + 4,6281	0,905
(t):	Força = - 0,0135Patinagem ² + 1,0533Patinagem + 4,2099	0,873
(u):	Consumo Específico = 21393Força - 0,932	0,994
(v):	Consumo Específico = 19640Força - 0,861	0,988
(w):	Consumo Específico = 21393Força - 0,932	0,994
(x):	Consumo Específico = 19640Força - 0,861	0,975

Fonte: Autor

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise multivariada se adequou bem aos parâmetros de desempenho do trator agrícola ensaiado, explicando 93% das variações entre os parâmetros observados.

A potência na barra de tração e a patinagem das rodas motrizes apresentaram uma tendência similar com o incremento da força na barra de tração, nos respectivos tipos de pneus e pistas.

Após a aplicação da força de 15 kN na barra de tração do trator ensaiado sobre a pista de solo firme, ocorreu um incremento mais vigoroso da patinagem das rodas com ambos tipos de pneus, em comparação aos valores de patinagem dos ensaios do trator sobre pista de concreto asfáltico.

O coeficiente de tração também foi ajustado em função da patinagem e o aumento da patinagem ocasionou aumento no coeficiente de tração.

A modelagem do consumo específico de combustível apresentou um bom ajuste em função da força na barra de tração e não se alterou ao variar os tipos de pneus ou os tipos de pista.

O trator equipado com pneus radiais, em ambos tipos de pistas, apresentou um desempenho melhor do que quando equipado com pneus diagonais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, B. G. X.; REIS, E. F. Conjunto para avaliação dinâmica do desempenho de tratores agrícolas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 110-123, 2018.
- ASAE – American Society of Agricultural Engineers. Agricultural Machinery Management Data. D 497.4. **In: ASAE Standards: Standards engineering practices data**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1999. p.359-366.
- BARGER, E. L.; LILJEDAHL, J. B.; CARLETON, W. M.; McKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores**. São Paulo: Edgard Blücher, 1963. cap. 13 e 14. 398 p.
- BRIXIUS, W. W. **Traction prediction equation for bias ply tires**. St. Joseph: ASAE Paper, 1987. p.83-1067.
- FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.117-127, 2015.
- FURLANI, C. E. A.; ÁLVARO JUNIOR, P.; SILVA, A. L. R.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W. desempenho operacional de semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.456-462, 2007.
- GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUÍNO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 333–339, 2010.
- GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. C. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.781-789, 2004.
- GOMES, F. S.; REIS, E. F.; COUTO, R. F.; HOLTZ, V. Desempenho de um trator agrícola sob diferentes cargas e vazões de ar admitidas pelo motor. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 111-119, 2016.
- HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física**. Vol. 2. 8 ed. Editora LTC, 2009.
- HELLMEISTER, M.; LANÇAS, K. P.; FIORESE, D. A.; MARASCA, I. Consumo específico de um trator agrícola, em função da carga e velocidade de deslocamento. In: XXIV Congresso de Iniciação Científica da UNESP. Botucatu. **Anais...** Botucatu.
- JANULEVIČIUS, A.; PUPINIS, G.; KURKAUSKAS, V. How driving wheels of frontloaded tractor interact with the terrain depending on tire pressures. **Journal of Terramechanics**, Philadelphia: ELSEVIER, v. 53, p. 83-92, 2014.

JESUÍNO, P. R.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A., MASIERO, F. C. Influência do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo nas operações de campo de um trator agrícola. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 26, n. 3, p.141-159, 2011.

KUMAR, S. P.; PANDEY, K. P.; KUMAR, R.; SINGH, M. Development of hydraulic normal loading device for single wheel test rig. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l], v. 8, n. 48, p. 6259-6264, 2013.

LACOUR, S.; BURGUN, C.; PERILHON, C.; DESCOMBES, G.; DOYEN, V. A model to assess tractor operational efficiency from bench test data. **Journal of Terramechanics**, Great Britain, v. 54, p. 1-18, 2014.

LYNE, P. W. L.; BURT, E. C.; MEIRING, P. Effect of tire and engine parameters on efficiency. **Transactions ASAE**, Saint Joseph, v. 27, n. 1, p. 5-11, 1984.

LOPES, A.; LANÇAS K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; 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**, v.7, n.2, p.382-386, 2003.

MAHL, D. **Desempenho de semeadora em função de mecanismo de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho**. 2006. 143 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

MARTINS JUNIOR, S. L.; VIEIRA, J. S.; VANDRESEN, M.; SCHWARZ, L.; SILVEIRA, J. L. STEPE- Sistema Telemétrico de Pesagem Automotiva. **Revista Ilha Digital**, Florianópolis, v. 4, p. 49-60, 2013.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; ANDREDE-SANCHEZ, P.; CAMPOS, F. H.; LANÇAS, K. P. Consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo para a cultura do algodão irrigado em função da pressão de inflação nos pneus. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 26, n. 1, p. 39-51, 2011.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; ANDREDE-SANCHEZ, P.; HEUN, J.; LANÇAS, K. P. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando o equipamento canteirador. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 27, n. 2, p. 44-59, 2012.

OECD - The Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD standard code for the official testing of protective structures on agricultural and forestry tracklaying tractors. **OECD - CODE 8**. Paris, 2018. 50 p.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Tractores: técnica y seguridad**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2012. 222 p.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REIS, E. F.; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 15, p. 565-571, 2013

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 03, p. 870-874, 2009. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/11449/5172>>. Acesso: 15 fev. 2019.

