

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Daniela Herzog

**PARÂMETROS DE PROJETO E DESEMPENHO DE TRATORES
AGRÍCOLAS A PARTIR DO BANCO MUNDIAL DE ENSAIOS**

Santa Maria, RS
2020

Daniela Herzog

**PARÂMETROS DE PROJETO E DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS A
PARTIR DO BANCO MUNDIAL DE ENSAIOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser

Santa Maria, RS
2020

Herzog, Daniela
PARÂMETROS DE PROJETO E DESEMPENHO DE TRATORES
AGRÍCOLAS A PARTIR DO BANCO MUNDIAL DE ENSAIOS / Daniela
Herzog.- 2020.
80 p.; 30 cm

Orientador: José Fernando Schlosser
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2020

1. Eficiência dos motores Diesel 2. Homologação 3.
Relação massa/potência 4. Sobrealimentação I. Schlosser,
José Fernando II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2020

Todos os direitos autorais reservados a Daniela Herzog. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

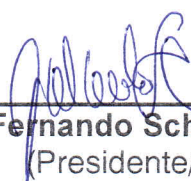
E-mail: dani_herzog@hotmail.com

Daniela Herzog

**PARÂMETROS DE PROJETO E DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS A
PARTIR DO BANCO MUNDIAL DE ENSAIOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 4 de março de 2020:



José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Alexandre Russini, Dr. (UNIPAMPA)



Heliodoro Francisco Catalan Mogorrón, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2020

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas e auxílio financeiro concedido para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao meu orientador, Dr. José Fernando Schlosser, pela confiança depositada, apoio, orientação, ensinamentos e incentivo durante todos esses anos que estive presente no Laboratório de Agrotecnologia;

Aos colegas do Laboratório de Agrotecnologia (Agrotec) e do Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA), pelo convívio e ensinamentos;

À minha família e a todos meus amigos, que de uma forma ou outra sempre me apoiaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu sincero, muito obrigada!

*“If your actions inspire others to dream more,
learn more, do more, and become more, you
are a leader.”*

John Quincy Adams

RESUMO

PARÂMETROS DE PROJETO E DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS A PARTIR DO BANCO MUNDIAL DE ENSAIOS

AUTORA: Daniela Herzog
ORIENTADOR: José Fernando Schlosser

O trator agrícola pode ser considerado um dos mais importantes equipamentos agrícolas, pela sua versatilidade em desempenhar grande número de operações. Desde a sua criação, em meados dos anos de 1850, vários tipos e tamanhos de tratores foram desenvolvidos, evoluindo de acordo com as mudanças nas tecnologias, tamanho das áreas agrícolas e funções específicas que eles precisam executar. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo analisar os principais parâmetros de projeto e desempenho utilizados na concepção de um trator agrícola através dos relatórios de ensaios oficiais disponíveis em bancos de dados mundiais. Foram analisadas as principais mudanças no comportamento construtivo e de desempenho, bem como a influência que a forma de aspiração de ar exerce sobre o desempenho dos motores. O trabalho foi realizado através da obtenção, processamento e análise de dados provenientes de 888 relatórios oficiais de ensaios de tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros, realizados entre os anos de 1993 a 2018, que seguem o Código 2 da OECD e que se encontram disponíveis nos bancos de dados do *Nebraska Tractor Test Laboratory* (NTTL) e da *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD). Os principais resultados revelam que a relação massa/potência dos tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros apresentou comportamento decrescente entre os anos de 1993 e 2018, indicando o aumento da versatilidade dos tratores. Já, a massa dos tratores agrícolas com motores de três cilindros apresentou redução de aproximadamente 6,38%, enquanto a massa dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros apresentou crescimento aproximado de 42,66% durante o período analisado. A relação volume deslocado/potência apresentou comportamento decrescente entre os anos de 1993 e 2018 tanto para os tratores agrícolas com motores de três cilindros quanto para os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros, apresentando essa redução em valores percentuais de 25,76% e 50,09% respectivamente. Ademais, os motores dos tratores agrícolas têm se tornado mais eficientes quanto ao desempenho. Quanto à forma de admissão de ar dos motores, o uso de sobrealimentação nos motores dos tratores agrícolas melhora o desempenho destes fornecendo maior torque e potência, além de reduzir o consumo específico de combustível quando comparados aos motores de aspiração natural de ar. Também, constatou-se a ocorrência do *downsizing* dos motores dos tratores agrícolas.

Palavras-chave: Eficiência dos Motores Diesel. Homologação. Relação Massa/potência Sobrealimentação.

ABSTRACT

DESIGN AND PERFORMANCE PARAMETERS OF AGRICULTURAL TRACTORS BASED ON INTERNATIONAL DATABASE

AUTHOR: DANIELA HERZOG
ADVISOR: JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER

Nowadays, the agricultural tractor is considered to be one of the most important agricultural equipment, due to their versatility at performing a great number of field operations. Since its creation in the mid-1850s, various types and sizes of tractors have been developed, evolving according to changes in technologies, size of agricultural areas and specific functions that they need to perform. Thus, this work aimed to analyze the main design and performance parameters used in the project of agricultural tractors through official test reports available at international database. Were analyzed the main changes in framing and performance, besides the influence that the air intake device exerts at the engine performance. The present work was carried out by obtaining, processing and analyzing data from 888 official agricultural tractor test reports, specifically from agricultural tractors with three and four cylinders engines. Through the selecting of the test reports carried out between the years 1993 to 2018, which follows OECD Standard Test (Code 2) and, which are available in the databases from the Nebraska Tractor Test Laboratory (NTTL) and from the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD). The main results demonstrate that the mass/power ratio of agricultural tractors with three and four-cylinder engines decreased between the years 1993 and 2018, indicating an increase at the versatility of the tractors. The mass of agricultural tractors with three-cylinder engines decreased by approximately 6.38%, while the mass of agricultural tractors with four-cylinder engines showed an approximate growth of 42.66% during the analyzed period. The displacement/power ratio showed decreasing behavior between the years 1993 and 2018 for both agricultural tractor settings, showing this reduction at percentage values of 25.76% and 50.09%, respectively for tractors with three-cylinder and four-cylinder engines. In addition, agricultural tractor engines have become more efficient in terms of performance. As for the air intake of the engines, the use of supercharging in the engines of three and four cylinder at agricultural tractors improves their performance by providing greater torque and power, and reducing the specific fuel consumption when compared to natural air aspiration engines. Besides, the downsizing of agricultural tractor engines occurs.

Keywords: Diesel Engine Efficiency. Type-approval. Mass/power Ratio. Supercharging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais componentes do motor de combustão interna ciclo Diesel.....	22
Figura 2 – Curvas de desempenho características de motor com aspiração natural e principais pontos caracterizadores de funcionamento a plena carga	28
Figura 3 – Curvas de desempenho características dos motores agrícolas: (a) motor de admissão natural de ar; (b) motor com sobrealimentação.....	29
Figura 4 – Representação esquemática da instrumentação para ensaio de desempenho de motores de tratores agrícolas por meio do eixo da TDP (1. Dinamômetro elétrico; 2. Fluxômetro; 3. Trator agrícola; 4. Software gerenciador).....	30
Figura 5 – Figura resumo das principais etapas do processo de criação do banco de dados.....	45
Figura 6 – Massa (kg) e relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018	47
Figura 7 – Massa (kg) e relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018.....	48
Figura 8 - Comportamento da relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função da potência (kW)	49
Figura 9 - Comportamento da relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros em função da potência (kW).....	50
Figura 10 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função da potência (kW)	51
Figura 11 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros em função da potência (kW)	52
Figura 12 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função do torque (Nm)	53
Figura 13 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros em função do torque (Nm)	53
Figura 14 – Comportamento da relação volume deslocado/potência ($\text{cm}^3.\text{kW}^{-1}$) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018	54
Figura 15 – Comportamento da relação volume deslocado/potência ($\text{cm}^3.\text{kW}^{-1}$) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018	55
Figura 16 – Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018.....	57
Figura 17 - Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018.....	57
Figura 18 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018.....	58
Figura 19 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018.....	59
Figura 20 – Consumo específico (g.kWh^{-1}) e consumo horário (L.h^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018	60

Figura 21 - Consumo específico (g.kWh^{-1}) e consumo horário (L.h^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018	61
Figura 22 – Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3).....	63
Figura 23 – Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3)	64
Figura 24 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3).....	65
Figura 25 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3).....	66
Figura 26 – Comportamento do consumo horário (L.h^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3)	67
Figura 27 – Comportamento do consumo horário (L.h^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3).....	68
Figura 28 – Comportamento do consumo específico (g.kWh^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3).....	69
Figura 29 – Comportamento do consumo específico (g.kWh^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3).....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Destaques mais importantes no desenvolvimento e evolução dos tratores agrícolas.....	17
Quadro 2 – Funcionamento dos motores de ciclo Diesel	21
Quadro 3 – Comparação das potências obtidas pela aplicação de diferentes normas de ensaio ao mesmo motor, tomando como referência o correspondente ao ensaio de acordo com a norma DIN 70020	31
Quadro 4 – Acessórios do motor considerados para a determinação da potência	32
Quadro 5 – Códigos padrão da OECD para ensaios oficiais de tratores agrícolas e florestais.....	35
Quadro 6 – Cinco pontos extras para calcular as características de consumo de combustível	40
Quadro 7 – Marcas de tratores agrícolas presentes nas bases de dados dos relatórios de ensaios da OECD e do NTTL.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AENOR	<i>Asociación Española de Normalización y Certificación</i>
AGROTEC	Laboratório de Agrotecnologia
ASABE	<i>American Society of Agricultural and Biological Engineers</i>
ASAE	<i>American Society of Agricultural Engineers</i>
bar	Unidade de pressão (14,28 lbs.pol ⁻²)
BLT	<i>Biomass, Logistics, Technology</i>
Ce	Consumo específico de combustível
CEMAGREF	<i>French Research Institute for Agricultural and Environmental Engineering</i>
CENEA	Centro Nacional de Engenharia Agrícola
CENTRI	Centro de Ensaio e Treinamento Rural de Ipanema
CETI	Centro de Ensaio e Treinamento de Ipanema
Ch	Consumo horário de combustível
cm ³	Centímetro cúbico
cm ³ .kW ⁻¹	Centímetro cúbico por quilowatt
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
cv	Cavalo-vapor
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DLG	<i>Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft</i>
ECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
EMA	<i>Estación de Mecánica Agrícola</i>
EPCC	Estrutura de Proteção Contra Capotamento
EUA	Estados Unidos da América
g.kWh ⁻¹	Gramas por quilowatt-hora
He	Potência efetiva
IMAMOTER	<i>Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kg	Quilograma
kg.kW ⁻¹	Quilograma por quilowatt
kg.m	Quilograma-metro
km.h ⁻¹	Quilômetro por hora
kPa	Quilopascal
kW	Quilowatt
kW.L ⁻¹	Quilowatt por litro
L.h ⁻¹	Litros por hora
m.s ⁻¹	Metros por segundo
N	Velocidade angular do motor
Nm	Newton metro
NEMA	Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas
NTTL	<i>Nebraska Tractor Test Laboratory</i>
°C	Graus Celsius
OECD	<i>Organisation for Economic Co-Operation and Development</i>
pdf	<i>Portable document format</i>
PMI	Ponto morto inferior

PMS	Ponto morto superior
rpm	Rotações por minuto
RS	Rio Grande do Sul
s	Segundos
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SCR	<i>Selective Catalytic Reduction</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
T	Torque
TDP	Tomada de potência
TR	<i>Technical report</i>
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	TRATORES AGRÍCOLAS	15
2.2	MOTORES DOS TRATORES AGRÍCOLAS	20
2.2.1	Parâmetros de desempenho dos motores agrícolas	24
2.3	ENSAIOS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	32
2.3.1	Ensaios de tratores agrícolas	33
2.3.2	Código 2 – Código padrão da OECD para ensaios oficiais de desempenho de tratores agrícolas e florestais	36
2.3.2.1	<i>Ensaio de potência máxima</i>	38
2.3.2.2	<i>Ensaio em carga máxima e velocidade angular variável</i>	38
2.3.2.3	<i>Ensaio com carga variada</i>	39
2.3.2.4	<i>Ensaio de consumo de combustível</i>	39
2.3.3	Ensaios de tratores agrícolas no Brasil	40
3	MÉTODOS E TÉCNICAS	42
3.1	TIPO DE PESQUISA	42
3.2	AMOSTRAGEM	43
3.3	COLETA E TRATAMENTO DE DADOS	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	PARÂMETROS DE PROJETO	47
4.1.1	Massa dos tratores agrícolas	47
4.1.2	Volume deslocado	54
4.2	PARÂMETROS DE DESEMPENHO	56
4.2.1	Admissão de ar x parâmetros de desempenho dos motores	62
4.2.2	Downsizing dos motores dos tratores agrícolas	71
5	CONCLUSÕES	72
	REFERÊNCIAS	73
	ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIO DA OECD	76
	ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO DO NTTL	78

1 INTRODUÇÃO

No meio rural, os tratores são considerados um dos mais importantes equipamentos agrícolas pela sua versatilidade em desempenhar um grande número de operações, principalmente a de tracionar implementos. Desde a sua criação, os tratores agrícolas passaram por diversas modificações, tanto estruturais como operacionais (eficiência dos motores), que são resultados diretos do avanço das tecnologias e do tamanho das propriedades agrícolas.

Com o advento da tecnologia e evolução da indústria de máquinas agrícolas, os tratores passaram a ser mais leves e operacionalmente versáteis, a apresentar motores Diesel mais eficientes quanto ao rendimento termomecânico, transmissões com melhor escalonamento de marchas, cabines com conforto térmico e acústico e eletrônica embarcada com sistemas de direção e localização acurados.

Essa evolução proporciona ao produtor rural diversas opções de modelos de tratores agrícolas a serem escolhidos de acordo com critérios estabelecidos pelos próprios produtores e que melhor se adequam a sua realidade local. O motor do trator agrícola, além da transmissão, é uma das bases para os usuários na aquisição do trator, uma vez que é um dos componentes que melhor o caracteriza através de suas especificações de potência, torque e consumo de combustível.

Desta forma, a fim de avaliar as características ponderais e operacionais dos tratores agrícolas, organizações internacionais como a *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD) desenvolveram procedimentos ou normas (Códigos OECD) para a realização de ensaios oficiais de máquinas e tratores agrícolas.

O ensaio de máquinas agrícolas tem como propósito básico informar o consumidor sobre o desempenho (rendimento) de uma máquina, a qualidade do produto, os dados técnicos das máquinas, as características particulares e os dados necessários para a sua certificação e homologação oficial. Logo, é uma importante ferramenta na confirmação da veracidade dos dados fornecidos pelos fabricantes ao consumidor final.

Atualmente, o Brasil não conta com um centro oficial de ensaios e uma base de dados sobre os tratores fabricados e comercializados no país. Por conseguinte, as informações que podem ser usadas na comparação de desempenho e de características

construtivas (parâmetros de projeto) de várias marcas e modelos de tratores estão disponíveis apenas em bancos de dados internacionais de países que seguem os códigos e acordos de reciprocidade da OECD.

Diante desse panorama e considerando a relevância, o conhecimento dos parâmetros de projeto e desempenho dos tratores agrícolas através dos ensaios oficiais vem como uma alternativa para se estudar a forma como se deu a evolução dos tratores e suas características. Desta forma, este trabalho teve por objetivo principal analisar os principais parâmetros de projeto e desempenho utilizados na concepção de um trator agrícola através dos relatórios de ensaios oficiais disponíveis em bancos de dados mundiais. Como objetivos específicos buscou-se:

- I. Determinar os principais parâmetros de projeto e desempenho utilizados na concepção dos tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros;
- II. Analisar a tendência de mudanças no comportamento construtivo quanto ao volume deslocado (cm^3) dos motores e a massa (kg) dos tratores agrícolas;
- III. Analisar a evolução dos motores dos tratores agrícolas quanto a eficiência através do estudo do comportamento do consumo específico (g.kWh^{-1}), potência (kW) e torque (Nm);
- IV. Analisar a influência que a forma de aspiração (admissão) de ar exerce sobre o desempenho do motor;
- V. Verificar a ocorrência do *downsizing* nos motores dos tratores agrícolas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRATORES AGRÍCOLAS

Em meados do ano de 1850, visando substituir e melhorar o desempenho dos animais, até então utilizados no trabalho agrícola, buscou-se a obtenção de um veículo motor que pudesse realizar trabalhos de velocidade ou de tração. Deste modo, popularizou-se a combinação de duas palavras do idioma inglês que posteriormente batizaram esta inovação: *traction motor* (motor de tração) = trator (SIMONE et al., 2006).

O trator agrícola caracteriza-se como uma máquina autopropelida provida de meios que, além de conferirem apoio estável sobre uma superfície horizontal, capacitam-no a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar máquinas e implementos agrícolas (MIALHE, 1980). Ainda, segundo a *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 1995), o trator agrícola é um veículo inicialmente projetado para puxar, impulsionar e fornecer a energia necessária para operar implementos utilizados em operações agrícolas, ou seja, o trator é basicamente uma máquina para tracionar (MACMILLAN, 2002).

A *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD) define o trator agrícola como um veículo automotor de rodas, com ao menos dois eixos, ou de esteira, construído para efetuar as principais operações de interesse agrícola como tracionar reboques, implementos, ferramentas e máquinas agrícolas e ainda, quando requerido, fornecer a potência necessária para o funcionamento destes em movimento ou parados (MÁRQUEZ, 2012).

Ao longo dos anos, os tratores agrícolas evoluíram acompanhando as mudanças na tecnologia agrícola e no tamanho das áreas, vários tipos e tamanhos de tratores foram desenvolvidos, progredindo do seu uso primário, como substituto da energia animal, para as unidades atuais projetadas para múltiplos usos (LILJEDAHN et al., 1996). Ademais, os tratores agrícolas possuem características de projeto adequados à finalidade de uso, ou seja, são construídos de várias formas e tamanhos, de acordo com as funções específicas que eles precisam executar (MACMILLAN, 2002).

De acordo com Renius (1994), a massa específica dos tratores agrícolas é um dos critérios mais significativos para o desenvolvimento e criação de um novo modelo de trator agrícola, uma vez que deve ser o mais baixo possível para reduzir os custos iniciais do projeto, a compactação do solo e resistência ao rolamento.

A massa do trator agrícola influencia no seu desempenho a campo e pode definir, também, a sua aptidão para executar determinadas tarefas (MÁRQUEZ, 1990). Na seleção do trator agrícola para o trabalho a campo, um dos itens mais importantes é a sua capacidade em desenvolver esforço para tracionar máquinas e implementos agrícolas (FILHO et al., 2004).

Segundo Filho et al. (2004), a força de tração é a força que um trator desenvolve ao tracionar uma carga, resultado da conversão em força tangencial do torque produzido no motor e transmitido até as rodas motrizes. Além disso, segundo os autores, é dependente da interação entre o rodado e o solo, envolvendo um conjunto de fatores como as características do rodado, patinamento, transferência de massa do trator, tipo de solo, umidade, estado de compactação e tipo de cobertura do solo, os quais proporcionam diferentes condições de trabalho e interferem diretamente no desempenho do trator.

Considerando como exemplo a relação entre a massa de um trator e sua potência, esta deve variar de acordo com a força de tração requerida pelos implementos que ele traciona e pelo solo, onde ele trabalha. Desta forma, um mesmo trator, mantendo-se constante a potência disponível no motor, vai necessitar mais ou menos massa à medida que aumenta ou diminui a velocidade de trabalho (SCHLOSSER et al., 2005). De outra forma, tratores com potências diferentes no motor poderão exigir diferentes massas para realizar o mesmo trabalho. Assim, os tratores utilizados em trabalhos com alta exigência de tração devem exigir elevadas relações massa/potência e por sua vez menores velocidades de deslocamento. Ao contrário, os tratores para trabalhos leves devem levar menos peso e realizar os trabalhos a uma maior velocidade de deslocamento (SCHLOSSER et al., 2005).

