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

Eduardo Londero Druzian

DEMANDA DE TORQUE E POTÊNCIA DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS ACIONADOS PELA TOMADA DE POTÊNCIA

Santa Maria, RS
2018

Eduardo Londero Druzian

DEMANDA DE TORQUE E POTÊNCIA DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS ACIONADOS PELA TOMADA DE POTÊNCIA

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

Orientador: José Fernando Schlosser

Santa Maria, RS
2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Druzian, Eduardo Londero
DEMANDA DE TORQUE E POTÊNCIA DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS ACIONADOS PELA TOMADA DE POTÊNCIA / Eduardo Londero Druzian.- 2018.
87 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, 2018

1. Trator agrícola 2. Torciômetro 3. Conjunto mecanizado 4. Dimensionamento I. Schlosser, José Fernando II. Título.

© 2018
Todos os direitos autorais reservados a Eduardo Londero Druzian. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: eduardo-druzian@hotmail.com

Eduardo Londero Druzian

DEMANDA DE TORQUE E POTÊNCIA DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS ACIONADOS PELA TOMADA DE POTÊNCIA

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

Aprovado em 23 de Agosto de 2018:

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

Gilvan Moisés Bertollo, Dr. (UNIJUÍ)

Marcelo Silveira de Farias, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

RESUMO

DEMANDA DE TORQUE E POTÊNCIA DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS ACIONADOS PELA TOMADA DE POTÊNCIA

AUTOR: Eduardo Londero Druzian
ORIENTADOR: José Fernando Schlosser

O trator agrícola é considerado a base da agricultura moderna pela sua versatilidade em uma propriedade rural. Muitos ensaios oficiais foram necessários para determinar sua capacidade de fornecimento de potência aos implementos, ferramentas e demais máquinas agrícolas. No entanto, poucos destes trabalhos apresentam dados sobre demanda de torque e potência na tomada de potência (TDP) dos tratores. Este trabalho teve como objetivo quantificar a demanda a partir de experimentos realizados com conjuntos mecanizados, utilizando um torciômetro acoplado entre a tomada de potência do trator agrícola e a árvore cardânica de implementos agrícolas comumente empregados em atividades da região central do estado do Rio Grande do Sul. As determinações foram realizadas seguindo os preceitos de experimentos estatísticos, obtendo valores de torque e rotação na árvore cardânica dos equipamentos em acionamento, porém sem deslocamento ou execução de sua finalidade específica e também em diferentes condições de operação. Os resultados encontrados apontam para implementos com pouca demanda de torque e potência, considerando a condição de atividade em vazio e a condição mais severa de trabalho e apontam também para implementos que demandam bastante torque e potência através da tomada de potência. O implemento de maior demanda de potência foi a enxada rotativa, que, ao trabalhar em solo revolvido superficialmente com grade niveladora leve, consumiu 43,21 kW (58,75 cv). O desempenho deste e de outros implementos ressalta a importância do usuário considerar a potência fornecida pela tomada de potência do trator, no momento da sua aquisição e para o dimensionamento do conjunto mecanizado.

Palavras-chave: Trator agrícola. Torciômetro. Conjunto mecanizado. Dimensionamento.