SILVA, F. S. **Avaliação do ruído e do desempenho energético de um trator de rabiças com um arado de disco acoplado**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará – UFC.

SILVA, S.L. **Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento**. 2000. 123 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

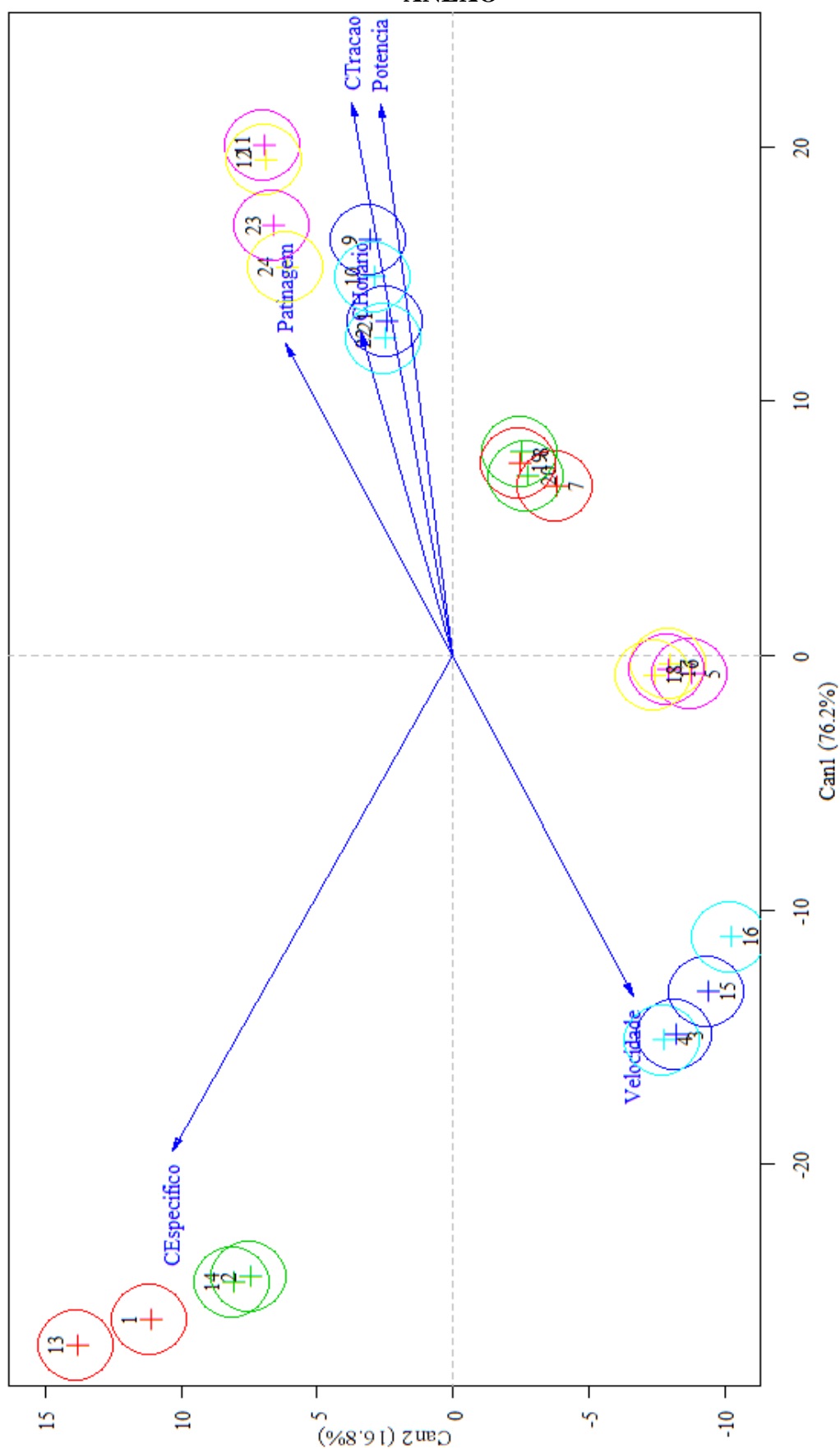
SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C. F.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.

SOUZA, F.H.; MONTEIRO, L.A.; MELLO, L. M. M.; FREITAS, L. A.; Determinação da patinagem dos rodados do trator em função da pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração em pista de concreto. In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 2014, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: CONBEA, 2014.

TOLEDO, A., TABILE, R.A., GROTTA, D. C.C., CORTEZ, J.W., FURLANI, C.E.A. Desempenho de trator agrícola atuando com 5% de biodiesel em operação de semeadura. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.17, n.03, p. 205- 214, 2009.

WISMER, R. D.; LUTH, H. J. **Off-road traction prediction for wheeled vehicles**. Transactions of the ASAE, v.17, n.1, p.8-14, 1974.

ANEXO



CEspecifico: Consumo Especifico de combustível; Velocidade: Velocidade de deslocamento do trator; Patinagem: Patinagem das rodas motrizes; CHorario: Consumo Horário de combustível; CTracao: Coeficiente de Tração; Potencia: Potência na barra de tração do trator
 Fonte: autor