Segundo Liljedahl et al. (1996), os primeiros tratores eram grandes e pesados, adequados principalmente para arar o solo sendo que, com o passar do tempo foram feitas adaptações para seu uso como cultivador motorizado e, posteriormente surgiu o

trator de uso geral para realizar as principais operações agrícolas. Os destaques mais importantes no desenvolvimento e evolução dos tratores agrícolas encontram-se descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Destaques mais importantes no desenvolvimento e evolução dos tratores agrícolas

(continua)

Ano	Destaques mais importantes na evolução dos tratores agrícolas
1858	O arado a vapor de J. W. Fawkes abriu oito sulcos a 4,8 km.h ⁻¹ em solo coberto por grama.
1873	O motor a vapor de Parvins foi, provavelmente, a primeira tentativa dos EUA de criar um dispositivo sobre esteiras, embora o Escritório de Patentes dos EUA tenha registrado o desenvolvimento de tratores de esteiras no início da década de 1850.
1876	As patentes Otto foram emitidas para motores de combustão interna.
1889	Pelo menos uma empresa construiu um trator utilizando um motor de combustão interna.
1908	Os primeiros ensaios de tratores foram realizados em Winnipeg, Canadá.
1910-1914	<ol style="list-style-type: none"> 1. A primeira demonstração de trator foi realizada nos Estados Unidos em Omaha, Nebraska, no ano de 1911. 2. Tratores menores e leves passaram a ser introduzidos no mercado. 3. Os tratores monobloco (sem chassi) foram criados.
1915-1919	<ol style="list-style-type: none"> 1. A tomada de potência foi introduzida nos tratores. 2. A lei de teste de tratores de Nebraska foi aprovada.
1920-1924	Desenvolvimento de um trator agrícola multifuncional.
1925-1929	A tomada de potência em tratores agrícolas foi adotada gradualmente.
1930-1937	<ol style="list-style-type: none"> 1. O motor Diesel passou a ser utilizado em tratores maiores. 2. Pneus de borracha e velocidades mais altas foram introduzidos. 3. Equipamentos elétricos foram adotados. 4. O interesse em motores de alta compressão aumentou. 5. O trator versátil foi comumente aceito.
1937-1941	<ol style="list-style-type: none"> 1. Localizações de tomada de potência e engates padronizados pela ASAE e SAE foram comumente aceitos. 2. Sistemas pressurizados de arrefecimento foram introduzidos. 3. A adição de água nos pneus foi amplamente difundida como forma de aumentar a tração dos tratores agrícolas. 4. O sistema de engate de três pontos de implementos foi introduzido. 5. Inclusão do controle automático de tração hidráulica.

Quadro 1 – Destaques mais importantes no desenvolvimento e evolução dos tratores agrícolas
(conclusão)

1941-1949	<ol style="list-style-type: none"> 1. A tomada de potência com embreagem independente foi introduzida. 2. Implementos de arrasto com controles hidráulicos foram adotados. 3. O número de tratores de gramado e jardim expandiu rapidamente.
1950-1960	<ol style="list-style-type: none"> 1. A potência dos tratores aumentou rapidamente. 2. A porcentagem de tratores a Diesel aumentou. 3. Aprimoramentos como direção hidráulica, transmissões automáticas e transmissões com maior seleção de velocidade tornaram-se amplamente disponíveis.
1961-1970	<ol style="list-style-type: none"> 1. A potência dos tratores continuou a aumentar. 2. Todos os tratores passaram a apresentar motores Diesel, exceto os tratores menores dos EUA. 3. O conforto e a segurança do operador passaram a ter destaque. 4. As transmissões <i>full powershift</i> ficaram disponíveis. 5. Os pneus radiais ficaram disponíveis para os tratores agrícolas.
1970-1978	<ol style="list-style-type: none"> 1. Turbocompressor e intercooler foram adicionados aos motores a Diesel. 2. As estruturas de proteção contra capotamento (EPCC) foram disponibilizadas e, a partir de 15 de outubro de 1976, passam a ser obrigatórias em todos os tratores novos vendidos nos EUA. 3. A maioria dos tratores grandes passam a ser equipados com cabines. 4. Os ensaios de tratores de Nebraska passaram a incluir medições de nível sonoro. 5. Tração integral (4WD) passou a ser popular. 6. A porcentagem de tratores acima de 75 kW continuou a aumentar na América do Norte.
1979-1985	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistemas eletrônicos de detecção e controle nos tratores passaram a ser populares. 2. O tamanho e a potência do trator parecem ter atingido os limites superiores.

Fonte: Adaptado de Liljedahl et al. (1996).

Os tratores agrícolas apresentam vários componentes que funcionam juntos como um sistema. Eles são compostos de motor, sistema de transmissão, sistema de direção, sustentação e de componentes complementares, onde são acoplados equipamentos e máquinas diversas (SCHLOSSER, 1997).

De acordo com Srivastava, Goering e Rohrbach (1993), uma máquina agrícola pode ser dividida em dois subsistemas: sistemas de processo e sistemas de suporte. Os sistemas de processo são os componentes da máquina que realmente executam as

funções para qual a máquina foi projetada, isto é, cortar, separar, misturar, puxar, tracionar, etc. Já, os sistemas de suporte são as partes que suportam ou auxiliam os sistemas de processo no desempenho de sua função, e podem ser classificados como sistemas de estrutura, energia ou controle.

Os sistemas de estrutura, ou projeto, consistem em todas as partes estruturais da máquina cuja principal função é unir todas as partes da máquina para que funcionem corretamente. Os sistemas de energia fornecem a energia aos sistemas de processo. Em máquinas de autopropulsão, como os tratores agrícolas, a energia é proveniente dos motores (motores endotérmicos de ignição por compressão, Diesel) e transmitida pelo sistema de energia (trem de força) (SRIVASTAVA, GOERING e ROHRBACH, 1993).

Ademais, os tratores agrícolas podem ser classificados de acordo com sua forma básica que, por sua vez, é dependente da função para a qual foi projetado. A classificação considera os mais variados critérios como: o número de eixos, o tipo de rodado, tipo de tração, tipo de estrutura de construção, a aplicação, a bitola, a potência do motor, sua massa total, etc. (MACMILLAN, 2002).

Mialhe (1980), classifica os tratores agrícolas segundo dois critérios básicos: o tipo de rodado e a conformação do chassi. O autor ressalta que o tipo de rodado proporciona ao trator importantes características diferenciadoras de desempenho operacional e a conformação do chassi resulta no tipo de aplicação principal a que se destinam.

Márquez (2012), leva em consideração além da potência disponível no motor, o número de cilindros, o volume interno e massa do trator, dividindo-os em seis classes. Similar a classificação de Márquez (2012), Farias (2014), classifica os tratores agrícolas em faixas de potência bruta disponível no motor diferindo ao incluir uma nova faixa de potência, visto que os modelos de tratores comercializados no Brasil apresentam maior potência quando comparados aos tratores europeus.

A classificação proposta por Farias (2014) separa os tratores por classes de potência bruta, Classe I (menor ou igual a 22,1 kW); Classe II (entre 22,1 e 51,5 kW); Classe III (entre 51,5 e 73,5 kW); Classe IV (entre 73,5 e 117,7 kW); Classe V (entre 117,7 e 183,9 kW); Classe VI (entre 183,9 e 294,2 kW) e Classe VII (maior ou igual a 294,2 kW).

2.2 MOTORES DOS TRATORES AGRÍCOLAS

O motor do trator agrícola, além da transmissão, é um dos componentes que melhor o caracteriza, sendo suas especificações de potência, torque e consumo específico de combustível, uma das bases para os usuários na aquisição do trator (MÁRQUEZ, 2012). Os motores, geralmente, usados em tratores agrícolas são motores endotérmicos de ignição por compressão (Diesel). Mialhe (1980) e Farias (2014), definem os motores endotérmicos (motores de combustão interna) como máquinas capazes de transformar a energia química do combustível em energia mecânica (trabalho mecânico). Essa transformação ocorre através da realização de um ciclo termodinâmico.

O ciclo termodinâmico caracteriza-se pela realização de uma série de operações consecutivas no interior do cilindro do motor que se distinguem de acordo com a posição relativa do pistão (êmbolo) e da árvore de manivelas (virabrequim). A cada meio giro do virabrequim ocorrem variações de volume, de pressão e de temperatura, além da combustão explosiva da mistura gasosa do ar com o combustível, constituindo os tempos do motor (MIALHE, 1980). Os motores de combustão interna podem realizar seu ciclo termodinâmico teórico segundo dois ciclos, denominados ciclos Otto e Diesel e, podem ser de dois ou quatro tempos, dependendo do somatório de ângulos necessários para concluí-lo.

Os motores presentes nos tratores agrícolas, em sua maioria, são motores de ciclo Diesel e completam seu ciclo em quatro tempos (admissão, compressão, expansão e escape). Cada um dos quatro tempos do ciclo Diesel está relacionado com o curso do pistão, que é a distância percorrida entre o ponto morto superior (PMS), quando o pistão está na parte superior do cilindro, até o ponto morto inferior (PMI), quando o pistão se encontra na parte inferior do cilindro (ESTRADA, 2015). O Quadro 2 apresenta os quatro tempos que configuram o funcionamento teórico do ciclo Diesel dos motores e suas principais características.

Quadro 2 – Funcionamento dos motores de ciclo Diesel

Tempo	Característica
1º Tempo Admissão	O pistão desloca-se do PMS ao PMI e, estando a válvula de admissão aberta, aspira ar atmosférico para o interior da câmara do cilindro enquanto a válvula de escape permanece fechada.
2º Tempo Compressão	O pistão, desloca-se do PMI ao PMS, comprime o ar na câmara de combustão, ao mesmo tempo que as válvulas de admissão e escape se encontram fechadas. Nesta condição, altas temperaturas e pressões de compressão são atingidas.
3º Tempo Expansão	O pistão atinge o PMS, ocorre a injeção do óleo combustível finamente pulverizado para o interior da câmara através do bico injetor, localizado no cabeçote do motor. O combustível, em contato com o ar quente e a alta pressão, entra em autoignição impulsionando o pistão ao PMI em virtude da expansão dos gases provenientes da combustão. Como resultado, a biela transmite a força ao virabrequim e movimenta o motor.
4º Tempo Escape	O ciclo se encerra com o escape, a válvula de descarga se abre, o pistão sobe até o PMS permitindo a saída dos gases de combustão (escape forçado).

Fonte: Adaptado de Mialhe (1980).

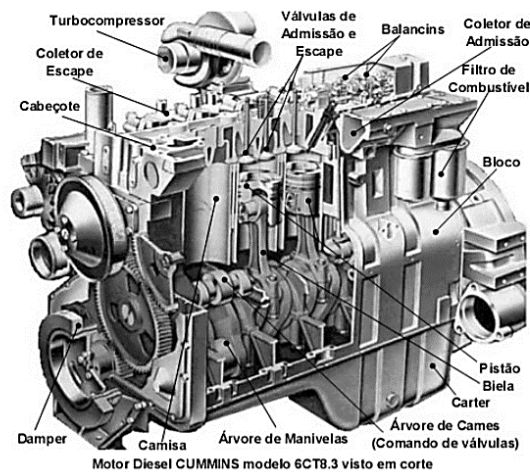
Segundo Macmillan (2002), o motor é a fonte imediata de energia para a operação do trator, variando em tipo e tamanho de acordo com o modelo de trator ao qual está montado. Seu tamanho físico é o principal determinante ou limitante no desempenho do trator, uma vez que a sua produção em termos de torque, velocidade e potência está diretamente relacionada à quantidade de ar que pode ser aspirado pelo motor, à quantidade de combustível queimado e à velocidade angular de operação (rpm).

Além disso, o autor ressalta que o seu desempenho também está relacionado ao número de tempos necessários para completar o ciclo termodinâmico, ao tipo de combustível utilizado, seu método de ignição (ignição por faísca ou compressão), aos

detalhes mecânicos, como o *design* dos componentes (cilindros, pistões, virabrequim, válvulas, etc.) e aos sistemas de lubrificação e arrefecimento.

Os motores de ciclo Diesel são projetados para fornecer potência a uma velocidade relativamente baixa, uma vez que os tratores agrícolas exercem alto esforço de tração e baixa velocidade de avanço, submetendo-os a cargas excepcionalmente grandes e variáveis durante a maioria das operações a campo. Desta forma, as peças importantes do motor (Figura 1) incluindo o bloco, eixo de manivelas, bielas, pistões, mancais e as válvulas, devem ser resistentes (LILJEDAHL et al., 1996; MÁRQUEZ, 2012).

Figura 1 – Principais componentes do motor de combustão interna ciclo Diesel



Fonte: Fonseca (2007).

Os motores dos tratores agrícolas também podem apresentar modificações quanto ao número de cilindros, podendo apresentar dois, três, quatro, cinco, seis, sete, oito, até 12 cilindros e variarem quanto ao diâmetro do cilindro, curso do pistão e a forma de admissão de ar que pode se dar pela aspiração natural ou através de diferentes níveis de sobrealimentação, resultando nas famílias de motores (MÁRQUEZ, 2012; MIALHE 1980).

Márquez (2012), estabelece que os parâmetros e características operacionais dos motores presentes nos tratores agrícolas se resumem a um baixo regime operacional, velocidade média do pistão abaixo de 10 m.s^{-1} e alta relação curso/diâmetro. Ademais,

para motores de três a seis cilindros, o volume deslocado por cilindro varia de 0,9 a 1,4 litros, a potência específica pode variar de 8,0 a 25 kW.L⁻¹ e o consumo mínimo específico de combustível variar de 230 a 250 g.kWh⁻¹. O mesmo autor indica que, em funcionamento, o motor de um trator agrícola se caracteriza por ter a potência máxima localizada entre 2.000 e 2.500 rpm do motor, o torque máximo estar aproximadamente à 65% da rotação nominal e a rotação máxima em vazio entre 150 e 200 rpm acima da rotação nominal.

Segundo Cragle (1983 apud LILJEDAHN et al., 1996), os tratores agrícolas são resultados direto do avanço tecnológico e do desenvolvimento agrário e econômico, incluindo fonte de energia (combustíveis) e sistemas ambientais. Conseqüentemente, as características construtivas e o desempenho destes mudaram consideravelmente desde os primeiros tratores agrícolas criados e ensaiados.

Este mesmo avanço se observa nos motores de combustão interna, que através do uso sistemático de tecnologias avançadas e complexas buscam melhorar a sua permeabilidade e seu desempenho energético em função do seu ponto de operação (admissão variável, distribuição variável, sobrealimentação de geometria variável) (PUNOV et al., 2018).

Atualmente, observa-se a ocorrência do *downsizing* nos motores dos tratores agrícolas. Entretanto, essa tendência não é novidade na indústria automobilística e cresce progressivamente desde o início do século na Europa (BRUNETTI, 2012). O termo *downsizing*, em uma tradução livre, significa redução de tamanho, e essa é a característica principal da proposta, ou seja, produzir motores menores, tanto em tamanho quanto em capacidade volumétrica, mas que desenvolvam a mesma potência ou até maior, com mais eficiência e economia, diminuindo a emissão de poluentes e reduzindo o consumo de combustível (ASSIS et al., 2016; BRUNETTI, 2012; ECKER, SCHWADERLAPP e GILL, 2000).

De acordo com Brunetti (2012) e Punov et al. (2018), a prioridade é melhorar a entrada de ar e emissão de calor. A redução do tamanho do motor e a redução do número de cilindros (dois, três ou quatro) de motores endotérmicos possibilita reduzir as perdas por bombeamento e fricção (atrito). Evidentemente, isso está associado à sobrealimentação, uma vez que o aumento da quantidade de ar admitido e retido no

interior dos cilindros, através de turbocompressores, permite produzir potências e torques muito diferentes com deslocamentos muito semelhantes (MÁRQUEZ, 2012).

Para Punov et al. (2018), a sobrealimentação através do uso de um turbocompressor miniaturizado impõe maiores restrições aos fabricantes para controlar a ocorrência de sobretensão do turbocompressor e seu tempo de resposta. Ademais, o manuseio de fenômenos acústicos e vibracionais nessas novas tecnologias de motores com dois, três ou quatro cilindros requer atenção quanto a irregularidade rotacional das respostas do eixo de manivelas do acoplamento e aos efeitos de desativação do cilindro em carga parcial (ECKER, SCHWADERLAPP e GILL, 2000).

Assim sendo, o *downsizing* dos motores pode ser considerado mais eficiente quando a energia específica (potência específica) não apresenta um aumento na rotação do motor, mas o aumento do torque em toda a faixa de rotações por meio da melhoria da eficiência ou rendimento volumétrico (enchimento dos cilindros). Este pode ser alcançado através do uso de quatro válvulas por cilindro, eixo comando de válvulas variável na admissão e/ou escapamento, sobrealimentação e sistemas eletrônicos de gerenciamento de motores (unidade de controle do motor) (BRUNETTI, 2012).

2.2.1 Parâmetros de desempenho dos motores agrícolas

O desempenho dos tratores agrícolas pode ser expresso de várias maneiras, uma vez que o critério utilizado para o descrever está diretamente relacionado ao uso que se pretende dar ao mesmo (LILJEDAHN, 1996). Já para os motores de combustão interna o desempenho está diretamente associado à capacidade destes em transformar a energia do combustível em energia mecânica. Entretanto, menos da metade desta energia é de fato convertida, o restante se perde durante os processos de conversão (GOERING, 1992; MIALHE, 1996). Porquanto, as características de funcionamento e desempenho dos motores é resultante deste processo de transformação de energia e as principais e mais importantes variáveis respostas são o torque, a potência e consumo de combustível (horário e específico) (MIALHE, 1996).

A força de explosão do motor, dependente do deslocamento, diâmetro, número, enchimento e pressões dos cilindros, ao ser transmitida pela biela ao cotovelo do

virabrequim, produz o torque ou o esforço de rotação, torção. Essa característica básica dos motores adapta-os a superar forças de resistência externas impostas ao trator agrícola e conseqüentemente ao motor. Ou seja, o torque é a resistência ao movimento de um eixo e pode ser avaliado como o produto da força exercida pela distância do eixo ao qual é aplicado (ARIAS-PAZ, 2000; MÁRQUEZ, 2012). Pode ser expresso em Newton metro (Nm), no Sistema Internacional de Unidades, ou em quilograma-força por metro (kgf.m).

Para Márquez (2012) a potência é definida como a capacidade que um motor tem de executar um trabalho em uma unidade de tempo. É expressa no Sistema Internacional de Unidades (SI) pela unidade de medida quilowatt (kW), a qual equivale a 1,36 cv. Historicamente, o cv (cavalo-vapor) foi a unidade de medida inicialmente utilizada para comparar as potências das máquinas com a dos animais de tração que posteriormente vieram a substituir. A potência é dada pela Equação 1.

$$Potência = \frac{força \times distância}{tempo} \quad (1)$$

Existe uma série de potências resultantes do balanço de transformações de energia que ocorrem no motor do trator agrícola, classificadas por Mialhe (1996) em potência teórica ou motora, potência indicada, potência efetiva ou potência ao freio, potência de atrito, potência observada e potência reduzida.

A potência teórica ou motora é aquela que seria obtida se fosse possível a transformação total da energia resultante da combustão em energia mecânica. É mensurada analiticamente, a partir de informações sobre o consumo horário de combustível e do seu poder calorífico. Já, a potência indicada trata da potência desenvolvida no cilindro do motor, como resultado da ação da pressão média dos gases na cabeça do êmbolo (MIALHE, 1996).

Por outro lado, a potência efetiva ou potência ao freio é aquela desenvolvida no volante do motor e medida através dos dinamômetros de absorção ou freios dinamométricos. Portanto, é a potência que efetivamente está disponível no motor para atender as exigências de sua aplicação. Pode ser calculada por meio do valor de torque e sua correspondente velocidade angular através da Equação 2 (MIALHE, 1996).

$$H_e = T \times N \times \frac{2\pi}{(60 \times 1000)} \quad (2)$$

Em que:

H_e = Potência efetiva (kW);

T = Torque (Nm);

N = Velocidade angular do motor (rpm);

$2\pi/(60 \times 1000)$ = Adequação de unidades.

Já a potência de atrito é aquela consumida pelo próprio motor para vencer o atrito nos mancais, êmbolos e demais partes móveis do motor, bem como para realizar a aspiração do ar (motores ciclo Diesel) ou da mistura ar combustível (motores ciclo Otto) e a expulsão dos gases de escape (MIALHE, 1996).

Por fim, a potência observada é a medida na bancada dinamométrica sob condições específicas determinadas por um método de ensaio normalizado, sendo que a potência reduzida é a potência observada reduzida para as condições atmosféricas padrão (MIALHE, 1996).