ABSTRACT

TORQUE AND POWER DEMAND FOR AGRICULTURAL EQUIPMENT ACTIONED BY POWER TAKE-OFF

AUTHOR: EDUARDO LONDERO DRUZIAN
ADVISOR: JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER

The agricultural tractor is considered the modern agriculture basis due its versatility within a rural property. Many tests were needed to determine their ability to supply power to equipment, tools and other machines in agriculture. However, few studies present data on the demand for torque and power at the agricultural tractors power take-off (PTO). This research aims quantify this demand from experiments performed with mechanized sets, by using a thymocyte coupled between the agricultural tractor power take-off and the agricultural equipment cardanic tree, commonly used in agricultural activities located in Rio Grande do Sul state central region, in Brazil. The determinations were made following statistical experiments precepts, finding values of torque and rotation in the cardan shaft of the equipment in activation, but without displacement or execution of its specific purpose and energy consumption in different operating conditions. The results point to equipment with low torque and power demand, considering empty activity condition and the more severe work condition. They also point to equipment that demand a lot of torque and power through the power take-off. The highest energy demanding equipment was the rotating hoe, which, when working on surface ground slightly revolved with lightweight leveler grid, consumed 43.21 kW (58.75 cv). This and other equipment performance stands out the importance of considering the power provided by the tractor power take-off at the acquisition moment and for the mechanized set project.

Keywords: Agricultural tractor. Thymocyte. Machined set. Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Torciômetro posicionado entre a TDP do trator e a árvore cardânica do implemento..... 31
Figura 2 - Transdutor utilizado nas avaliações..... 32
Figura 3 - Adaptação aos dois braços inferiores do sistema de levante hidráulico..... 34
Figura 4 - Adaptação ao terceiro ponto de engate..... 34
Figura 5 - Uso dos adaptadores no experimento. Detalhe para a condição telescópica da árvore cardânica..... 35
Figura 6 - Ferramenta utilizada para afastar os implementos acoplados pela barra de tração..... 35
Figura 7 - Destaque para a maturação da cultura do milho..... 37
Figura 8 - Área de realização do experimento com vegetação predominante.. 38
Figura 9 - Trator agrícola utilizado na condução do experimento com a colhedora de forragem..... 40
Figura 10 - Trator agrícola utilizado na condução dos experimentos com os distribuidores centrífugos de um e dois discos, com a enfardadora e com o reboque graneleiro..... 40
Figura 11 - Trator agrícola utilizado na condução dos experimentos com a enxada rotativa e com a valetadora rotativa..... 41
Figura 12 - Trator agrícola utilizado na condução do experimento com a roçadora..... 42
Figura 13 - Colhedora de forragem utilizada no experimento em processo de afiamento..... 43
Figura 14 - Distribuidor centrífugo de um disco utilizado no trabalho..... 45
Figura 15 - Distribuidor centrífugo de dois discos utilizado nas avaliações..... 47
Figura 16 - Enfardadora utilizada no experimento..... 50
Figura 17 - Colheita do arroz e leiras de restos culturais secando ao sol..... 52
Figura 18 - Enxada Rotativa utilizada no experimento (A). Detalhe das lâminas tipo “L” (B)..... 53
Figura 19 - Reboque Graneleiro utilizado no experimento..... 55
Figura 20 - Roçadora utilizada no experimento..... 57
Figura 21 - Valetadora Rotativa utilizada no experimento..... 59
Figura 22 - Demanda de torque na TDP em três condições de abertura do dosador..... 65
Figura 23 - Demanda de torque na TDP em três condições de abertura do dosador e três produtos diferentes..... 67
Figura 24 - Demanda de torque na TDP em função da velocidade de trabalho..... 72
Figura 25 - Demanda de torque na TDP em três aberturas do registro de descarga..... 75
Figura 26 - Demanda de torque na TDP em função da velocidade de trabalho..... 77
Figura 27 - Demanda de torque na TDP em duas profundidades de sulco e

três velocidades de trabalho..... 79
Figura 28 - Gráfico de demanda de potência na TDP dos oito implementos agrícolas avaliados comparando o resultado obtido para a condição “em vazio” e para a condição de maior demanda de cada experimento..... 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos utilizados, velocidade de trabalho e tamanho de material picado, obtidos durante os testes..... 44
Tabela 2 - Tratamentos utilizados, tipo de produto, escala de abertura e vazão do produto obtidos durante os testes..... 46
Tabela 3 - Resultados de análise granulométrica e densidade dos materiais.. 47
Tabela 4 - Tratamentos utilizados, tipo de produto, escala de abertura e vazão do produto, obtidos durante os testes..... 49
Tabela 5 - Resultados de análise granulométrica e densidade dos materiais utilizados..... 49
Tabela 6 - Tratamentos utilizados, tipo de produto, velocidade de trabalho e massa de forragem, obtidos durante os testes..... 51
Tabela 7 - Tratamentos utilizados, velocidade real de trabalho, número de gradagens e profundidade das gradagens, obtidos durante a realização dos experimentos..... 54
Tabela 8 - Tratamentos utilizados, abertura do registro de descarga, tempo de descarga e vazão de descarga, obtidos durante os testes..... 56
Tabela 9 - Tratamentos utilizados, velocidade de trabalho e altura média de corte, obtidos durantes os testes..... 58
Tabela 10 - Tratamentos utilizados, velocidade de trabalho e profundidade média, obtidos durante os testes..... 60
Tabela 11 - Implementos avaliados, tratamentos impostos e variáveis analisadas..... 61
Tabela 12 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, com velocidade e tamanho de material picado obtidos..... 62
Tabela 13 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, tamanho, interação, repetição, erro, CV e média. 62
Tabela 14 - Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, tamanho de picado, velocidade de trabalho e torque obtidos nos testes..... 63
Tabela 15 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, com o produto utilizado, abertura e vazão obtidos.... 64
Tabela 16 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para produto, abertura, interação, repetição, erro, CV e média..... 64
Tabela 17 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, com o produto utilizado, abertura e vazão obtidos.... 66
Tabela 18 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para produto, abertura, interação, repetição, erro, CV e média..... 67
Tabela 19 - Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, produto, abertura do dosador e torque obtidos nos testes..... 68
Tabela 20 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, produto enfardado e velocidade obtidos..... 69
Tabela 21 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, produto, interação, repetição, erro, CV e média.. 70

Tabela 22 - Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, produto enfardado, velocidade e torque obtidos nos testes..... 70
Tabela 23 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, condição de solo e velocidade obtidos..... 71
Tabela 24 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, condição de solo, interação, repetição, erro, CV e média..... 72
Tabela 25 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, abertura do registro e vazão de descarga obtidos.... 74
Tabela 26 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para abertura, repetição, erro, CV e média..... 74
Tabela 27 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, altura de corte e velocidade de trabalho obtidos..... 76
Tabela 28 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, altura, interação, repetição, erro, CV e média..... 76
Tabela 29 - Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, altura de corte e torque obtidos..... 78
Tabela 30 - Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, profundidade e velocidade de trabalho obtidos..... 78
Tabela 31 - Tabela F – Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, profundidade, interação, repetição, erro, CV e média..... 79
Tabela 32 - Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, profundidade, velocidade e torque obtidos..... 80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cm	Centímetro
CV	Coeficiente de Variação
cv	Cavalo-Vapor
DBC	Delineamento de Blocos Casualizados
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
Fc	F-calculado – Estatística
FV	Fonte de Variação
GL	Grau de Liberdade
GNL	Grade Niveladora Leve
$kg.s^{-1}$	Quilograma por segundo
km	Quilômetro
$km.h^{-1}$	Quilômetro por hora
kPa	Quilopascal
kW	Quilowatts
L	Litro
m	Metro
m^3	Metro cúbico
Nm	Newton-metro
NMS	Nível Médio de Significância
OECD	*Organization for Economic Cooperation and Development*
P	Perímetro
PLG	PenetroLOG
Pr	P-valor – Estatística
QM	Quadrado Médio
rpm	Rotações por minuto
RS	Rio Grande do Sul
Rt	Relação de transmissão
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SPS	*Semi Power Shift*
SQ	Soma de Quadrados
TDA	Tração Dianteira Auxiliar
TDP	Tomada de Potência
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
V	Velocidade
Vp	Velocidade Periférica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 13
1.1 HIPÓTESES..... 14
1.2 OBJETIVOS..... 15
1.2.1 Objetivo Geral..... 15
1.2.2 Objetivos Específicos..... 15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 16
2.1 TRATORES AGRÍCOLAS..... 16
2.2 TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA..... 17
2.3 IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS..... 18
2.3.1 Colhedora de Forragem..... 19
2.3.2 Distribuidor Centrífugo..... 21
2.3.3 Enfardadora..... 23
2.3.4 Enxada Rotativa..... 25
2.3.5 Reboque Graneleiro..... 26
2.3.6 Roçadora..... 27
2.3.7 Valetadora Rotativa..... 29
3 MATERIAIS E MÉTODOS..... 31
3.1 INSTRUMENTAÇÃO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS..... 31
3.2 ADAPTAÇÃO AOS SISTEMAS DE ACOPLAMENTO..... 33
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMNETAIS..... 36
3.4 TRATOR TESTE..... 39
3.5 IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS..... 42
3.5.1 Colhedora de Forragem..... 42
3.5.1.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 44
3.5.2 Distribuidor centrífugo de um disco..... 45
3.5.2.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 46
3.5.3 Distribuidor Centrífugo de dois discos..... 47
3.5.3.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 48
3.5.4 Enfardadora..... 50
3.5.4.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 51
3.5.5 Enxada Rotatva..... 52
3.5.5.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 53
3.5.6 Reboque Graneleiro..... 54
3.5.6.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 55
3.5.7 Roçadora..... 56
3.5.7.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 57
3.5.8 Valetadora Rotativa..... 58
3.5.8.1 *Procedimentos Experimentais e Estatísticos*..... 59
3.6 TRATAMENTO DOS DADOS..... 60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 61
4.1 COLHEDORA DE FORRAGEM..... 62
4.2 DISTRIBUIDOR CENTRÍFUGO DE UM DISCO..... 64
4.3 DISTRIBUIDOR CENTRÍFUGO DE DOIS DISCOS..... 66
4.4 ENFARDADORA..... 69
4.5 ENXADA ROTATIVA..... 71
4.6 REBOQUE GRANELEIRO..... 73