De acordo com Márquez (2012) e Mialhe (1996), a mensuração da quantidade de ar e de combustível consumida pelo motor, constitui um dos mais importantes aspectos de avaliação dos rendimentos do motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia. Ainda, segundo os autores, o consumo de combustível pode ser expresso em relação ao tempo, consumo horário ($L.h^{-1}$, $kg.h^{-1}$) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido, consumo específico ($g.cvh^{-1}$ ou $g.kWh^{-1}$).

O consumo horário é obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração que equipam as bancadas dinamométricas, já o consumo específico (C_e) é obtido pela razão entre o consumo horário e a potência desenvolvida (Equação 3).

$$C_e = \frac{Ch \times 1000}{Potência} \quad (3)$$

Em que:

C_e = Consumo específico (g.kWh^{-1});

Ch = Consumo horário (kg.h^{-1});

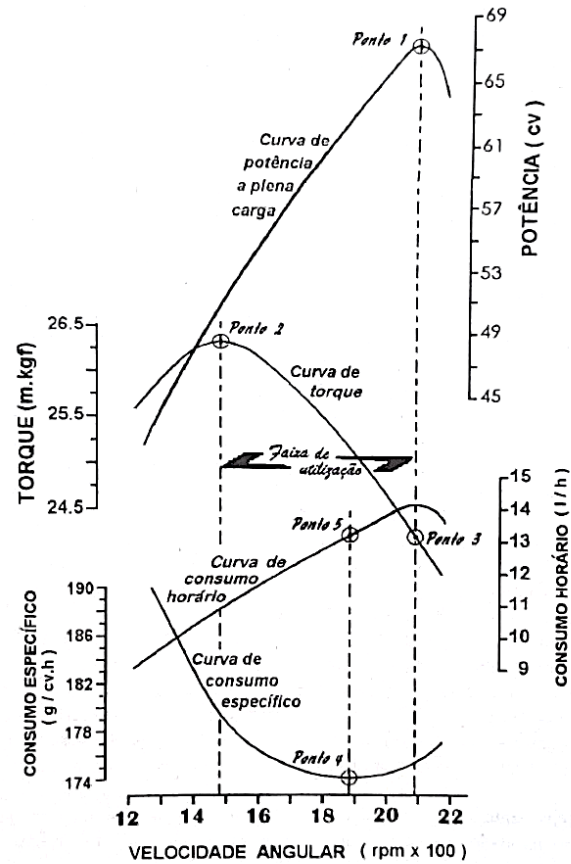
$Potência$ = Potência (kW);

1000 = Adequação de unidades.

Salienta-se ainda que as características e o desempenho dos motores agrícolas são obtidos por meio de ensaios dinamométricos e suas variáveis respostas são apresentadas na forma de gráficos e tabelas, rigorosamente especificadas de acordo com a respectiva norma de ensaio utilizada. Visto que as características de funcionamento, para um mesmo espécime, podem variar significativamente dependendo das condições em que foram realizadas as mensurações (FARIAS, 2014; MÁRQUEZ, 2012; MIALHE, 1996).

As curvas de desempenho características dos motores agrícolas se resumem em curvas de potência (kW), torque (Nm), consumo horário (L.h^{-1}) e consumo específico (g.kWh^{-1}) (Figura 2). Essas são construídas através da mensuração das variáveis respostas em diferentes pontos de operação (funcionamento) do motor e apresentam cinco pontos que merecem ser destacados (MIALHE, 1996).

Figura 2 – Curvas de desempenho características de motor com aspiração natural e principais pontos caracterizadores de funcionamento a plena carga

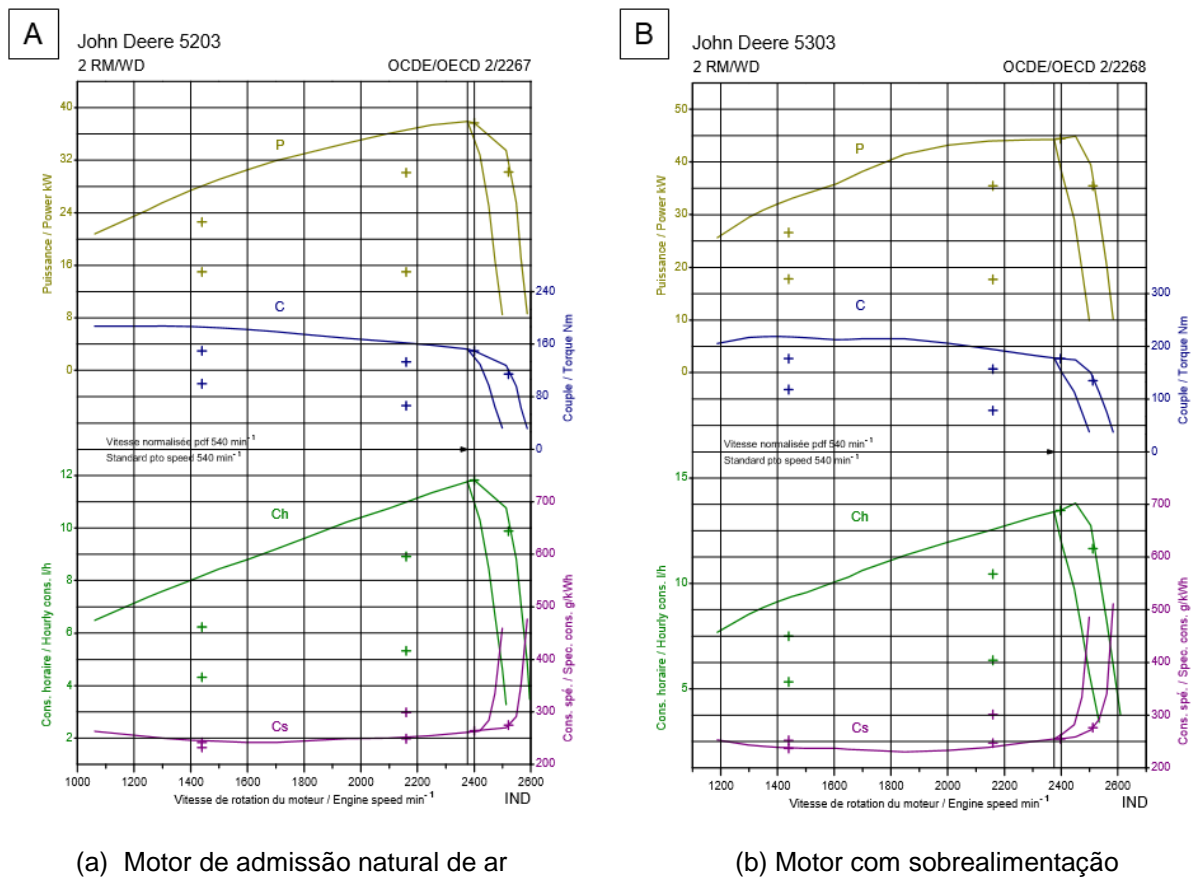


Fonte: Mialhe (1996).

De acordo com Mialhe (1996), o ponto 1 refere-se ao ponto de potência efetiva máxima, o qual apresenta o máximo valor atingido pelo produto torque x velocidade angular durante o ensaio do motor. O ponto 2, ponto de torque máximo, caracteriza-se por marcar o limite inferior de velocidade angular de faixa de utilização do motor. Já o ponto 3, é o ponto de torque de potência efetiva máxima, ou seja, é o torque que possibilita a obtenção da potência máxima e marca o limite superior de velocidade angular da faixa de utilização do motor. Os dois últimos pontos dizem respeito aos pontos de consumo específico mínimo de combustível (ponto 4), ponto em que ocorre o máximo rendimento termomecânico, e de consumo horário ótimo (ponto 5).

De acordo com Farias (2014) e Márquez (2012), o surgimento de motores sobrealimentados com efeitos de ressonância nos coletores de admissão de ar e com gerenciamento eletrônico da injeção de combustível resultaram em curvas distintas (Figura 3) quando comparadas às curvas apresentadas pelos motores antigos ou clássicos. A principal diferença está na rotação do motor em que se obtém a potência máxima. Nos motores antigos (admissão natural de ar e gerenciador mecânico de injeção de combustível), a potência máxima é obtida na rotação nominal do motor, ou seja, rotação de potência máxima, já nos motores modernos, a potência máxima é atingida a uma rotação menor que a nominal.

Figura 3 – Curvas de desempenho características dos motores agrícolas: (a) motor de admissão natural de ar; (b) motor com sobrealimentação



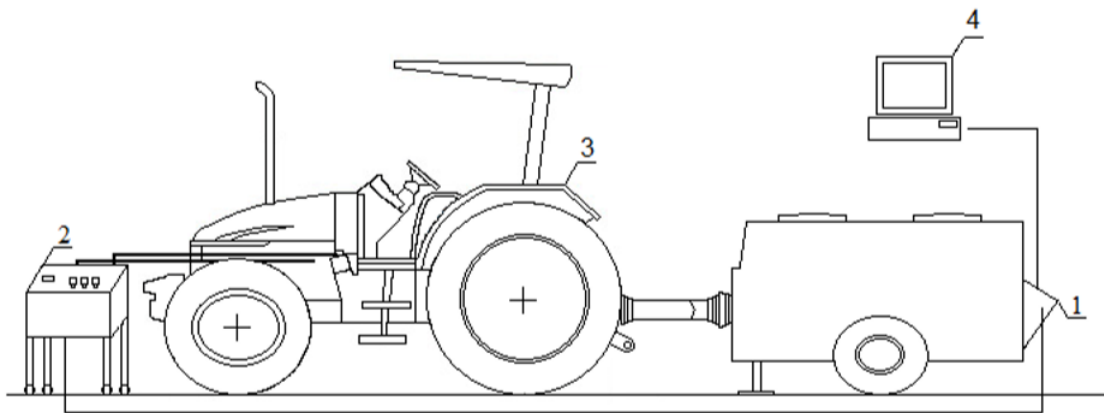
(a) Motor de admissão natural de ar

(b) Motor com sobrealimentação

Fonte: Relatórios de ensaios oficiais do banco de dados da OECD (2019).

A medição do torque e a potência obtida em cada ponto de operação do motor podem ser feitas diretamente no volante do motor ou através do eixo da tomada de potência (TDP) do trator agrícola (Figura 4). Nesse caso, o torque medido será menor que o medido diretamente no volante do motor, pois ocorrem perdas de transmissão que podem variar entre 4 e 12% (MÁRQUEZ, 2012).

Figura 4 – Representação esquemática da instrumentação para ensaio de desempenho de motores de tratores agrícolas por meio do eixo da TDP (1. Dinamômetro elétrico; 2. Fluxômetro; 3. Trator agrícola; 4. Software gerenciador)



Fonte: Estrada (2015).

Frente a isso, cada norma de ensaio estabelece procedimentos que resultam em diferentes valores, para mais ou para menos. Segundo Márquez (2012), os principais protocolos (normas) estão estabelecidos no Código OECD, norma ISO TR 14396 (normas mundiais), nas normas SAE J1995 e SAE J1349 (norte-americana), DIN 70020 (alemã), diretivas europeias 80/1269/CEE e 2000/25/CE e o regulamento de Genebra ECE R24 (Quadro 3).

As normas norte-americanas, SAE J1995 e SAE J1349, diferem entre si quanto às potências obtidas. Na primeira obtém-se a potência bruta do motor uma vez que a potência é medida no motor praticamente sem acessórios, já na SAE J1349 a potência obtida é a potência líquida pois considera todos os elementos necessários do motor.

A norma ISO TR 14396 mede a potência bruta dos motores, inicialmente publicada como um Relatório Técnico (TR), foi um documento preparado para avaliar as emissões de poluentes dos motores. Já a DIN 70020 é a norma tradicionalmente usada para medir a potência útil em uso, diferindo do regulamento ECE R24 quanto à necessidade de o ventilador estar conectado e em funcionamento. Além disso, as diretivas europeias 80/1269/CEE, 2000/25/CE e o regulamento de Genebra ECE R24 foram especialmente elaboradas para diminuir as emissões de poluentes dos veículos em geral (MÁRQUEZ, 2012).

Quadro 3 – Comparação das potências obtidas pela aplicação de diferentes normas de ensaio ao mesmo motor, tomando como referência o correspondente ao ensaio de acordo com a norma DIN 70020

Norma	Pressão atmosférica (bar)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura combustível (°C)	Tipo de combustível	Potência obtida (%)
SAE J1995	1	25	40	43 300 kJ/kg	111
ISO 14396*	0,99	25	37-43	CEC RF75T96	107
SAE J1349	1	25	40	43 300 kJ/kg	104
ECE R24	0,99	25	40,5	CEC RF03A84	104
DIN 70020	1	25	40	fabricante	100
80/1269/CEE	0,99	25	40,5	fabricante	99
97/68/CE	0,99	25	33-43	anexo IV	107
OECD	>	16-30	fabricante	fabricante	-

Fonte: Adaptado de Márquez (2012).

Em resumo, as normas de ensaio diferem entre si quanto ao padrão de correção para temperatura ambiente e pressão atmosférica, a referência de temperatura e tipo de combustível, além da supressão ou não de elementos consumidores de potência, acessórios necessários ao funcionamento do motor (Quadro 4) (MÁRQUEZ, 2012; SCHLOSSER et al. 2019).

Quadro 4 – Acessórios do motor considerados para a determinação da potência

Norma	Acessórios do motor							
	Bomba injetora	Intercooler	Turbocompressor	Filtro de ar	Escapamento	Bomba de água	Radiador	Ventilador
SAE J1995	x	x	x					
ISO 14396	x	x	x	x	x	x		
ECE R24	x	x	x	x	x	x	x	x
DIN 70020	x	x	x	x	x	x	x	x
80/1269/CEE	x	x	x	x	x	x	x	x
97/68/CE	x	x	x	x	x	x		

Fonte: Schlosser et al. (2019).

2.3 ENSAIOS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Ensaio de máquinas agrícolas é obter informações visando avaliar o desempenho destas sob determinadas condições e assim fornecer informações confiáveis para a sua certificação e homologação. A certificação é um processo no qual uma entidade independente avalia se determinado produto atende às normas técnicas e, se há conformidade. Já a homologação, é um procedimento administrativo de oficialização do desempenho da máquina em função de limites de tolerância ou de características mínimas aceitáveis para o seu adequado funcionamento (SCHLOSSER, 1997).

O ensaio de máquinas agrícolas tem como propósito básico informar o consumidor sobre o rendimento de uma máquina, a qualidade do produto, os dados técnicos das máquinas, as características particulares e os dados necessários para a homologação oficial. Todas as análises são realizadas de forma imparcial com a apresentação dos resultados feita de forma padronizada e devidamente organizados em um documento denominado relatório de ensaio. São requisitos fundamentais de um ensaio, a especificidade, comparabilidade, reprodutibilidade e confiabilidade (MIALHE, 1996).

Ademais, os ensaios podem ser conduzidos em três tipos de ambientes: laboratório, campo e dispositivos de simulação (DONALDSON, 1970).

Esses devem ser realizados com o objetivo de levantar informações quantitativas as quais podem ser julgadas segundo uma metodologia pré-estabelecida e padronizada (norma de ensaio). A normalização está a cargo de entidades nacionais como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no Brasil, *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE) nos Estados Unidos e *Asociación Española de Normalización y Certificación* (AENOR) na Espanha. Existem ainda organizações internacionais como a *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD) e a *International Organization for Standardization* (ISO).

Sob o mesmo ponto de vista, os ensaios de máquinas agrícolas quando realizados no âmbito da certificação ou inspeção apenas podem ser conduzidos em centros ou laboratórios devidamente credenciados, os quais devem apresentar imparcialidade, competência e confiabilidade, tanto por parte da instituição como por parte do pessoal utilizado na realização dos ensaios e/ou inspeções (MIALHE, 1996).

Alguns dos principais centros de ensaios são: o *Nebraska Tractor Test Laboratory* (NTTL), nos Estados Unidos; *Estación de Mecánica Agrícola* (EMA), na Espanha; *French Research Institute for Agricultural and Environmental Engineering* (CEMAGREF), na França; *Biomass, Logistics, Technology* (BLT) na Áustria; *DLG Test Center for Technology and Farm Inputs*, na Alemanha; e *Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra* (IMAMOTER), na Itália.

2.3.1 Ensaios de tratores agrícolas

Os procedimentos de teste padrão (ensaios) foram desenvolvidos a fim de fornecer informações que possam ser usadas na comparação de desempenho de várias marcas e modelos de tratores. Desta forma, quando os ensaios são realizados por agências independentes dos fabricantes de tratores a concorrência estabelecida entre os fabricantes tende a promover melhorias no *design* dos produtos (SRIVASTAVA, GOERING e ROHRBACH, 1993).

De acordo com Macmillan (2002), os estudos de desempenho dos tratores agrícolas têm sido práticos e experimentais, além de serem realizados em condições ideais ou semelhantes. Os motores devem ser testados em dinamômetros, por exemplo, e os tratores em superfícies duras, como uma estrada (pista) de concreto ou betume. Segundo o autor, desta forma, pode-se esperar um desempenho parecido entre diferentes tratores de um mesmo modelo, quando operado em condições idênticas, ou de uma marca diferente de trator se forem tomadas medidas apropriadas para quaisquer diferenças, por exemplo, a massa do trator ou a potência. Quando os tratores são testados sob uma mesma superfície ou em uma superfície semelhante o efeito superfície será eliminado e os tratores comparados terão a mesma ordem de classificação obtendo o máximo desempenho ou o melhor possível (MACMILLAN, 2002).

Historicamente, em meados dos anos 60, organizações como a OECD, criaram um grupo de representantes de países interessados em estabelecer procedimentos ou normas (protocolos) (Códigos OECD) para realizar testes, ensaios oficiais, de tratores agrícolas com os quais as características operacionais pudessem ser avaliadas, eliminando tanto quanto possível, os obstáculos técnicos ao comércio internacional de tratores (MÁRQUEZ, 2012).

Uma vez que, à medida que a fabricação e o marketing de tratores se tornaram globais na década de 1980 o mercado internacional passava a ter que lidar com o aumento de produtos de ocasião, máquinas inoperantes, defeituosas, ou de qualidade duvidosa produzidas por fabricantes improvisados e oportunistas obrigando os governos a tomarem medidas visando o controle das máquinas agrícolas produzidas (MIALHE, 1996; SRIVASTAVA, GOERING e ROHRBACH, 1993).

Atualmente, os ensaios de tratores agrícolas são realizados de acordo com protocolos (normas), principalmente os códigos da OECD (Quadro 5). Os códigos padrão da OECD são um conjunto de regras e procedimentos para ensaios oficiais de tratores agrícolas e florestais com o objetivo de facilitar o comércio, atualizando as regras internacionais para certificar os tratores e suas estruturas de proteção (OECD, 2019).

Quadro 5 – Códigos padrão da OECD para ensaios oficiais de tratores agrícolas e florestais

Códigos OECD para ensaios oficiais de tratores	
Código 2	Desempenho dos tratores.
Código 3	Resistência das estruturas de proteção dos tratores <i>standard</i> . (Ensaio Dinâmico)
Código 4	Resistência das estruturas de proteção dos tratores <i>standard</i> . (Ensaio Estático)
Código 5	Medição do ruído na(s) posição(ões) do operador.
Código 6	Resistência das estruturas de proteção contra capotamento montadas na parte frontal de tratores agrícolas e florestais estreitos.
Código 7	Resistência das estruturas de proteção contra capotamento montadas na parte traseira de tratores agrícolas e florestais estreitos.
Código 8	Resistência das estruturas de proteção de tratores de esteira.
Código 9	Resistência das estruturas de proteção de manipuladores telescópicos.
Código 10	Resistência das estruturas de proteção de tratores agrícolas e florestais contra a queda de objetos.

Fonte: Adaptado de OECD (2019).

Hoje, 26 países aderem aos códigos padrão da OECD para o ensaio oficial de desempenho de tratores agrícolas e florestais, incluindo não membros da OECD como a China, Índia, Federação Russa e Sérvia. Destes, aproximadamente 25 apresentam estações ativas de ensaios de tratores agrícolas. Os acordos de reciprocidade com os códigos exigem que, uma vez aprovado oficialmente um relatório de ensaio da OECD, ele seja aceito por todos os países participantes (OECD, 2019).