4.7 ROÇADORA..... 75
4.8 VALETADORA..... 78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 82
REFERÊNCIAS..... 83

1 INTRODUÇÃO

Muitos autores consideram o trator como a base da agricultura moderna devido à sua grande capacidade de fornecimento de potência às mais diversas máquinas, ferramentas e implementos utilizados no meio agrícola.

Com o surgimento e popularização do trator nas propriedades rurais, as ferramentas braçais e de tração animal utilizadas na agricultura foram sendo substituídas por equipamentos acionados e/ou tracionados pelos tratores, diminuindo significativamente a carga física submetida aos trabalhadores e aumentando a capacidade de produção.

A intenção de melhorar as práticas de cultivo e de facilitar a realização dos trabalhos induz ao desenvolvimento e a incorporação de tecnologias aos sistemas produtivos. Entretanto, o crescimento acelerado incentivou o consumo de combustíveis fósseis e fertilizantes químicos derivados de petróleo, impactando diretamente no meio ambiente.

Em resposta a isso, tecnologias surgem com o objetivo e tornar os sistemas produtivos mais eficientes. Isso não reflete apenas em maiores produtividades por área cultivada, mas também em relação ao desempenho dos tratores, máquinas e implementos agrícolas quando em execução de trabalhos em campo.

Mesmo com tecnologia avançada para determinação do desempenho de tratores, há carência de informações sobre o desempenho das máquinas agrícolas e dados relativos à demanda de potência de cada implemento. Muito desta carência se deve ao fato de que grande parte dos equipamentos foram desenvolvidos por métodos artesanais e de tentativa e erro, até que chegasse em um modelo aceitável, que cumprisse pelo menos em parte à demanda pré estabelecida. Alguns destes implementos sequer passaram por um processo de aprimoramento e de gerenciamento, do ponto de vista da engenharia mecânica.