2.3.2 Código 2 – Código padrão da OECD para ensaios oficiais de desempenho de tratores agrícolas e florestais

O Código 2 é o código padrão da OECD para ensaios oficiais de desempenho de tratores agrícolas e florestais. O procedimento de medida utilizado exige que o motor se encontre montado no trator agrícola e em condições normais de funcionamento, uma vez que é necessário mensurar as perdas de potência que ocorrem devido ao funcionamento ocioso do sistema hidráulico e aquelas derivadas da transmissão de potência e torque do motor à TDP e rodas (MÁRQUEZ, 2012).

Segundo a OECD (2019), os tratores agrícolas e florestais elegíveis para ensaios de desempenho são tratores de rodas com pelo menos dois eixos, ou de esteiras, projetados para efetuar as principais operações de interesse agrícola como tracionar reboques, implementos, ferramentas e máquinas agrícolas e ainda, quando requerido, fornecer a potência necessária para o funcionamento destes em movimento ou parados.

Para que ocorra a aprovação do ensaio pela OECD é necessário que sejam realizados os ensaios obrigatórios de tomada de potência principal e cinco pontos extras para o cálculo de consumo de combustível; de potência hidráulica e força de elevação dos braços do sistema hidráulico; e, de barra de tração e consumo de combustível (tratores sem lastro) (OECD, 2019).

Ademais, o Código 2 da OECD estabelece ensaios opcionais como: taxa adicional de tomada de potência (economia); consumo de reagente durante os ensaios de tomada de potência e de barra de tração; teste de partida a baixa temperatura; testes adicionais da barra de tração; ensaio de dez horas (tratores com lastro); consumo de combustível com cargas variáveis na barra de tração; área de viragem e círculo de viragem; centro de gravidade; frenagem (apenas para tratores de rodas); nível de ruído externo (apenas para tratores de rodas); teste de impermeabilização; e, nível de ruído nas posições de condução (de acordo com o Código 5 da OECD) (OECD, 2019).

De acordo com a OECD (2019), os tratores agrícolas submetidos aos ensaios devem ser novos, retirados da produção em série do fabricante e apresentar todos os aspectos dos modelos de produção estritamente conforme as descrições especificadas pelos fabricantes. Excepcionalmente, são realizados ensaios de um modelo de pré-

produção, restando à estação de ensaio verificar se a produção em série se encontra em conformidade com o trator testado.

Conforme o estabelecido pela OECD (2019), preliminarmente à realização dos ensaios, todos os ajustes necessários devem ser realizados conforme as instruções usuais estabelecidas pelos fabricantes como, por exemplo, os ajustes de carburador (motores ciclo Otto) ou bomba injetora e a configuração do governador do motor, visto que esses ajustes não devem ser alterados durante a realização dos ensaios.

De maneira geral, os ensaios de desempenho dos motores de tratores agrícolas e florestais são realizados através da tomada de potência do trator, caso o fabricante não o permitir ou o projeto e modo de operação a impedir de ser utilizada, o torque e a potência poderão ser obtidos diretamente no volante do motor.

Acresce que alguns requisitos devem ser observados durante a realização dos ensaios. Por exemplo, a temperatura ambiente deve estar entre 16°C e 30°C, a pressão atmosférica não deve ser inferior a 96,6 kPa e a árvore tipo cardânica que liga a tomada de potência ao dinamômetro não deve ter nenhuma angularidade visível. Além disso, os valores de torque e potência devem ser obtidos em bancada dinamométrica, sem correção para perdas de transmissão entre a tomada de potência e o dinamômetro (OECD, 2019).

A apresentação dos resultados é feita de forma padronizada e devidamente organizados em um documento denominado relatório de ensaio, o qual deve apresentar as seguintes curvas: de potência em função da velocidade (indicando a velocidade padrão da TDP); de torque equivalente do virabrequim em função da velocidade (exceto para fluido de transmissão); de consumo de combustível horário e específico em função da velocidade angular do motor; de consumo específico de combustível em função da potência; e, de consumo específico de reagente em função da potência (se aplicável) (OECD, 2019).

Via de regra, o desempenho dos motores dos tratores agrícolas e florestais são analisados através de ensaios de potência máxima, ensaios em carga máxima e velocidade angular variável e ensaios com cargas variadas.

2.3.2.1 Ensaio de potência máxima

Conforme o estabelecido pela OECD (2019), preliminarmente ao ensaio, o trator deve ser submetido a um período de aquecimento suficientemente longo para que a potência se estabilize, o controle do governador do motor deve estar posicionado para potência máxima e o trator deve funcionar pelo período de uma hora (tempo de duração do ensaio). Vale ressaltar que antigamente o período de ensaio estabelecido era de duas horas.

Logo, a potência máxima indicada no relatório de ensaio deve ser a média de pelo menos seis leituras realizadas e distribuídas uniformemente durante o período de uma hora. Caso haja variação de potência maior que 2% da média, o ensaio deve ser repetido, sendo que, se a variação continuar, o desvio deve ser indicado no relatório de ensaio (OECD, 2019).

2.3.2.2 Ensaio em carga máxima e velocidade angular variável

De acordo com a OECD (2019), o consumo de combustível horário, torque e potência são medidos em função da velocidade angular do motor. Para traçar as curvas, o ensaio deve chegar a uma velocidade angular, no mínimo, 15% abaixo da velocidade em que ocorre o torque máximo do motor, ou a uma velocidade angular que seja, pelo menos, 50% da velocidade nominal do motor, qualquer que seja a menor. Contudo, isso está sujeito a quaisquer limitações uma vez que se deve priorizar velocidades seguras tanto para operação do trator como do equipamento.

2.3.2.3 *Ensaio com carga variada*

No ensaio com carga variada, a OECD (2019) estabelece que o controle do governador do motor esteja definido para a potência máxima:

- À velocidade nominal do motor;
- À velocidade padrão de tomada de potência (540 ou 1000 rpm).

Desta forma, o torque, a rotação do motor e o consumo horário de combustível devem ser informados nas seguintes cargas:

- **A**: Torque correspondente à potência máxima disponível na velocidade nominal do motor e na velocidade padrão de tomada de potência;
- **B**: 85% do torque obtido em **A**;
- **C**: 75% do torque obtido em **B**;
- **D**: 50% do torque obtido em **B**;
- **E**: 25% do torque obtido em **B**;
- **F**: Sem carga (com o freio desconectado se o torque residual for maior que 5% do valor medido em **B**).

2.3.2.4 *Ensaio de consumo de combustível*

Os consumos específicos de combustível medidos nos cinco pontos adicionais, juntamente com as curvas de carga total e de controle do governador do motor, permitem avaliar a economia de combustível do trator ensaiado para todos os tipos de operação da TPD, além de permitir a comparação entre diferentes modelos de tratores (OECD, 2019). As operações típicas para esses cinco pontos extras são descritas no Quadro 6, sendo o ponto 1 obtido na velocidade nominal do motor no ensaio principal.

Quadro 6 – Cinco pontos extras para calcular as características de consumo de combustível

Ponto 2	Alta potência na velocidade máx.	Trabalho pesado na barra de tração.
Ponto 3	Alta potência a 90% da velocidade	Trabalho pesado na barra de tração ou na TDP na velocidade padrão.
Ponto 4	Baixa potência a 90% da velocidade	Trabalho leve na TDP ou na barra de tração.
Ponto 5	Alta potência a 60% da velocidade	Trabalho pesado na TDP ou na barra de tração nas velocidades econômicas de TDP ou nas velocidades automáticas do motor, próximo à faixa de operação mais econômica do motor.
Ponto 6	Baixa potência a 60% da velocidade	Trabalho leve na barra de tração ou TDP à velocidades reduzidas.

Fonte: Adaptado do Código 2 da OECD (2019).

2.3.3 Ensaios de tratores agrícolas no Brasil

No Brasil, os ensaios de máquinas agrícolas tiveram início por volta do ano de 1946 na Fazenda Ipanema (Iperó, SP), pertencente ao Ministério da Agricultura, onde se criou uma Estação Experimental e um Centro de Engenharia Rural, posteriormente denominado Centro de Ensaio e Treinamento de Ipanema (CETI). O CETI se destinava ao treinamento de tratoristas e operadores de máquinas, além de oferecer cursos de especialização à Engenheiros Agrônomos sobre mecanização, conservação do solo, topografia, construções rurais, irrigação e drenagem (MILAHE, 1996).

De acordo com Mialhe (1996), com o passar dos anos e de diversos atos governamentais, o CETI passou a ter novas e variadas atribuições principalmente na questão de ensaios de máquinas agrícolas, visando melhorar a seleção de máquinas importadas, evitando a entrada de equipamentos inadequados ou defeituosos no país. Assim sendo, no ano de 1950 foi ensaiada a primeira máquina agrícola, uma ceifadora automotriz da marca Allen.

Novamente, no ano de 1963, ocorreu uma reestruturação dos órgãos do Ministério da Agricultura e o CETI passou a se designar Centro de Ensaio e Treinamento Rural de Ipanema (CENTRI). E, em meados do ano de 1975, passou a ser o Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA), órgão responsável pelos ensaios de máquinas agrícolas e pela continuidade das atividades desenvolvidas pelo CETI/CENTRI, até sua extinção no ano de 1990. Ao longo de 40 anos de história, realizou 1.093 ensaios de equipamentos agrícolas, sendo 511 ensaios específicos de tratores agrícolas de rodas ou esteiras (MIALHE, 1996). Desde então, o Brasil não conta com um centro oficial de ensaios e uma base de dados sobre os tratores fabricados e comercializados no país.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

O presente trabalho foi conduzido nas instalações do laboratório de Agrotecnologia (Agrotec), localizado no Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas (NEMA) do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), cidade de Santa Maria (RS).

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa descritiva visa a observação, identificação, registro e análise de características, fatores ou variáveis que correlacionam fatos, fenômenos ou processos. Procura descobrir a frequência com que um fenômeno ocorre, sua relação e conexão com outros fenômenos, sua natureza e características, através do estudo, análise, registro e interpretação dos fatos sem a interferência do pesquisador (BARROS e LEHFELD, 2007; GIL, 2008; PEROVANO, 2016).

Ademais, abrange aspectos gerais e amplos de um contexto, analisando e identificando as diferentes formas dos fenômenos, sua ordenação e classificação. Deve ter fundamentação teórica e prática para descrever e interpretar os fatos que influenciam o fenômeno estudado (GIL, 1996).

Assim, o presente trabalho trata de uma pesquisa descritiva, procurando expor as características de um determinado fenômeno na medida em que seu objetivo é relatar os principais parâmetros de projeto e desempenho utilizados na concepção dos tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros. Busca, também, compreender a relação entre a forma de aspiração (admissão) de ar e o desempenho dos motores agrícolas, além de verificar a ocorrência de *downsizing* dos motores e a evolução das características construtivas e operacionais dos tratores agrícolas entre os anos de 1993 e 2018.

3.2 AMOSTRAGEM

O presente trabalho foi realizado através da obtenção, processamento e análise de dados provenientes dos relatórios oficiais de ensaios de tratores agrícolas que seguem o Código 2 da OECD e que se encontram disponíveis nos bancos de dados do *Nebraska Tractor Test Laboratory* (NTTL) e da *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD).

O NTTL, localizado na *University of Nebraska-Lincoln* (Lincoln, NE), é a estação de ensaios oficialmente designada pela OECD para a realização de ensaios de tratores agrícolas e florestais fabricados e comercializados nos Estados Unidos. Este apresenta um banco de dados¹ on-line no qual disponibiliza, em formato pdf, os resultados resumidos de todos os ensaios já realizados na estação. Do mesmo modo, a OECD apresenta um banco de dados² on-line no qual dispõe os relatórios resumidos de ensaios de tratores agrícolas realizados por diversas estações de ensaios distribuídas mundialmente. Ambos os bancos de dados disponibilizam os relatórios de forma gratuita e sem restrição de acesso.

O método de amostragem utilizado foi a amostragem não probabilística, por tipicidade ou intencional, que consiste em selecionar um subgrupo da população que, com base nas informações disponíveis possa ser considerado representativo de toda a população. Neste tipo de amostragem ocorre uma escolha deliberada dos elementos da amostra, dependente dos critérios e julgamento do pesquisador (GIL, 2008).

A amostragem foi composta por ensaios completos de tratores agrícolas e florestais, de rodas ou esteiras, realizados segundo o Código 2 da OECD. Os ensaios oficiais completos caracterizam-se pela obrigatoriedade de ensaios de tomada de potência principal e cinco pontos extras para calcular as características de consumo de combustível; de potência hidráulica e força de elevação dos braços do sistema hidráulico; e, de potência da barra de tração e consumo de combustível (tratores sem lastro). Cada relatório apresenta um número de registro em sua estação de ensaio, conseqüentemente

¹ <https://tractortestlab.unl.edu/testreports>.

² https://qdd.oecd.org/subject.aspx?subject=TRACTOR_TEST_RESULTS.

equivalem a um modelo de trator ensaiado, sendo desconsiderados quando duplos (mesmo número de registro) ou incompletos.

Como universo amostral, foram levantados 2.158 relatórios de ensaios realizados entre os anos de 1993 a 2018, dos quais 1.029 são provenientes do banco de dados da OECD e 1.129 do NTTL. Foram amostrados relatórios de ensaios de 62 marcas de tratores agrícolas (Quadro 7), realizados em aproximadamente 26 diferentes estações de ensaios. A coleta e triagem dos relatórios de ensaios ocorreu no período de 27 de março a 17 de abril de 2019 para os ensaios do NTTL, e no período de 10 de abril a 06 de setembro de 2019 para os ensaios da OECD.

Quadro 7 – Marcas de tratores agrícolas presentes nas bases de dados dos relatórios de ensaios da OECD e do NTTL

MARCAS DE TRATORES AGRÍCOLAS ENSAIADOS				
AGCO	DONGFANGHONG	LAMBORGHINI	LANDINI	TAFE
AGCO ALLIS	FARMTRAC	KUBOTA	LG	TAISHAN
BOBCAT	FENDT	GOLDONI	LS MTRON	TONG YANG
BUHLER VERSATILE	FIAT	HHJM	MAHINDRA	TYM
CABELA'S	FIATAGRI	HONGLI	MASSEY FERGUSON	URSUS
CARON	FORD	HUANGHAI	MCCORMICK	VALMET
CASE IH	FOTON	HURLIMANN	NEW HOLLAND	VALPADANA
CATERPILLAR	ESCORTS LIMITED	INTERNATIONAL TRACTORS LIMITED	SHANGHAI NEW HOLLAND	VALTRA
CHALLENGER	FUTIAN OUBAO	JIANGSU	RENAULT	VERSATILE
CLAAS	STEYER	JOHN DEERE	SAME	WHITE
DAEDONG	ZTS	KIOTI	SHANGHAI	XIN HU
DEUTZ-FAHR	KUKJE	SONALIKA	PRONAR	YTO
DONG FENG	-	-	-	ZETOR

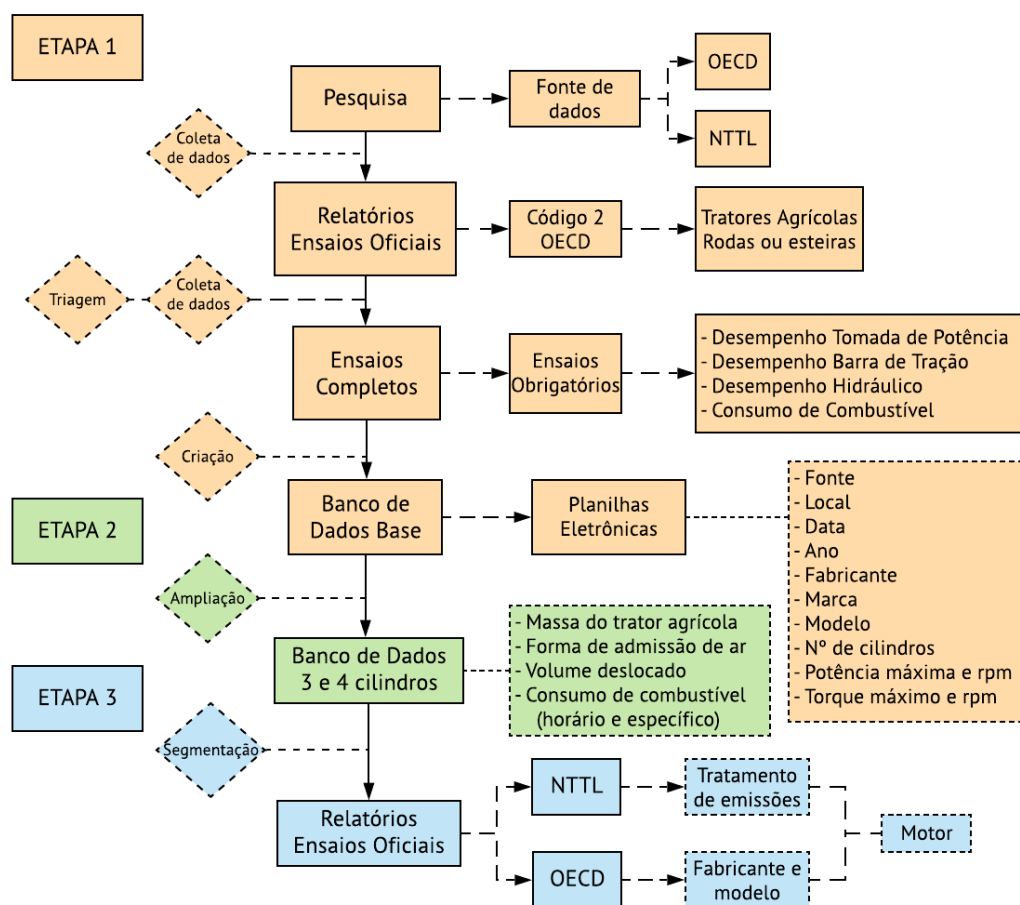
Fonte: Autora.

Para a análise dos parâmetros de projeto e desempenho dos tratores agrícolas foram considerados exclusivamente tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros. Desta forma, a população amostral foi de 888 relatórios oficiais, dos quais 158 correspondem a tratores agrícolas com motores de três cilindros e 730 correspondem a tratores agrícolas com motores de quatro cilindros.

3.3 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

O trabalho foi dividido em 3 etapas (Figura 5). A primeira etapa consistiu na criação do banco de dados base através da pesquisa e compilação dos ensaios já realizados e disponibilizados pelos bancos de dados da OECD (ANEXO A) e do NTTL (ANEXO B). O banco de dados base é composto por planilhas eletrônicas (arquivo Excel®) com as informações gerais dos relatórios de ensaios oficiais como a fonte (NTTL ou OECD), local, data, fabricante, marca, modelo, número de cilindros, potência máxima (kW), rotação de potência máxima (rpm), torque máximo (Nm) e rotação de torque máximo (rpm).

Figura 5 – Figura resumo das principais etapas do processo de criação do banco de dados



Fonte: Autora.

A segunda etapa do trabalho correspondeu à análise específica dos modelos de tratores agrícolas equipados com motores de três e quatro cilindros através da ampliação do banco de dados base com informações detalhadas como a massa (em vazio, sem lastro) do trator agrícola (kg), forma de admissão de ar do motor (natural ou sobrealimentado), volume deslocado (cm^3), consumo horário ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$) e consumo específico ($\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$) de combustível dos motores. Vale ressaltar que as variáveis potência máxima, torque máximo, consumo horário e consumo específico foram retiradas do ensaio de potência máxima.

Já, a terceira etapa refere-se à segmentação do banco de dados por fonte, uma vez que nos relatórios de ensaio provenientes do banco de dados da OECD foram compiladas informações como a marca e modelo do motor e dos relatórios do banco de dados do NTTL o tratamento de emissões presente nos motores dos tratores agrícolas.

As variáveis resposta utilizadas para a análise dos parâmetros de projeto foram a massa dos tratores agrícolas e volume deslocado do motor. Para a análise do desempenho dos motores agrícolas as variáveis resposta foram os valores de potência máxima, torque, consumo horário e consumo específico de combustível.

A análise das características construtivas e de desempenho dos motores dos tratores agrícolas se deu através da combinação entre as variáveis resposta selecionadas, conforme descrito:

- Relação massa (kg) x potência (kW);
- Relação massa (kg) x torque (Nm);
- Relação volume deslocado (cm^3) x potência (kW);
- Relação volume deslocado (cm^3) x torque (Nm);
- Relação volume deslocado (cm^3) x consumo horário de combustível ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$);
- Relação volume deslocado (cm^3) x consumo específico de combustível ($\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$);
- Relação consumo horário de combustível ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$) x volume deslocado (cm^3) x forma de admissão de ar do motor;
- Relação consumo específico de combustível ($\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$) x volume deslocado (cm^3) x forma de admissão de ar do motor;
- Relação potência máxima (kW) x volume deslocado (cm^3) x forma de admissão de ar;
- Relação torque máximo (Nm) x volume deslocado (cm^3) x forma de admissão de ar.

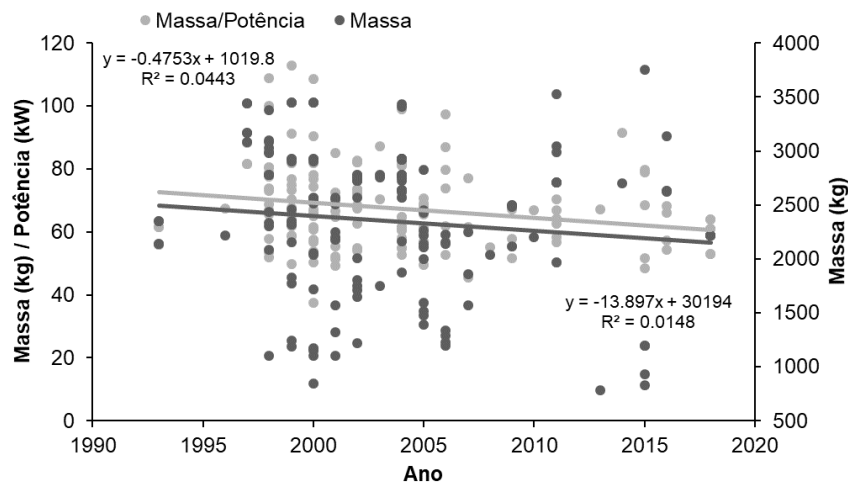
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PARÂMETROS DE PROJETO

4.1.1 Massa dos tratores agrícolas

A Figura 6 apresenta o comportamento da massa (kg) e a relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018. De maneira geral, nota-se que com o passar dos anos os valores tendem a reduzir, de 2.350 kg em 1993 a 2.200 kg em 2018, uma redução de aproximadamente 6,38% na massa dos tratores agrícolas analisados. Para a variável massa foram encontrados os valores: mínimo de 780 kg, máximo de 3.749 kg e valor médio de 2.349 kg. E, para a relação massa/potência o valor médio de $67,57 \text{ kg.kW}^{-1}$.

Figura 6 – Massa (kg) e relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018

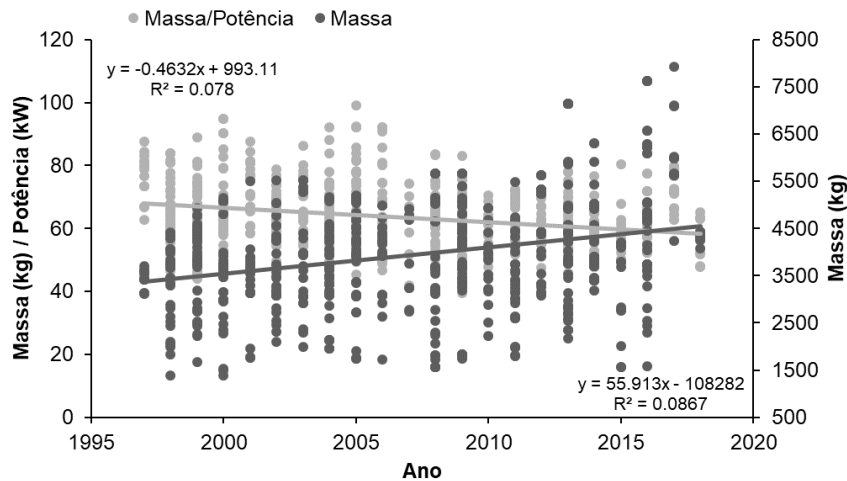


Fonte: Autora.

Entretanto, ao analisar o comportamento da massa para tratores agrícolas com motores de quatro cilindros (Figura 7), observa-se que a tendência é crescente ao longo dos anos, apresentando um crescimento aproximado de 42,66% no período analisado.

Já, a relação massa/potência tende a reduzir e apresenta o valor médio de 63,42 kg.kW⁻¹. Para a variável massa, o valor mínimo encontrado foi de 1.379 kg, valor máximo de 7.926 kg e valor médio de 3.933 kg.

Figura 7 – Massa (kg) e relação massa/potência (kg.kW⁻¹) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018



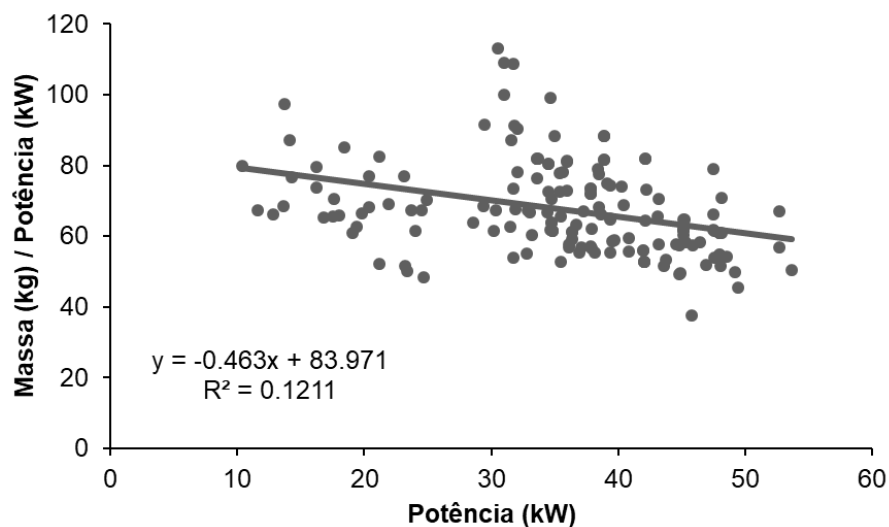
Fonte: Autora.

A Figura 8 mostra o comportamento da relação massa/potência (kg.kW⁻¹) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função da potência (kW), apesar da dispersão dos dados ser grande, coeficiente de determinação (R^2) ser baixo (0,12), pode-se verificar claramente a tendência de decréscimo da relação massa/potência com o aumento da potência, visto que essa curva não trata de ajustar os valores de massa/potência, mas de estabelecer uma tendência para comparar os valores de cada modelo de trator ensaiado, localizando-os acima ou abaixo da média.

Conforme Laperuta Filho et al. (1989), Márquez (1990), Renius (1994) e Schlosser et al. (2005), em geral, os tratores agrícolas vêm se tornando mais leves, bem como a relação massa/potência vem sendo reduzida, sendo essa redução maior para tratores de potência mais elevada, confirmando a tendência dos resultados encontrados. A redução na massa dos tratores é explicada pelo melhor dimensionamento da parte estrutural dos tratores agrícolas, que elimina materiais desnecessários e reduz os custos de produção.

Ademais, a redução da massa dos tratores agrícolas também pode ser explicada pela substituição de materiais ferrosos, utilizados na confecção de peças e partes constituintes dos tratores agrícolas, por polímeros (termoplásticos e termofixos) e borrachas.

Figura 8 - Comportamento da relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função da potência (kW)

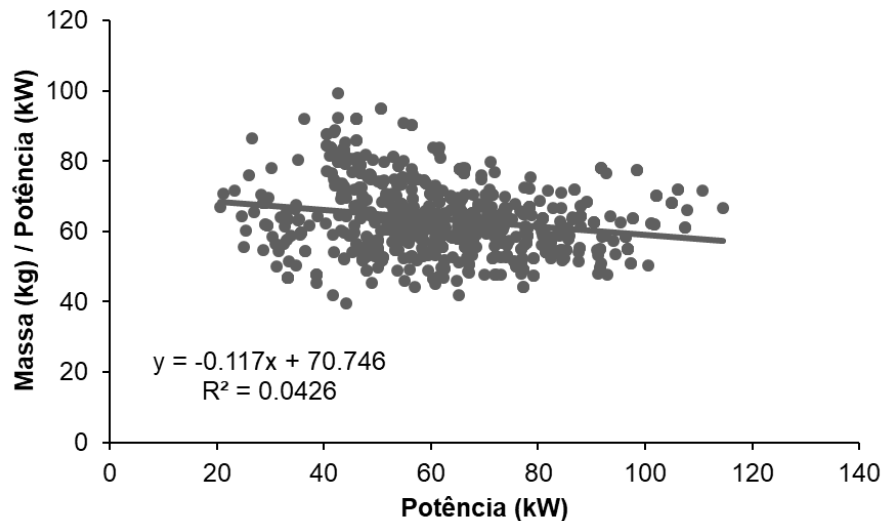


Fonte: Autora.

O mesmo comportamento é observado para os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros, conforme apresentado na Figura 9. A relação massa/potência média diminui quando aumenta a potência dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros. De acordo com trabalho realizado por Estrada et al. (2016), a relação massa/potência dos tratores agrícolas varia em relação à marca (fabricantes), potência e tipo de tração.

Os resultados encontrados nesse trabalho concordam com os obtidos por Renius (1994) que ao avaliar as massas específicas dos tratores com tração nas quatro rodas e cabines da Europa Ocidental, confrontando-os com valores anteriormente publicados por Söhne (1982), averiguou a redução na massa dos tratores agrícolas.

Figura 9 - Comportamento da relação massa/potência (kg.kW^{-1}) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros em função da potência (kW)



Fonte: Autora.

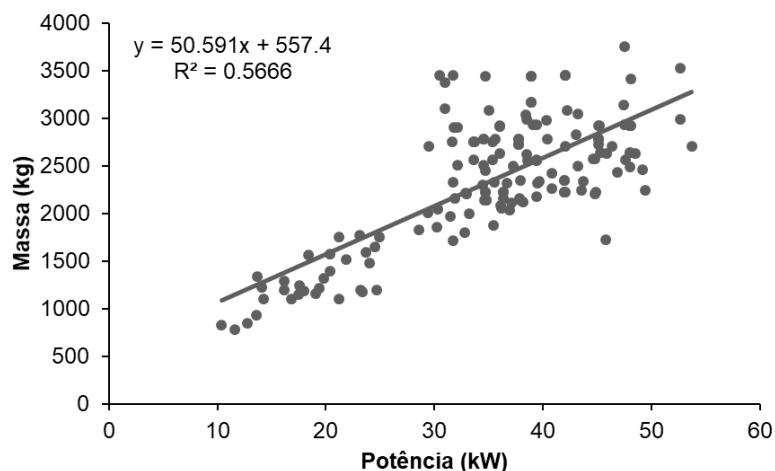
De acordo com Márquez (2012), um trator com alta relação massa/potência (60 kg.kW^{-1} ou mais) é um trator para desempenhar operações com alta exigência de tração e menor velocidade de deslocamento como, por exemplo, arar o solo. Já os tratores com baixa relação massa/potência (35 kg.kW^{-1}) são mais indicados para trabalhos leves, por exemplo, a pulverização, e para trabalhos que podem ser desempenhados em velocidades maiores.

Desta forma, os valores médios de relação massa/potência encontrados nesse trabalho indicam que os tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros analisados apresentam uma alta relação massa/potência, $67,57 \text{ kg.kW}^{-1}$ e $63,42 \text{ kg.kW}^{-1}$ respectivamente, tendendo a reduzi-la no decorrer dos anos.

A redução de massa imprime versatilidade aos tratores agrícolas, entretanto em operações que demandam grande esforço de tração determinam uma alta dependência de lastro (BIONDI, MARAZITI e MONARCA, 1996). Acresce que, o uso racional de lastro metálico e água nos pneus permite que se aumente a massa de tratores leves, porém é impossível eliminar a massa de tratores projetados (concebidos) como pesados (MÁRQUEZ, 2012).

Ademais, é interessante analisar o comportamento da massa dos tratores agrícolas de acordo com a potência desenvolvida pelos motores. Neste contexto, a Figura 10 demonstra que tratores agrícolas com motores de três cilindros tendem a apresentar potências maiores de acordo com o incremento de suas massas.

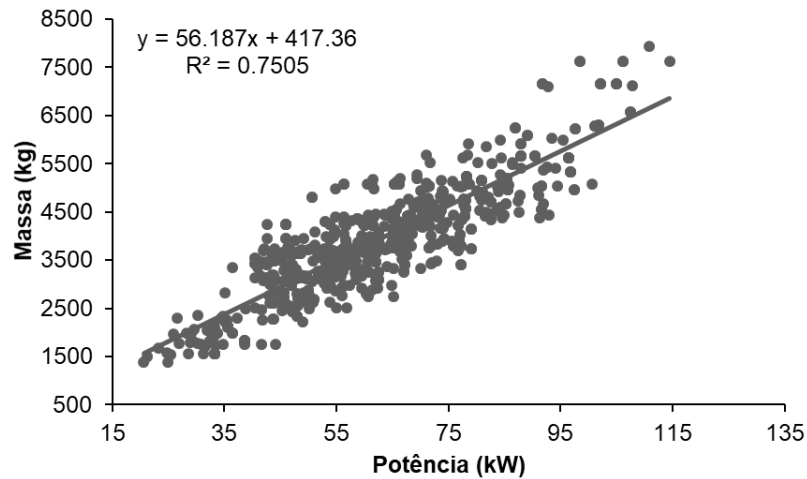
Figura 10 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função da potência (kW)



Fonte: Autora.

O mesmo comportamento é observado nos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros, conforme apresentado na Figura 11. Esse comportamento também foi observado e descrito em trabalho realizado por Schlosser et al. (2005) que ao analisarem a massa dos tratores nacionais em comercialização no Brasil, constataram o aumento da massa dos tratores em função do aumento da potência.

Figura 11 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros em função da potência (kW)



Fonte: Autora.

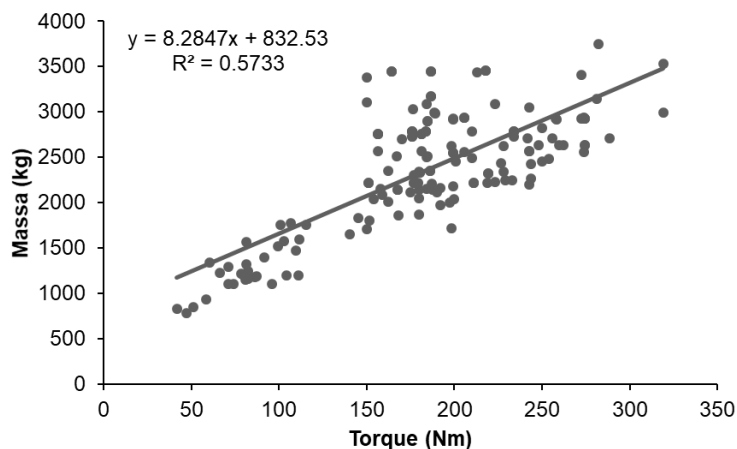
Segundo Monteiro, Lanças e Masiero (2009), a adição de massa ao trator, obedecendo aos critérios de razão massa/potência, traz melhorias em termos de capacidade operacional. Para diferentes modelos de tratores, o rendimento médio na barra de tração pode variar dependendo da relação entre massa e potência do motor (MONTEIRO, LANÇAS e GUERRA, 2011).

Portanto, o projeto de tratores agrícolas mais leves deve ser acompanhado por carga adequada, fácil adição de lastro e pelo princípio de transferência de massa (peso) trator/implemento (RENIUS, 1994).

A tendência dos resultados de torque é similar a encontrada para a potência, visto que a potência é calculada a partir dos valores de torque obtidos pela bancada dinamométrica. Assim, posto que, o aumento da potência também influi no aumento da massa dos tratores agrícolas, o mesmo comportamento pode ser observado para o torque dos motores.

Conforme apresentado na Figura 12, apesar da dispersão dos dados e R^2 ser baixo (0,57), pode-se verificar a tendência crescente do torque dos tratores agrícolas com motores de três cilindros conforme o aumento da massa dos tratores.

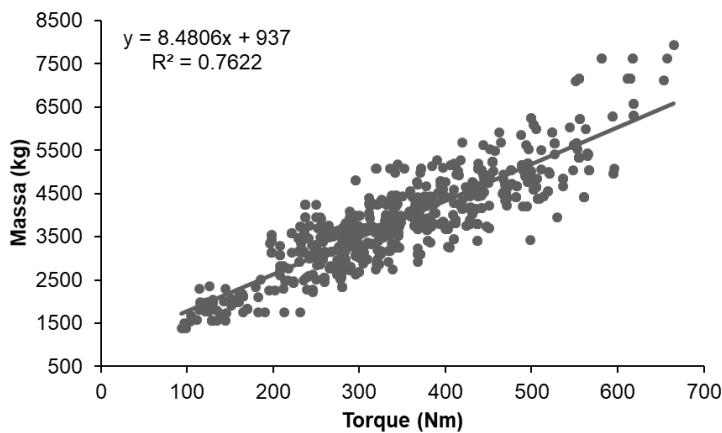
Figura 12 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função do torque (Nm)



Fonte: Autora.

De forma semelhante ao observado para os tratores agrícolas com motores de três cilindros, a Figura 13 apresenta o comportamento da massa dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros em função do torque, indicando que o torque dos motores dos tratores agrícolas aumenta proporcionalmente ao aumento da massa dos tratores.

Figura 13 – Comportamento da massa (kg) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros em função do torque (Nm)



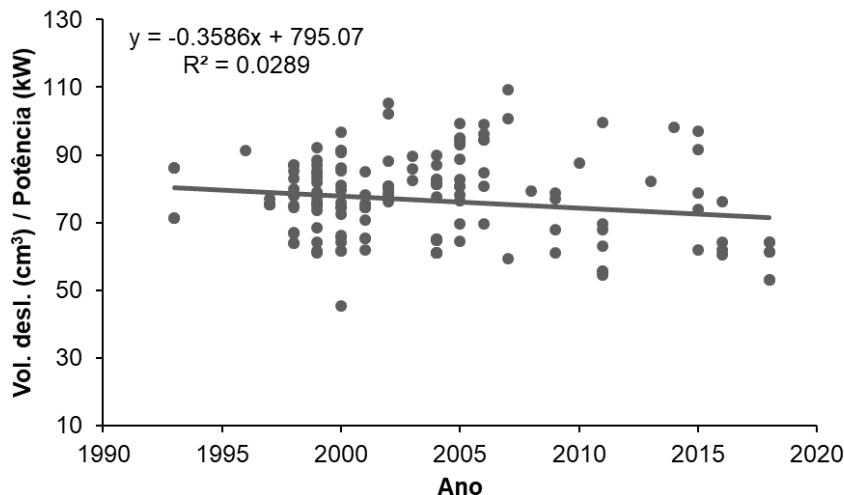
Fonte: Autora.

4.1.2 Volume deslocado

A Figura 14 demonstra o comportamento da relação volume deslocado/potência ($\text{cm}^3.\text{kW}^{-1}$) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018, observa-se que esta relação apresenta tendência linear decrescente ao longo dos anos. Os tratores agrícolas com motores de três cilindros apresentam valor médio de $76,60 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$, variando entre o valor mínimo de $45,46 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$ e o valor máximo de $109,31 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$. Observa-se uma redução em aproximadamente 25,76% do volume deslocado (cm^3) necessário para produzir um quilowatt de potência entre os anos de 1993 e 2018.

Ao analisar o volume deslocado (cm^3) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros observa-se o valor médio de 2.626 cm^3 , variando entre o valor mínimo de 927 cm^3 e o valor máximo de 3.300 cm^3 . Logo, a cilindrada unitária média é de 875 cm^3 .