A construção artesanal de implementos agrícolas pode até representar economia em curto prazo, mas pode ser um problema no decorrer da vida útil do equipamento e uma fonte de perigo para seu operador, oferecendo risco por possíveis falhas mecânicas e/ou construtivas. Pontos de acoplamento não normatizados, estrutura incompatível com a função a ser desempenhada e consumo elevado de energia por má construção e/ou formato dos órgãos ativos são alguns dos problemas mais comuns.

Por isso, faz-se necessário realizar estudos que apontem a demanda de potência dos diferentes implementos agrícolas, sob diferentes condições de trabalho. Os ensaios envolvendo conjuntos mecanizados, harmônicos ou não, podem ser de demanda de tração, demanda do sistema de levante hidráulico (engate de três pontos), demanda por vazão e pressão de óleo (bomba hidráulica e válvulas de controle remoto), ensaios de demanda de torque e potência na tomada de potência (TDP) dos tratores, entre outros.

Estas avaliações são importantes para os fabricantes de implementos e máquinas agrícolas, que saberão qual o real desempenho e necessidade do implemento para realizar sua função, utilizando esses resultados como parâmetros construtivos e critérios de aperfeiçoamento.

Os resultados destes ensaios também tornam-se importantes no momento de adquirir um trator ou implemento, por exemplo, onde o comprador terá um relatório de ensaio com dados/informações que lhe permitirá efetuar a aquisição de um produto que atenda suas necessidades, sem que haja prejuízo para as atividades nos períodos ótimos de trabalho, nem que haja excesso de potência para determinada operação agrícola, representando economia ao produtor rural visto que as atividades mecanizadas podem representar, em média, 40% dos custos de produção.

1.1 HIPÓTESES

Para elaboração deste estudo, foram assumidas as seguintes hipóteses:

a) Os implementos que mobilizam o solo, conforme as devidas proporções, podem demandar mais potência em relação aos demais;

b) Se alterar a velocidade de trabalho ou o elemento com o qual interagem, os Implementos podem apresentar variação na demanda de torque na tomada de potência.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi verificar o torque necessário para acionar órgãos ativos de implementos agrícolas por meio da tomada de potência de tratores agrícolas em diferentes situações de operação.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Verificar a demanda de potência na árvore cardânica pelo implemento, a partir da coleta de valores de torque quando os implementos são submetidos a diferentes condições de trabalho, utilizando um torciômetro posicionado entre a TDP do trator e a árvore cardânica de diferentes implementos agrícolas;

b) Fornecer informações confiáveis para os usuários para servir como embasamento para o dimensionamento do conjunto mecanizado trator+implemento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRATORES AGRÍCOLAS

Dentre as máquinas agrícolas, o trator foi a máquina que alavancou o processo de desenvolvimento da agricultura brasileira devido à sua versatilidade na execução de inúmeras tarefas no meio rural, servindo como fonte de potência e tração para diversos equipamentos e implementos agrícolas (ROZIN, 2004).

Em relação ao trabalho manual, o uso do trator agrícola reduziu de forma significativa a carga física à qual o trabalhador encontrava-se submetido, tornando-se responsável por uma parcela significativa do aumento da capacidade de produção agrícola e, por outro lado, também pelo aumento do consumo de energia nas atividades de campo (JESUINO, 2007).

Schlosser (2001) define o trator agrícola como uma unidade móvel de potência, composta de motor, transmissão, sistema de direção, sistema de sustentação e componentes complementares, onde são acoplados implementos ou máquinas com funções diversas e de características voltadas às operações agrícolas. Essa definição vai ao encontro da definição elaborada pela *American Society of Agricultural Engineers* – ASAE (1995), onde define um trator agrícola como uma máquina de tração, projetada e recomendada para proporcionar potência aos implementos agrícolas.

De acordo com a *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 2014), os tratores agrícolas são projetados para cumprir o propósito de tracionar implementos diversos, ferramentas e máquinas agrícolas e, ainda proporcionar a potência necessária quando requerido, para que estes trabalhem em movimento ou parados.

Na literatura, há vários critérios utilizados para classificar os tratores agrícolas. Nesse sentido, Schlosser (2001) classifica os tratores de acordo com o número de eixos, podendo ser de apenas um eixo, como os tratores de rabiças; tratores com dois eixos, no qual se encontram os micro tratores; tratores utilitários (*standard*); tratores 4x2; tratores 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) e tratores com tração integral (4x4).

Recentemente, Márquez (2012), classificou os tratores agrícolas brasileiros quanto à faixa de potência em: Classe I (menor ou igual a 22,1 kW); Classe II (entre

22,1 e 51,5 kW); Classe III (51,5 e 73,5 kW); Classe IV (73,5 e 117,7 kW); Classe V (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 TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

Segundo Márquez (2004), o sistema de transmissão é o conjunto de elementos que garantem a transmissão de potência do motor do trator agrícola para os diferentes mecanismos a serem utilizados, tais como: o sistema hidráulico, a tomada de potência (TDP) e as rodas motrizes.

A transmissão de movimento de um eixo para outro necessita de determinada quantidade de energia. O atrito gerado entre dentes de engrenagens, entre polias e correias, e em outros tipos de elementos de acoplamento entre eixos, bem como em mancais de rolamento ou deslizamento reduz a eficiência na transmissão da potência do sistema como um todo. No caso dos tratores agrícolas, o referido sistema contempla a fonte geradora de potência (motor), a transmissão e as fontes de aplicação ou de disponibilização da potência (barra de tração, sistema hidráulico e TDP basicamente). Além disso, há componentes do trator, essenciais para o seu funcionamento, que também demandam potência do motor, como é o caso do sistema de arrefecimento e do sistema elétrico.

A eficiência em relação à transmissão em geral é adotada como 87%, e pode ser obtida pela medição da potência do motor e a potência disponível no eixo por meio de um torciômetro (FRANTZ, 2011). Os torciômetros são transdutores de torque, os quais permitem a obtenção do torque médio e a rotação no eixo correspondente. Os mais utilizados são os que a deformação da barra de torção é medida por uma ponte extensiométrica conectada a um conjunto de anéis e escovas para passagem do sinal desde a árvore rotativa até a carcaça fixa (MIALHE, 1996).

A forma mais usual de utilização da potência desenvolvida pelo motor é por meio da barra de tração devido a sua versatilidade, porém é menos eficiente quando comparada à tomada de potência e ao sistema hidráulico (SORANSO *et al.*, 2008).

Peça (2015) afirma que a rotação da TDP foi padronizada de tal modo que houvesse um parâmetro para a construção e utilização dos conjuntos mecanizados, sendo oferecidas em tratores agrícolas nas configurações *standard* de 540 e 1000rpm, com 6 e 21 estrias respectivamente. O autor ainda afirma que essas

rotações padronizadas da TDP são alcançadas ao passo que o motor atinja a faixa de rotação onde o mesmo desempenha a sua máxima potência.

Recentemente, muitos fabricantes passaram a disponibilizar aos produtores rurais, tratores equipados com a chamada “TDP econômica”, que, diferentemente da TDP considerada normal ou convencional, aciona uma máquina agrícola, mantendo a mesma rotação padronizada da TDP a uma rotação mais baixa do motor. Porém, devido à baixa rotação do motor, a utilização desta configuração de TDP se limita à execução de operações agrícolas leves, utilizando equipamentos como pulverizadores, roçadoras, distribuidores centrífugos, entre outros (FRANTZ *et al.*, 2014). Os autores ainda afirmam que a utilização da TDP econômica pode reduzir tanto o consumo horário quanto o consumo operacional de combustível.