Figura 14 – Comportamento da relação volume deslocado/potência ($\text{cm}^3.\text{kW}^{-1}$) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018



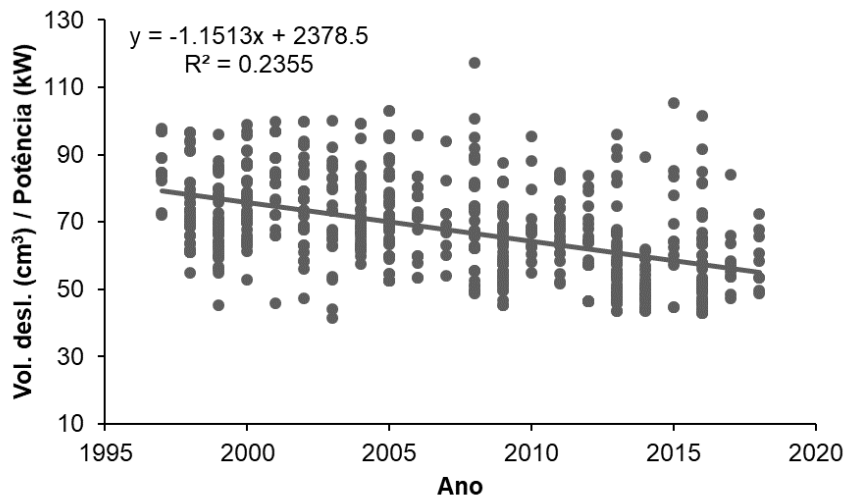
Fonte: Autora.

O mesmo comportamento decrescente da relação volume deslocado/potência ($\text{cm}^3.\text{kW}^{-1}$) é observado nos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros (Figura

15). Estes apresentam valor médio de $67,77 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$, variando entre o valor mínimo de $41,33 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$ e o valor máximo de $117,40 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$. Todavia, a redução do volume deslocado (cm^3) necessário para produzir um quilowatt de potência se deu em maior taxa, de $97,60 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$ em 1997 a $48,71 \text{ cm}^3.\text{kW}^{-1}$ em 2018, ou seja, 50,09%, para os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros.

Já, o volume deslocado médio é de 4.051 cm^3 , valor mínimo de 1.500 cm^3 e valor máximo de 6.124 cm^3 . A cilindrada unitária média encontrada para os motores de quatro cilindros foi de 1.012 cm^3 .

Figura 15 – Comportamento da relação volume deslocado/potência ($\text{cm}^3.\text{kW}^{-1}$) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018



Fonte: Autora.

O volume deslocado dos motores dos tratores agrícolas é uma das principais características projetuais que influencia diretamente em seu desempenho. Conforme exposto por Macmillan (2002) e Márquez (2012), o tamanho físico do motor (volume deslocado) é o principal determinante ou limitante no desempenho do trator, uma vez que a sua produção em termos de torque, velocidade angular e potência está diretamente relacionada à quantidade de ar que pode ser aspirado pelo motor e à quantidade de combustível queimado nesse ar.

Portanto, pode-se inferir que a redução da relação volume deslocado/potência ($\text{cm}^3.\text{kW}^{-1}$) dos tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018 é decorrente do aumento da eficiência dos motores em transformar a energia do combustível em energia mecânica, obtendo maiores valores de potência e torque.

4.2 PARÂMETROS DE DESEMPENHO

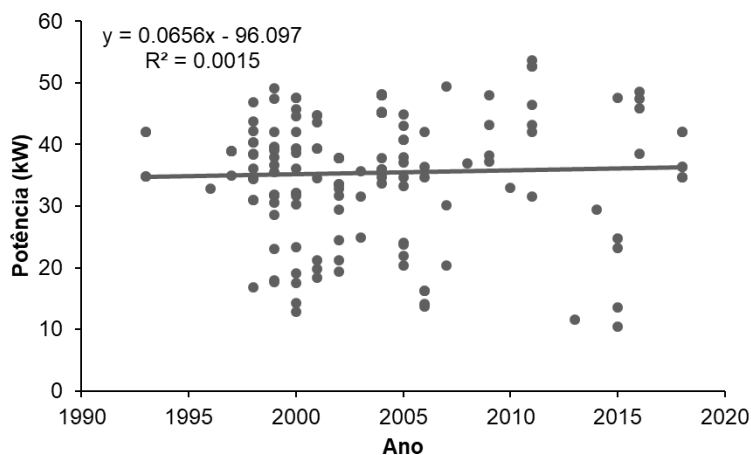
Os tratores agrícolas são resultados direto do avanço tecnológico e do desenvolvimento agrário e econômico, incluindo fonte de energia (combustíveis) e sistemas ambientais (LILJEDAHN et al., 1996). Consequentemente, a imposição de regulamentos estritos sobre emissões de poluentes dos escapamentos dos motores obrigou o setor industrial e os modelos fabricados e comercializados de tratores agrícolas, especialmente os tratores de média e alta potência, a passar por uma reestruturação e readequação (Márquez, 2012).

Em vista disso, as características de funcionamento e desempenho dos motores como o torque, a potência e o consumo de combustível (horário e específico), mudaram consideravelmente ao longo dos anos.

Na maioria das características examinadas, devido a heterogeneidade e grande dispersão dos dados, a regressão linear apresentou um baixo coeficiente de determinação (R^2). Entretanto, o uso de regressão linear se mostrou satisfatório, visto que a intenção não é ajustar os valores das variáveis analisadas, mas de estabelecer uma linha de tendência para comparar os valores obtidos de cada modelo de trator ensaiado, localizando-os acima ou abaixo da média.

Desta forma, ao analisar o comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas entre os anos de 1993 e 2018, observa-se um efeito linear crescente de aproximadamente 20,71% para os tratores com motores de três cilindros (Figura 16). A potência mínima encontrada para esses tratores foi de 10,4 kW, valor máximo de 53,7 kW e o valor médio de 35,42 kW.

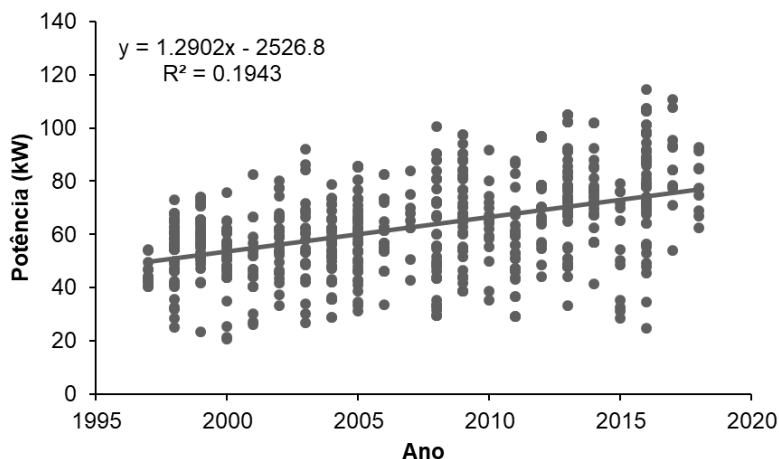
Figura 16 – Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018



Fonte: Autora.

Semelhantemente, os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros apresentam efeito linear crescente da potência entre os anos de 1993 e 2018 (Figura 17). Todavia, esse aumento da potência se deu em maior taxa, de 40,5 kW em 1997 a 92,89 kW em 2018, ou seja, um fator de 2,29 durante o período avaliado. O valor mínimo de potência encontrado para os tratores analisados foi de 20,6 kW, valor máximo de 114,5 kW e o valor médio de 62,57 kW.

Figura 17 - Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018

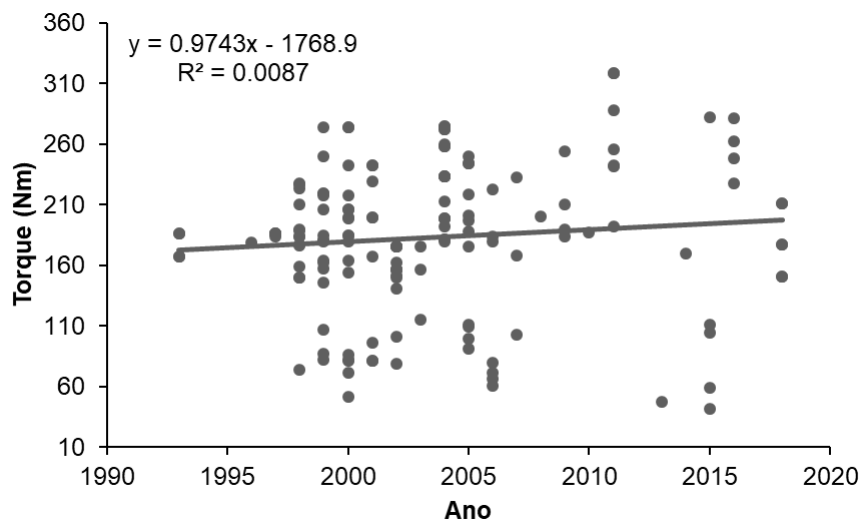


Fonte: Autora.

Os resultados encontrados nesse trabalho concordam com Biondi, Maraziti e Monarca (1996), que avaliando o progresso tecnológico das colhedoras e dos tratores agrícolas entre os anos de 1960 a 1989, com base nos dados italianos de homologação, encontraram que a potência dos tratores agrícolas aumentou, de 28 para 51 kW, ou seja, um fator de 1,8 durante o período avaliado.

Para a variável torque (Nm), os tratores agrícolas com motores de três cilindros apresentaram o valor mínimo de 41,7 Nm, valor máximo de 319 Nm e valor médio de 183,1 Nm, com tendência linear crescente conforme apresentado pela Figura 18.

Figura 18 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018

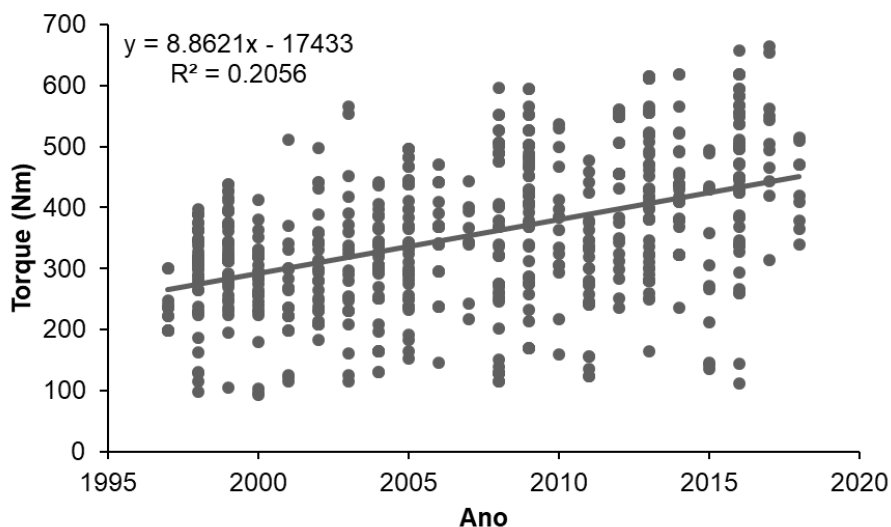


Fonte: Autora.

Ao analisar a Figura 19 pode-se inferir que o torque dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros apresenta comportamento linear crescente entre os anos de 1993 e 2018, tendo como valor mínimo de torque 93,6 Nm, valor máximo de 665 Nm e valor médio encontrado de 353,24 Nm.

Portanto, de maneira geral, observa-se um incremento de 25,89% no torque desempenhado pelos tratores agrícolas com motores de três cilindros, e de 158,94% no torque dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros, entre os anos de 1993 e 2018.

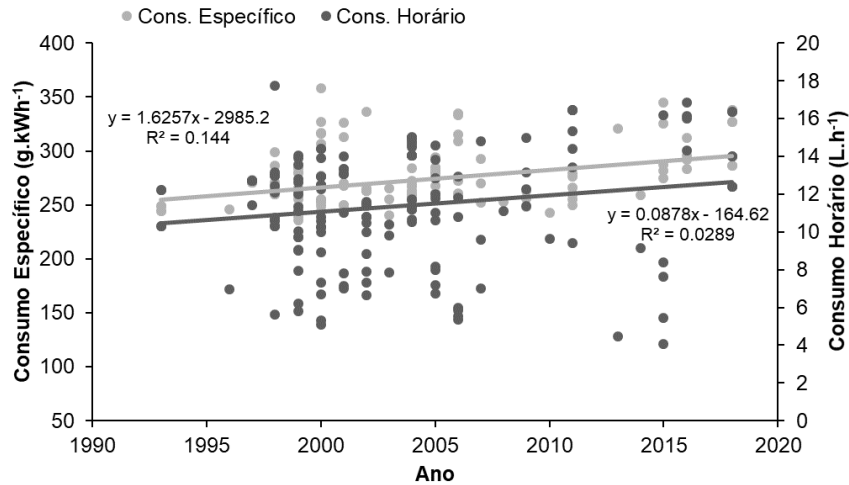
Figura 19 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018



Fonte: Autora.

As variáveis consumo específico (g.kWh^{-1}) e consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para os tratores agrícolas com motores de três cilindros apresentaram tendência linear crescente ao serem analisadas entre os anos de 1993 e 2018 (Figura 20). O consumo específico mínimo encontrado foi de 232 g.kWh^{-1} , o valor máximo foi de 358 g.kWh^{-1} e o valor médio foi de $272,07 \text{ g.kWh}^{-1}$. Pode-se inferir que o consumo específico de combustível teve um aumento de aproximadamente 38% durante o período avaliado. Já, para o consumo horário de combustível o valor mínimo correspondente foi de $4,5 \text{ L.h}^{-1}$, o valor máximo foi de $17,72 \text{ L.h}^{-1}$ e o valor médio de $11,37 \text{ L.h}^{-1}$.

Figura 20 – Consumo específico (g.kWh^{-1}) e consumo horário (L.h^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores de três cilindros entre os anos de 1993 e 2018

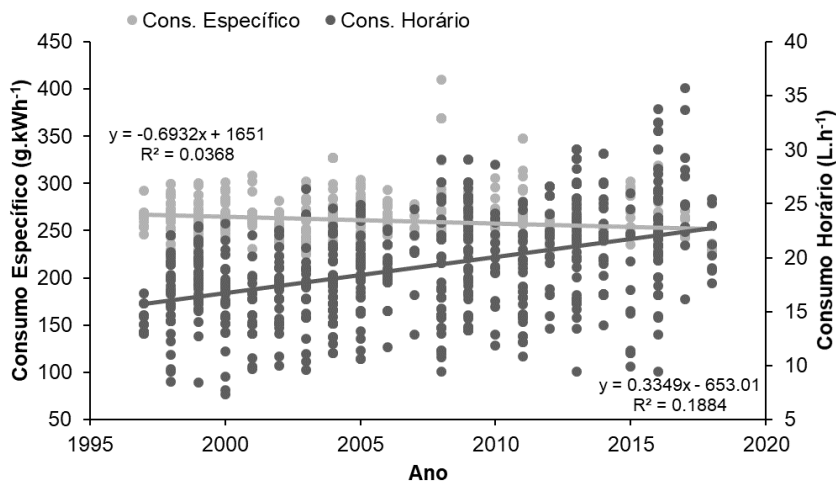


Fonte: Autora.

Pode-se observar na Figura 21 que, de forma geral, o consumo específico (g.kWh^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros apresenta tendência decrescente ao longo dos anos, diferindo do consumo horário (L.h^{-1}) o qual tende a aumentar. Porquanto, pode-se inferir que o consumo específico de combustível teve uma redução de aproximadamente 22,26% durante o período avaliado.

O consumo específico mínimo encontrado foi de 222 g.kWh^{-1} , o valor máximo foi de 410 g.kWh^{-1} e o valor médio foi de $259,71 \text{ g.kWh}^{-1}$. Já, para o consumo horário de combustível o valor mínimo correspondente foi de $7,35 \text{ L.h}^{-1}$, o valor máximo foi de $35,72 \text{ L.h}^{-1}$ e o valor médio de $19,08 \text{ L.h}^{-1}$.

Figura 21 - Consumo específico (g.kWh^{-1}) e consumo horário (L.h^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros entre os anos de 1993 e 2018



Fonte: Autora.

Assim sendo, os parâmetros de desempenho do motor e as características funcionais que foram examinadas confirmam a evolução dos motores dos tratores agrícolas quanto a eficiência e melhoria geral entre os anos de 1993 e 2018.

De acordo com Biondi, Maraziti e Monarca (1996), essa evolução contínua se deve ao progresso da tecnologia, mas, na análise final, é o mercado que desempenha a função de seleção natural por competição e permanência dos mais adequados, uma vez que em um mercado competitivo, a inovação tecnológica é a principal ferramenta de sobrevivência.

4.2.1 Admissão de ar x parâmetros de desempenho dos motores

Os tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros foram confrontados entre si e tiveram seus parâmetros de desempenho analisados de acordo com a forma de aspiração (admissão) de ar presente nos motores. Desta forma, dos 158 modelos de tratores agrícolas com motores de três cilindros analisados, 61% apresentam motores de aspiração natural de ar e 39% apresentam motores sobrealimentados.

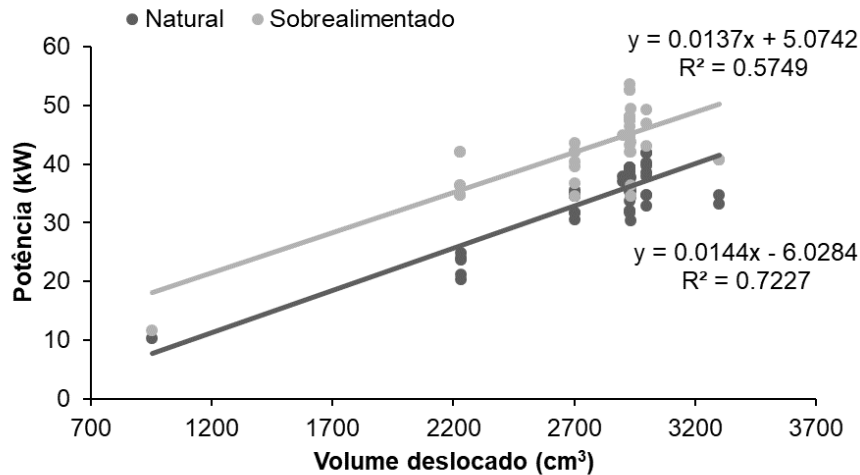
Para melhor análise da influência que a forma de admissão de ar presente nos motores dos tratores agrícolas exerce sobre os parâmetros de desempenho dos mesmos, realizou-se a comparação entre os modelos de tratores agrícolas que apresentam o mesmo volume deslocado do motor (cm^3), reduzindo a população amostral para 56 modelos de tratores agrícolas com motores de aspiração natural de ar e 51 modelos de tratores agrícolas com motores sobrealimentados.

Ao analisar o comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (Figura 22) observa-se que a sobrealimentação dos motores gera maior potência para os mesmos volumes deslocados.

A partir da análise dos dados, foi constatado que os motores de aspiração natural apresentaram valor médio de 34,66 kW de potência, variando entre o valor mínimo de 10,4 kW e o valor máximo de 42 kW. Já os motores com sobrealimentação apresentaram um valor médio de 43,19 kW de potência, valor mínimo de 11,6 kW e valor máximo de 53,7 kW. Dessa forma, pode-se afirmar, de maneira geral, que o uso de sobrealimentação em motores de três cilindros resultou em um aumento de 24,61% no valor médio de potência obtida.

Constatou-se que o uso de sobrealimentação nos tratores agrícolas com motores de três cilindros é mais frequente a partir de 2.100 cm^3 de volume deslocado, abaixo desse valor foram encontrados, salvo exceções, apenas motores com aspiração natural de ar.

Figura 22 – Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm³)



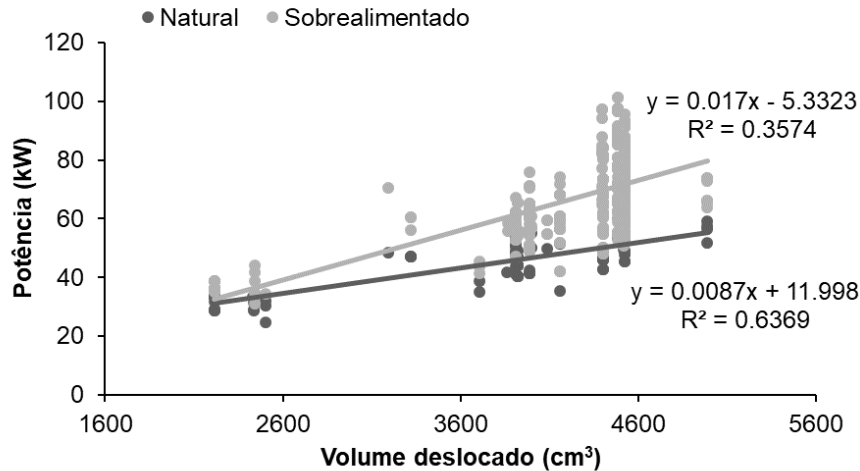
Fonte: Autora.

Em relação aos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros, dos 730 modelos analisados, 22% apresentam motores de aspiração natural de ar e 78% motores sobrealimentados. Para a análise foram considerados apenas os modelos de tratores agrícolas com os mesmos valores de volume deslocado do motor (cm³), reduzindo a população amostral para 103 modelos de tratores agrícolas com motores de aspiração natural de ar e 442 modelos de tratores agrícolas com motores sobrealimentados.

O uso da sobrealimentação nos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros causa um efeito linear crescente na potência em comparação com os motores de aspiração natural (Figura 23). Os valores de potência encontrados para os motores de aspiração natural variam entre o valor mínimo de 24,7 kW e o valor máximo de 60,8 kW, sendo o valor médio encontrado de 45,31 kW de potência. Os valores de potência encontrados para os motores sobrealimentados variam entre o valor mínimo de 31,01 kW e o valor máximo de 101,1 kW, sendo o valor médio encontrado de 67,24 kW de potência.

Portanto, de acordo com os resultados encontrados, a sobrealimentação dos motores de quatro cilindros, de maneira geral, resultou em um incremento de 48,39% na potência dos motores.

Figura 23 – Comportamento da potência (kW) dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm³)



Fonte: Autora.

Segundo Márquez (2012), a sobrealimentação de motores permite introduzir nos cilindros uma massa de ar superior à obtida com a aspiração natural, o que possibilita obter maior potência com o mesmo volume deslocado (cm³). Pode se obter uma pressão de entrada de ar de pouco mais de 1,6 bar, o que, em termos de potência, significa um aumento de 15% em relação a potência de um motor com aspiração natural, justificando os dados encontrados nesse trabalho.

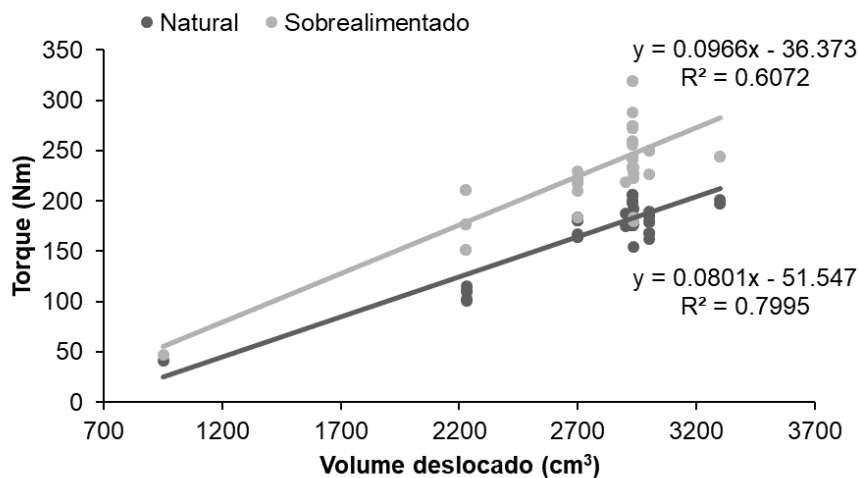
Farias et al. (2017), ao estudarem o torque, a potência, o consumo específico e a eficiência térmica de um motor agrícola alterando as configurações do sistema de suprimento de ar e combustível, concluíram que a sobrealimentação do motor, quando comparado à sua configuração original, fornece um aumento significativo de potência e torque, corroborando com os dados obtidos nesse trabalho.

Além disso, a tendência dos resultados de torque é similar a encontrada para a potência, visto que a potência é calculada a partir dos valores de torque obtidos pela bancada dinamométrica. Assim, os valores de torque encontrados para os tratores agrícolas com motores de três cilindros e aspiração natural variam entre o valor mínimo de 41,7 Nm e o valor máximo de 205,9 Nm, sendo o valor médio encontrado de 174,84 Nm. Os valores de torque encontrados para os motores sobrealimentados variam entre

o valor mínimo de 47,1 Nm e o valor máximo de 319 Nm, sendo o valor médio encontrado de 233,29 Nm.

Portanto, conforme demonstrado na Figura 24, a sobrealimentação dos motores de três cilindros gerou um acréscimo de 33,43% no torque médio desenvolvido pelos motores.

Figura 24 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3)



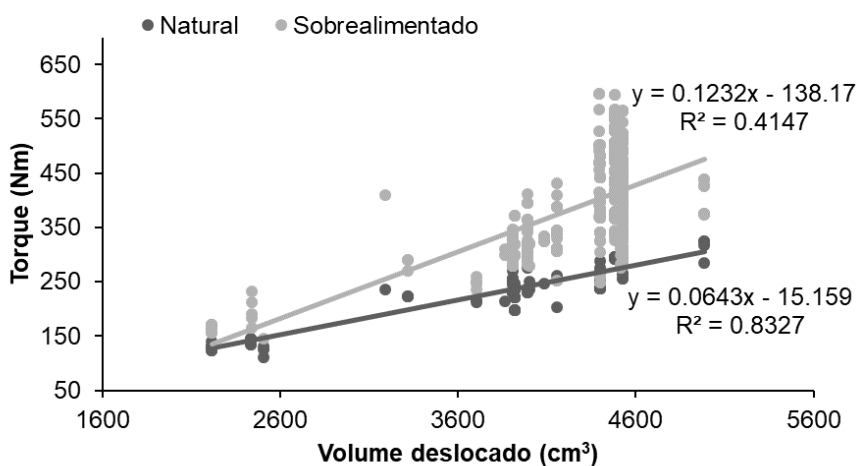
Fonte: Autora.

Ao analisar a Figura 25 pode-se inferir que o torque dos tratores com motores de quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado apresenta comportamento linear crescente. Nota-se que através da sobrealimentação do motor foram obtidos os maiores valores de torque para os mesmos volumes deslocados pelo motor.

Os valores de torque encontrados para os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros e aspiração natural variam entre o valor mínimo de 111,4 Nm e o valor máximo de 324,7 Nm, sendo o valor médio encontrado de 231 Nm. Os valores de torque encontrados para os motores sobrealimentados variam entre o valor mínimo de 144,6 Nm e o valor máximo de 595,40 Nm, sendo o valor médio encontrado de 387,28 Nm.

Porquanto, a sobrealimentação dos motores de quatro cilindros resultou em um aumento de 67,65% no torque médio obtido.

Figura 25 – Comportamento do torque (Nm) dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3)



Fonte: Autora.

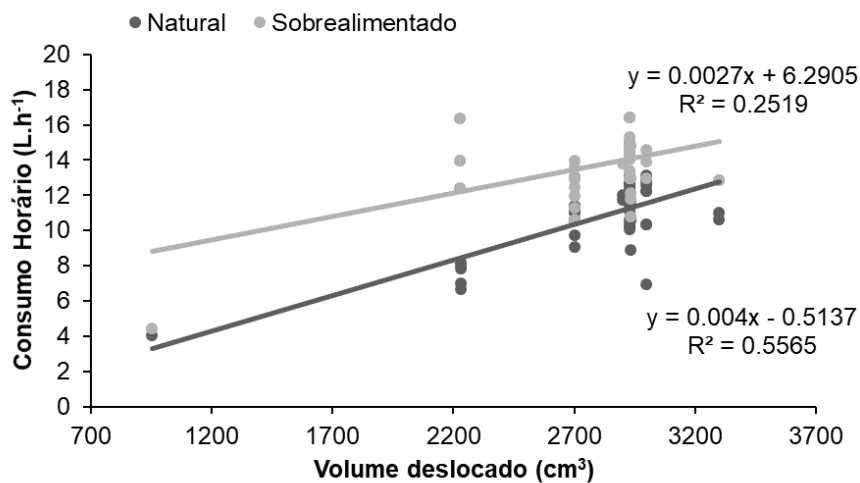
Vale ressaltar que, o aumento do torque e da potência do motor está diretamente relacionado à quantidade de combustível injetado no interior do cilindro dos motores (MIALHE, 1996). Desta forma, o consumo de combustível horário é crescente tanto para os motores sobrealimentados de três cilindros (Figura 26) como para os motores sobrealimentados de quatro cilindros (Figura 27).

Uma vez que, para obter ganhos significativos de potência no motor, além de aumentar a massa de ar inserida no cilindro, também é necessário aumentar o volume de combustível injetado a fim de se obter melhor relação estequiométrica da combustão e aumento da eficiência térmica.

Os valores de consumo horário ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$) de combustível encontrados para os tratores agrícolas com motores de três cilindros e aspiração natural variam entre o valor mínimo de $4,05 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ e o valor máximo de $13,15 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, sendo o valor médio encontrado de $10,86 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. Os valores de consumo horário encontrados para os motores sobrealimentados

variam entre o valor mínimo de 4,45 L.h⁻¹ e o valor máximo de 16,44 L.h⁻¹, sendo o valor médio encontrado de 13,69 L.h⁻¹, o que gera um aumento de 26,05% no valor médio de consumo horário de combustível quando comparado aos motores de três cilindros e aspiração natural de ar.

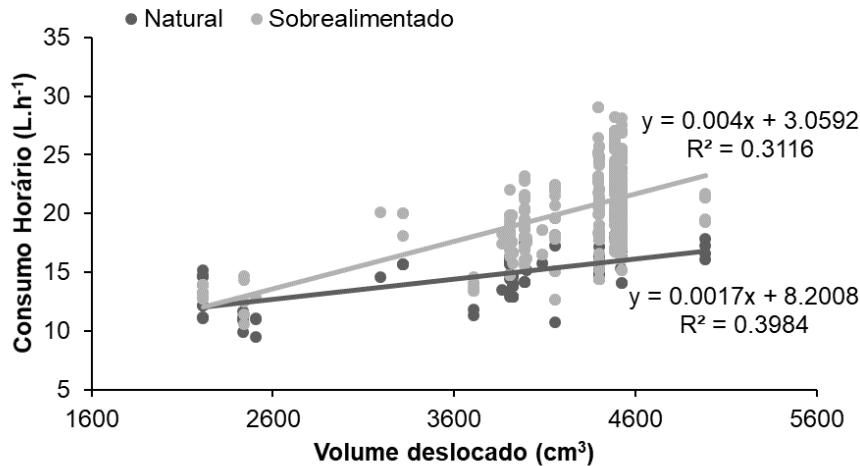
Figura 26 – Comportamento do consumo horário (L.h⁻¹) de combustível dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm³)



Fonte: Autora.

Já, os valores de consumo horário (L.h⁻¹) de combustível encontrados para os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros e aspiração natural, conforme apresentado na Figura 27, variam entre o valor mínimo de 9,46 L.h⁻¹ e o valor máximo de 18,21 L.h⁻¹, sendo o valor médio encontrado de 14,81 L.h⁻¹. Os valores de consumo horário de combustível (L.h⁻¹) encontrados para os motores sobrealimentados variam entre o valor mínimo de 10,58 L.h⁻¹ e o valor máximo de 29,07 L.h⁻¹, sendo o valor médio encontrado de 20,32 L.h⁻¹, o que gera um aumento de 37,20% no valor médio de consumo horário quando comparado aos motores de quatro cilindros de aspiração natural.

Figura 27 – Comportamento do consumo horário ($L \cdot h^{-1}$) de combustível dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3)



Fonte: Autora.

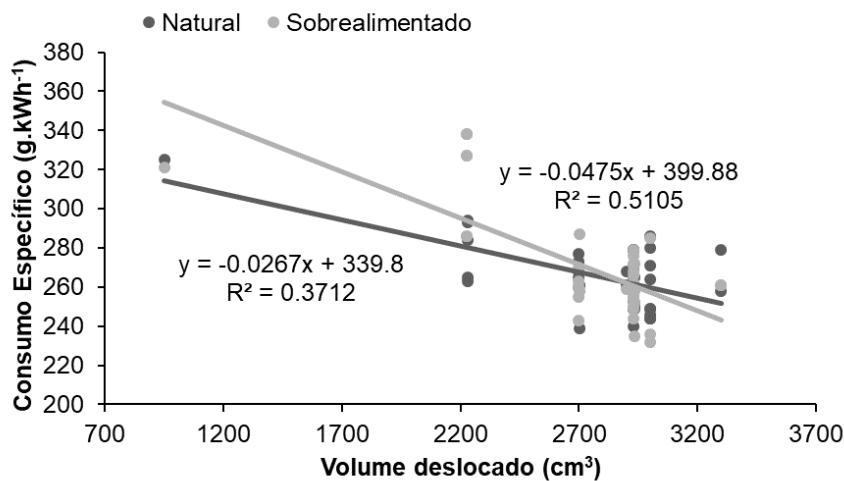
O consumo específico ($g \cdot kWh^{-1}$) de combustível, embora varie de acordo com o ponto de operação do motor considerado, serve para mostrar a eficiência de um motor (MÁRQUEZ, 2012). Ou seja, o ponto de consumo específico mínimo é o ponto em que ocorre o máximo rendimento termomecânico e, conseqüentemente, as condições operacionais ideais em termos de rotação e torque para o motor (MIALHE, 1996).

Desta forma, ao analisar o comportamento do consumo específico de combustível dos tratores agrícolas com motores de três cilindros em função da forma de admissão do ar e do volume deslocado (Figura 28), observa-se que ele reduz a medida que o volume deslocado do motor aumenta.

Os valores de consumo específico ($g \cdot kWh^{-1}$) de combustível encontrados para os tratores agrícolas com motores de três cilindros e aspiração natural, conforme apresentado na Figura 28, variam entre o valor mínimo de $239 g \cdot kWh^{-1}$ e o valor máximo de $325 g \cdot kWh^{-1}$, sendo o valor médio encontrado de $264,45 g \cdot kWh^{-1}$. E, os valores de consumo específico de combustível encontrados para os motores sobrealimentados variam entre o valor mínimo de $232 g \cdot kWh^{-1}$ e o valor máximo de $338 g \cdot kWh^{-1}$, sendo o valor médio encontrado de $267,41 g \cdot kWh^{-1}$.

Entretanto, ao comparar a influência que a forma de admissão de ar exerce sobre o consumo específico de combustível observa-se que a sobrealimentação dos tratores agrícolas com motores de três cilindros resultou no aumento do consumo específico em 1,11% quando comparados aos motores de aspiração natural.

Figura 28 – Comportamento do consumo específico (g.kWh^{-1}) de combustível dos tratores agrícolas com motores três cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm^3)



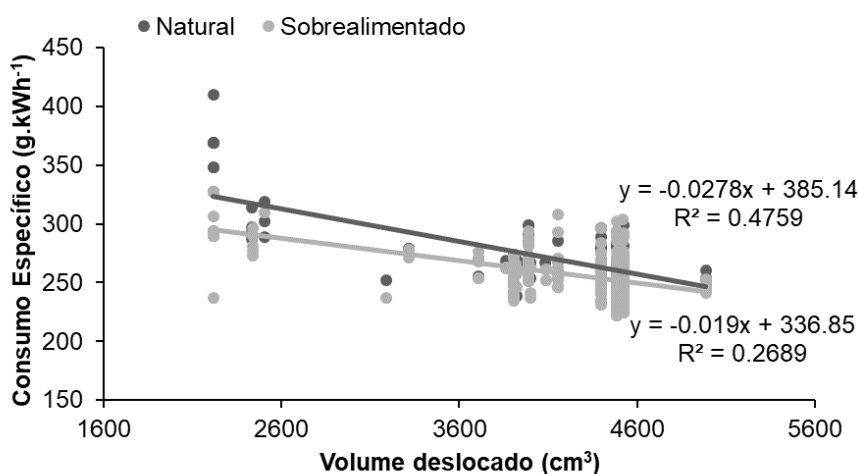
Fonte: Autora.

Já, os valores de consumo específico de combustível encontrados para os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros e aspiração natural, conforme apresentado na Figura 29, variam entre o valor mínimo de 239 g.kWh^{-1} e o valor máximo de 410 g.kWh^{-1} , sendo o valor médio encontrado de $278,72 \text{ g.kWh}^{-1}$. Já, os valores de consumo específico de combustível encontrados para os motores sobrealimentados variam entre o valor mínimo de 222 g.kWh^{-1} e o valor máximo de 327 g.kWh^{-1} , sendo o valor médio encontrado de $256,05 \text{ g.kWh}^{-1}$, o que gera uma redução de 8,13% no valor médio de consumo específico de combustível quando comparado aos motores de quatro cilindros e aspiração natural de ar.

Levando-se em conta os valores de consumo específico encontrados nesse trabalho foi identificado valores elevados divergindo dos resultados apresentados por

Márquez (2012), que estabelece para o consumo específico mínimo de combustível dos tratores agrícolas valores de 230 a 250 g.kWh⁻¹.

Figura 29 – Comportamento do consumo específico (g.kWh⁻¹) de combustível dos tratores agrícolas com motores quatro cilindros em função da forma de admissão de ar e do volume deslocado (cm³)



Fonte: Autora.

De acordo com Karabektas (2009), o aumento da massa de ar no interior do cilindro e a elevação da temperatura garantem a combustão do óleo Diesel injetado, conseqüentemente, melhora a queima da mistura favorecendo o aumento da potência do motor e a redução do consumo específico de combustível.

Mediante o exposto, pode-se inferir que a sobrealimentação dos motores, independentemente do número de cilindros, melhora o desempenho destes fornecendo maior torque e potência para os tratores agrícolas.

4.2.2 *Downsizing* dos motores dos tratores agrícolas

Analisando as variáveis resposta exploradas nesse trabalho pode-se inferir que está ocorrendo o *downsizing* dos motores dos tratores agrícolas. Este fenômeno pode ser explicado pela redução do volume deslocado (cm^3) dos motores dos tratores agrícolas e melhoria da eficiência através do uso de sobrealimentação na admissão de ar dos motores, conforme apresentado nos itens 4.1.2 e 4.2.1 deste trabalho.

O *downsizing* dos motores tem como proposta produzir motores menores, tanto em tamanho quanto em capacidade volumétrica, mas que desenvolvam a mesma potência ou até maior, com mais eficiência e economia, indo ao encontro dos valores e do comportamento dos tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros analisados neste trabalho.

De acordo com Brunetti (2012), através da utilização de quatro válvulas por cilindro, eixo comando de válvulas variável na admissão e/ou escapamento, sobrealimentação e sistemas eletrônicos de gerenciamento de motores (unidade de controle do motor) os fabricantes de tratores agrícolas podem obter maiores valores de torque e potência com os mesmos volumes deslocados possibilitando aumentar o número de tratores fabricados e disponíveis no mercado.

5 CONCLUSÕES

- I. A relação massa/potência dos tratores agrícolas com motores de três e quatro cilindros apresentou comportamento decrescente entre os anos de 1993 e 2018, indicando o aumento da versatilidade dos tratores agrícolas. Já, a massa dos tratores agrícolas com motores de três cilindros apresentou redução de aproximadamente 6,38%, enquanto a massa dos tratores agrícolas com motores de quatro cilindros apresentou crescimento aproximado de 42,66% no período analisado.
- II. A relação volume deslocado/potência apresentou comportamento decrescente entre os anos de 1993 e 2018 tanto para os tratores agrícolas com motores de três cilindros quanto para os tratores agrícolas com motores de quatro cilindros, apresentando essa redução em valores percentuais de 25,76% e 50,09% respectivamente.
- III. Os motores dos tratores agrícolas têm se tornado mais eficientes quanto ao desempenho, obtendo maiores valores de torque e potência e reduzindo o consumo específico de combustível.
- IV. O uso de sobrealimentação nos motores dos tratores agrícolas melhora o desempenho destes fornecendo maior torque e potência para os tratores agrícolas.
- V. O *downsizing* dos motores dos tratores agrícolas de fato ocorre e tende a ser mais difundido entre os fabricantes de tratores agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ARIAS-PAZ, M. **Tractores**. 15 ed. Madrid, España: CIE, S.L. DOSSAT, 2000. 655 p.
- ASAE. American Society of Agricultural Engineer. **SAE S323.2**: Definitions of powered lawn and garden equipment. Standards Engineering Practices Data. 42 ed. St, Joseph, 1995. 826 p.
- ASSIS, A. et al. Downsizing de motores associado ao uso de turbocompressor. In: II JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MOTORES TÉRMICOS Y LUBRICACIÓN, MTL 2016, La Plata/Argentina. **Anais...** La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2016. Disponível em: <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77277>>. Acesso em: 28 nov. 2019.
- BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 3 ed. Pearson Universidades. 2007. 176 p.
- 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.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna: volume 2**. São Paulo: Bluncher, 2012. 485 p.
- DONALDSON, G. F. **Farm machinery testing: scope and purpose in the measurement and evaluation of farm machinery**. 8 Ed. Ottawa: Royal commission on Farm Machinery, 1970. 92 p.
- ECKER, H.; SCHWADERLAPP, M.; GILL, D. K. Downsizing of Diesel Engines: 3-Cylinder/ 4-Cylinder. **SAE Technical Paper Series**: SAE 2000 World Congress, 2000.
- ESTRADA, J. S. **Desempenho e emissões de um motor de trator agrícola operando com misturas de óleo diesel e etanol**. 2015. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- ESTRADA, J. S. et al. Mass of agricultural tractors available in the brazilian Market. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n.8, p. 1390-1394, ago. 2016.
- FARIAS, M. S. **Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando dinamômetro móvel**. 2014. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- FARIAS, M. S et al. Air and fuel supercharge in the performance of a diesel cycle engine. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n.6, 2017.

FILHO, A. G. et al. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 24, n.3, p. 781-789, set./dez. 2004.

FONSECA, C. H. M. **Substituição do óleo Diesel por combustível alternativo na geração de energia elétrica**. 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOERING, C. E. **Engine and Tractor Power**. 3 ed. USA: ASAE, 1992. 539 p.

KARABEKTAS, M. The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel. **Renewable Energy**, v. 34, n.4, p. 989-993, Apr. 2009.

LAPERUTA FILHO, J. et al. Evolução do peso dos tratores agrícolas ensaios no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18., 1989, Recife. **Resumo...** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989. 13 p.

LILJEDAHL, J. B. et al. **Tractor and their power units**. 4th ed. St. Joseph, USA: ASAE, 1996. 463 p.

MACMILLAN, R. H. **The Mechanics of Tractor-Implement Performance: Theory and worked examples**. Melbourne, 2002. 165 p.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización**. Espanha: B&H Grupo Editorial, 2012. 844 p.

MÁRQUEZ, L. **Solo Tractor'90**. Madrid: Laboreo, 1990. 231 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo, SP: EPU/EDUSP, 1980. 289 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 722 p.

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.

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, SP, v. 31, n. 3, p. 551-560, maio/jun. 2011.

NTTL. NEBRASKA TACTOR TEST LABORATORY. **Test Reports**. Lincoln, Nebraska 2019. Disponível em: <<https://tractortestlab.unl.edu/testreports>> Acesso em: 7 fev. 2020.

OECD. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Code 2 – OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance**, Feb. 2019. 101 p. Disponível em:<<https://www.oecd.org/agriculture/tractors/codes/>> Acesso em: 26 jul. 2019.

OECD. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Database for all tractor summary test reports**. Disponível em: <https://qdd.oecd.org/subject.aspx?subject=TRACTOR_TEST_RESULTS>. Acesso em: 7 fev. 2020.

PEROVANO, D. G. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 1 ed. Curitiba, PR: Editora InterSaberes, 2016. 384 p.

PUNOV, P. et al. Progress in High Performances, Low Emissions, and Exergy Recovery in Internal Combustion Engines. **Exergy for a Better Environment and Improved Sustainability 1**. p. 995-1016, 2018.

RENIUS, K. Th. Trends in Tractor Design with Particular Reference to Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 57, p. 3-22, 1994.

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

SCHLOSSER, J. F. et al. Análise comparativa do peso específico de tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n.1, p. 92-97, jan./fev. 2005.

SCHLOSSER, J. F. et al. Anuário de tratores 2019. **Revista Cultivar Máquinas**, v. 03, p. 1-90, 2019.

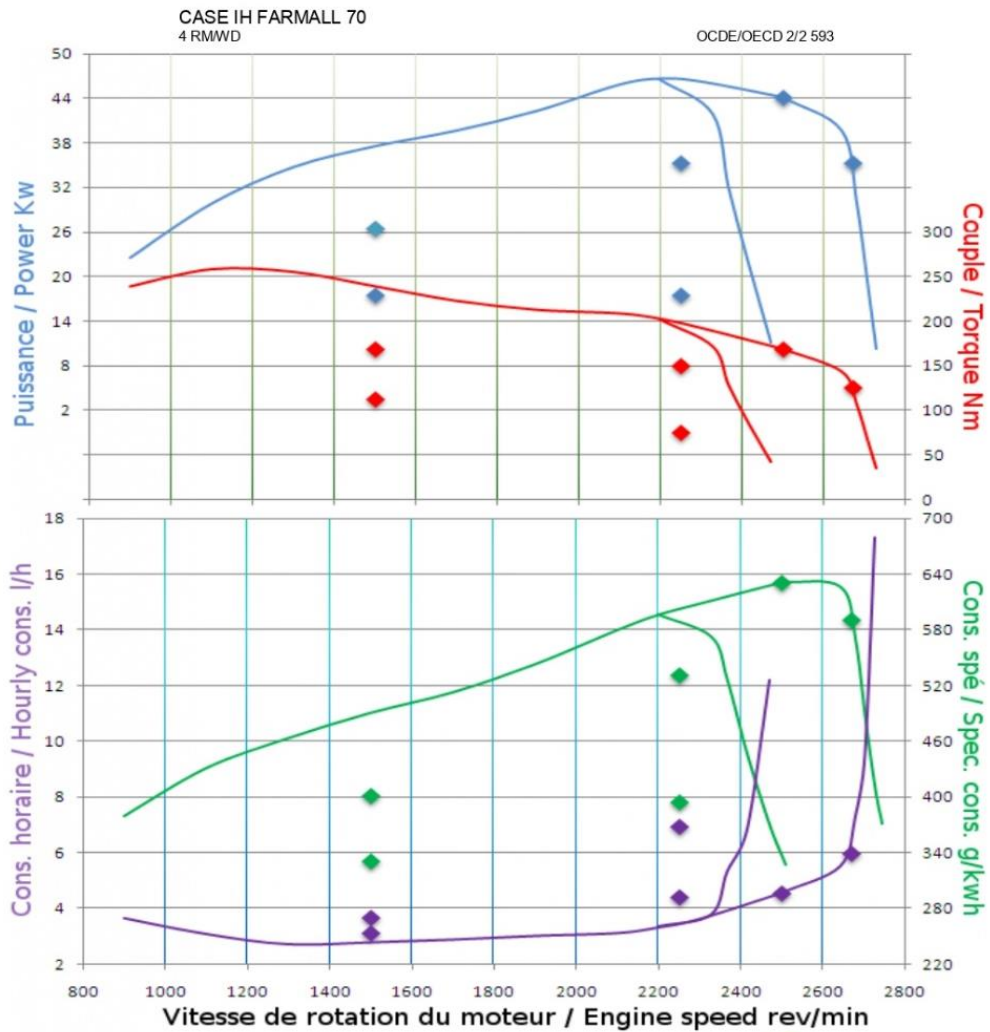
SIMONE, M. E. et al. **El Tractor Agrícola – fundamentos para su selección y uso**. Argentina: Almalevi, 2006. 255 p.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering Principles of Agricultural Machines**. St. Joseph, USA: ASAE, 1993. 601 p.

ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIO DA OECD



OECD approval number 2/2 593
OECD approval date 07/03/2011
Make CASE IH
Model FARMALL 70
Type 4 WD
 mechanical transmission - 30 km/h
Manufacturer: TÜRK TRAKTÖR ve ZIRAAT MAKINALARI A.Ş.
Testing station: TAMTEST, Ankara-TURKIYE



ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT



Engine, Transmission, Power take-off Specifications

<i>Make, Model</i>	IVECO	FPT, F5AE9484M*A
<i>Type, Supercharging</i>	Direct injection	Yes
<i>Cylinders, Disposition</i>	4	vertical in line
<i>Capacity, Cooling</i>	3202 cm ³	Liquid
<i>Gear box</i>		mechanical
<i>Number of forward and reverse speeds</i>		12
<i>Speed at rated engine speed</i>		from 1,80 to 29,70 km/h
<u>Standard Power take-off speed</u>		540 min ⁻¹ 1000 min ⁻¹
<i>Power take-off speed at rated engine speed</i>		614 min ⁻¹ 1050 min ⁻¹
<i>Diameter of the shaft</i>		35 mm 35 mm
<i>Number of splines</i>		6 6

Power take-off Test

<u>One hour test at maximum power</u>			
<i>Power, Engine and Power take-off speed</i>	46,6 kW	2200 min ⁻¹	540 min ⁻¹
<i>Hourly and specific consumption</i>		14,55 l/h	260 g/kWh
<u>Test at maximum power at rated engine speed</u>			
<i>Power, Engine and Power take-off speed</i>	44,1 kW	2500 min ⁻¹	614 min ⁻¹
<i>Hourly and specific consumption</i>		15,72 l/h	297 g/kWh
<u>Test at standard Power take-off speed</u>			
<i>Power, Engine and Power take-off speed</i>	46,6 kW	2200 min ⁻¹	540 min ⁻¹
<i>Hourly and specific consumption</i>		14,55 l/h	260 g/kWh
<u>Torque rise</u>			53,3 %
<u>Maximum torque, Engine speed corresponding</u>		258,20 Nm	1100 min ⁻¹

Drawbar Test

<i>Front tyres, Rear tyres</i>		12.2R24	16.9-30
<u>Test with tractor</u>		<u>Unballasted</u>	<u>Ballasted</u>
<i>Total Mass</i>		3376 kg	
<i>Maximum drawbar pull at speed of</i>		27,13 kN	<i>Not required</i>
<i>Maximum power at speed of</i>		4,46 km/h	
		38,9 kW	
		8,53 km/h	

Hydraulic Performance and Power Lift Test

<i>Hydraulic system</i>			Open center
<u>At maximum hydraulic power</u>			
<i>Flow rate, Pressure, Power (couplers: 1 pair)</i>	51,0 l/min	12,0 MPa	10,2 kW
<i>Flow rate, Pressure, Power (couplers: 2 pairs or +)</i>	58,3 l/min	4,5 MPa	--- kW
<u>Maximum lifting force at the hitch points, at frame</u>		20,9 kN	15,6 kN

ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO DO NTTL

SUMMARY OF OECD TEST 2593 — NEBRASKA SUMMARY 761 CASE IH FARMALL 70 DIESEL 12 SPEED

POWER TAKE-OFF PERFORMANCE

Power HP (kW)	Crank shaft speed rpm	Gal/hr (l/h)	lb/hp hr (kg/kWh)	Hp hr/gal (kWh/l)	Mean Atmospheric Conditions
MAXIMUM POWER AND FUEL CONSUMPTION					
Rated Engine Speed—(PTO speed—614rpm)					
59.1 (44.1)	2500	4.15 (15.72)	0.488 (0.297)	14.23 (2.80)	
Maximum Power—(1 hour)					
62.5 (46.6)	2200	3.85 (14.55)	0.427 (0.260)	16.24 (3.20)	
Standard Power Take-off Speed (540rpm)					
62.5 (46.6)	2200	3.85 (14.55)	0.427 (0.260)	16.24 (3.20)	
VARYING POWER AND FUEL CONSUMPTION					
59.1 (44.1)	2500	4.15 (15.72)	0.488 (0.297)	14.23 (2.80)	Air temperature
53.1 (39.6)	2644	4.10 (15.54)	0.536 (0.326)	12.94 (2.55)	79°F (26°C)
40.3 (30.1)	2680	3.61 (13.65)	0.621 (0.375)	11.17 (2.20)	Relative humidity
27.2 (20.3)	2704	2.87 (10.87)	0.734 (0.446)	9.46 (1.86)	22%
13.7 (10.2)	2728	2.20 (8.34)	1.116 (0.679)	6.22 (1.23)	Barometer
--	2745	1.87 (7.06)	--	--	27.1" Hg (91.9 kPa)
Maximum Torque - 190.4 lb.-ft. (258.2 Nm) at 1100 rpm					
Maximum Torque Rise - 53.3%					
Torque rise at 2000 engine rpm - 25%					

Location of tests: DAEMTC (The Directorate of Agricultural Equipment and Testing Centre) Ankara, Turkey

Dates of tests: October - December 2009.

Manufacturer: Turk Traktor ve Ziraat Mak. A.S. Ankara, Turkey

FUEL and OIL: Fuel No. 2 Diesel Specific gravity converted to 60°/60°F (15°/15°C) 0.834 Fuel weight 6.94 lbs/gal (0.832 kg/l) Oil SAE 15W40 API service classification CH-4 Transmission and hydraulic lubricant Akcela Nexplore fluid Front axle lubricant Akcela Nexplore fluid

ENGINE: Make Iveco Diesel Type four cylinder vertical with turbocharger and air to air intercooler Serial No. 025171 Crankshaft lengthwise Rated engine speed 2500 Bore and stroke 3.898" x 4.094" (99.0 mm x 104.0 mm) Compression ratio 17.0 to 1 Displacement 195 cu in (3202 ml) Starting system 12 volt Lubrication pressure Air cleaner two paper elements and aspirator Oil filter one full flow cartridge Oil cooler engine coolant heat exchanger for crankcase oil, radiator for hydraulic and transmission oil Fuel filter one paper element Muffler underhood Exhaust vertical Cooling medium temperature control thermostat and variable speed fan

CHASSIS: Type front wheel assist Serial No. Z8JP53368 Tread width rear 56.7" (1440 mm) to 76.0" (1930 mm) front 56.3" (1430 mm) to 76.0" (1930 mm) Wheelbase 87.6" (2225 mm) Hydraulic control system direct engine drive Transmission selective gear fixed ratio Nominal travel speeds mph (km/h) first 1.12 (1.80) second 1.72 (2.77) third 2.34 (3.77) fourth 2.61 (4.20) fifth 3.36 (5.40) sixth 4.02 (6.47) seventh 5.47 (8.81) eighth 6.15 (9.89) ninth 7.84 (12.61) tenth 9.47 (15.24) eleventh 12.88 (20.73) twelfth 18.46 (29.70) reverse 1.09 (1.76), 1.69 (2.72), 2.30 (3.70), 2.56 (4.12), 3.29 (5.29), 3.94 (6.35), 5.36 (8.63), 6.03 (9.70), 7.68 (12.36), 9.28 (14.94), 12.62 (20.32), 18.09 (29.11) Clutch dual dry disc mechanically operated by foot pedal Brakes wet disc mechanically operated by two foot pedals that can be locked together Steering hydrostatic Power take-off 540 rpm at 2200 engine rpm or 1000 rpm at 2381 engine rpm Unladen tractor mass 7445 lb (3376 kg)

DRAWBAR PERFORMANCE

(Unballasted - Front Drive Engaged)

FUEL CONSUMPTION CHARACTERISTICS

Power Hp (kW)	Drawbar pull lbs (kN)	Speed mph (km/h)	Crank- shaft speed rpm	Slip %	Fuel Consumption lb/hp hr (kg/kWh)	Hp hr/gal (kWh/l)	Temp °F (°C) cool- ing med	Barom inch Hg (kPa)
Maximum Power—7th (II-3) Gear								
46.2 (34.4)	3200 (14.23)	5.41 (8.71)	2502	4.6	0.592 (0.360)	11.78 (2.32)	155 (68)	49 (9)
75% of Pull at Maximum Power—7th (II-3) Gear								
38.2 (28.5)	2420 (10.77)	5.92 (9.52)	2677	2.5	0.621 (0.375)	11.22 (2.21)	155 (68)	49 (9)
50% of Pull at Maximum Power—7th (II-3) Gear								
23.9 (19.3)	1610 (7.17)	6.03 (9.71)	2693	1.2	0.679 (0.413)	10.25 (2.02)	155 (68)	49 (9)
75% of Pull at Reduced Engine Speed—10th (III-2) Gear								
37.9 (28.3)	2405 (10.69)	5.91 (9.52)	1545	2.4	0.449 (0.273)	15.33 (3.06)	152 (67)	49 (9)
50% of Pull at Reduced Engine Speed—10th (III-2) Gear								
26.1 (19.5)	1620 (7.21)	6.04 (9.72)	1558	1.2	0.489 (0.298)	14.24 (2.81)	155 (68)	49 (9)

DRAWBAR PERFORMANCE
(Unballasted - Front Drive Engaged)
MAXIMUM POWER IN SELECTED GEARS

Power Hp (kW)	Drawbar pull lbs (kN)	Speed mph (km/h)	Crank- shaft speed rpm	Slip %	Fuel Consumption lb/hp.hr (kg/kWh)	Consumption Hp.hr/gal (kW.h/l)	Temp. °F cool- ing med	Air dry bulb (°C)	Barom. inch Hg (kPa)
5th(I-1) Gear									
45.1 (33.6)	6100 (27.13)	2.77 (4.46)	2347	15.1	0.565 (0.344)	12.33 (2.43)	151 (66)	52 (11)	27.2 (92.0)
6th(II-2) Gear									
48.6 (36.2)	5650 (25.04)	3.24 (5.21)	2199	11.7	0.530 (0.323)	13.14 (2.59)	152 (67)	52 (11)	27.2 (92.0)
7th(II-3) Gear									
49.8 (37.1)	4020 (17.89)	4.64 (7.47)	2205	7.1	0.520 (0.316)	13.40 (2.64)	154 (68)	52 (11)	27.2 (92.0)
8th(III-1) Gear									
52.2 (38.9)	3690 (16.42)	5.30 (8.53)	2199	5.4	0.499 (0.304)	13.96 (2.75)	156 (69)	54 (12)	27.2 (92.0)
9th(II-4) Gear									
51.4 (38.3)	2805 (12.48)	6.87 (11.06)	2201	3.9	0.505 (0.307)	13.81 (2.72)	156 (69)	54 (12)	27.2 (92.0)
10th(III-2) Gear									
49.8 (37.1)	2215 (9.85)	8.43 (13.57)	2199	2.5	0.517 (0.315)	13.48 (2.66)	158 (70)	54 (12)	27.2 (92.0)

REPAIRS AND ADJUSTMENTS: No repairs or adjustments

REMARKS: All test results were determined from observed data obtained in accordance with official OECD test procedures. This tractor did not meet the manufacturer's three point lift claim of 4010 lbs. The performance figures on this summary were taken from a test conducted under the OECD Code 2 test procedure.

We, the undersigned, certify that this is a true Summary of data from OECD Report No. 2593, Nebraska Summary 761, September 19, 2011.

Roger M. Hoy
Director

M.F. Kocher
D.R. Keshwani
P.J. Jasa
Board of Tractor Test Engineers

TRACTOR SOUND LEVEL WITH CAB	Front Wheel Drive	
	Engaged dB(A)	Disengaged dB(A)
At no load in 6th (2 II) gear	83.6	83.4
Bystander	--	--

TRACTOR SOUND LEVEL WITHOUT CAB	Front Wheel Drive	
	Engaged dB(A)	Disengaged dB(A)
At no load in 6th (2 II) gear	84.2	84.6
Bystander	--	--

TIRES AND WEIGHT	Tested Without Ballast
Rear tires - No., size, ply & psi(kPa)	Two 16.9-30;6:15 (100)
Front tires - No., size, ply & psi(kPa)	Two 12.4R24; **;16 (110)
Height of Drawbar	17.1 in (435 mm)
Static Weight with operator-Rear	4420 lb (2005 kg)
- Front	3190 lb (1446 kg)
- Total	7610 lb (3451 kg)

HYDRAULIC PERFORMANCE

CATEGORY: II

Quick Attach: None

OECD Static test

Maximum force exerted through whole range:	3505 lbs (15.6 kN)
i) Sustained pressure of the open relief valve:	2755 psi (190 bar)
ii) Pump delivery rate at minimum pressure:	15.4 GPM (58.3 l/min)
iii) Pump delivery rate at maximum	
hydraulic power:	13.5 GPM (51.0 l/min)
Delivery pressure:	1740 psi (120 bar)
Power:	13.7 HP (10.2 kW)

HITCH DIMENSIONS AS TESTED—NO LOAD

	inch	mm
A	31.3	795
B	10.2	260
C	11.8	300
D	11.8	300
E	7.1	180
F	8.5	215
G	27.6	700
H	1.0	25
I	8.5	215
J	19.1	485
K	17.3	440
L	38.8	985
M	26.0	660
N	36.6	930
O	7.9	200
P	43.1	1095
Q	37.2	945
R	24.2	615