Segundo Peça (2015), fabricantes de tratores agrícolas também disponibilizam a TDP na parte frontal da máquina, que, juntamente a um sistema de levante hidráulico de três pontos na parte frontal do trator, permite atrelar dois ou mais implementos agrícolas concomitantemente. Podendo ser oferecida nas rotações de 540 ou 1000rpm com a opção econômica ou não, de acordo com a necessidade da aplicação. Ainda segundo o autor, a TDP pode ser independente ou sincronizada, onde o tipo independente recebe o movimento do motor sem influência da caixa de marchas do trator. Já a TDP do tipo sincronizada ou proporcional, como o próprio termo define, possui rotação proporcional à velocidade de deslocamento das rodas motrizes do trator.

2.3 IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

O trabalho de produção agrícola, em sua maior parte, é realizado em etapas cronologicamente distintas, uma vez que está sujeito à periodicidade, tanto das condições climáticas como das fases de desenvolvimento e produção de plantas. Essas etapas, que ocorrem em uma sequência ordenada, desde a instalação das culturas até a entrega dos produtos no mercado consumidor, recebem o nome de operações agrícolas (PACHECO, 2000). Segundo o autor, a seleção de máquinas agrícolas é bastante complexa devido ao elevado número de fatores envolvidos e de alternativas a considerar. Todavia, uma definição clara e objetiva dos propósitos da

maquinaria agrícola permite o delineamento de roteiros que conduzem a uma solução racional do problema.

Silveira (2005) entende o sistema mecanizado agrícola, como o conjunto de equipamentos, máquinas e implementos que realizam os processos de implantação, condução e retirada das culturas comercias da lavoura.

Há modelos de ferramentas e implementos de acoplamento em tratores para todas as operações agrícolas. Os tratores agrícolas sem estes equipamentos ficam restritos a poucas atividades. O problema em selecionar eficientemente máquinas agrícolas está condicionado ao ajuste dos fatores de características construtivas e desempenho dos implementos, disponibilidade de potência, mão-de-obra, tempo certo para realização das operações em campo e custos, até que se obtenha um resultado economicamente viável.

Além disso, há uma dificuldade de avaliação dos implementos agrícolas, visto que a maioria destes surgiu de inovações criadas a partir de ferramentas agrícolas manuais utilizadas anteriormente na agricultura, em tempos onde a mecanização não existia ou não predominava no setor agrícola. Desses implementos, grande parte fora desenvolvida por meio de tentativas e erros, até chegar a um modelo aceitável.

Uma das maiores preocupações dos agricultores tem sido o consumo de combustível nas operações das máquinas e dos equipamentos agrícolas, que pode ser reduzido por meio de melhores projetos de máquinas e de implementos e melhores procedimentos operacionais (STANGE *et al.*, 1984).

A eficiência de qualquer equipamento agrícola é medida levando-se em consideração a execução do trabalho para o qual ele foi projetado, no tempo certo e a custo compatível com o sistema de produção. O desempenho de equipamentos agrícolas, apropriadamente denominado de capacidade de trabalho das máquinas, é normalmente expresso em hectares por hora (ha/h) ou, no caso de colhedoras, em quilogramas por hectare (kg/ha) (SILVEIRA *et al.*, 2006).

Os implementos agrícolas utilizados neste estudo e sua importância nas propriedades rurais serão descritos em breves revisões a seguir.

2.3.1 Colhedora de Forragem

O uso de gramíneas tropicais para a produção de silagens é prática comum

no Brasil, permitindo armazenamento de excedente de produção forrageira do período chuvoso para reduzir escassez de alimento em período crítico (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2009). Esta técnica consiste em trituração, compactação e armazenamento da matéria verde em um silo, a qual irá sofrer fermentação em anaerobiose. Esse conjunto de técnicas mantém o material conservado por certo período, desde que não haja entrada de ar externo no sistema.

O consumo e o aproveitamento em termos nutricionais da silagem pelo animal estão ligados à qualidade física do material. Em estudo realizado por Schwab *et al.* (2002), os autores constataram que com o aumento do tamanho dos fragmentos de 13 para 19 mm, ocorreu uma redução no consumo de matéria seca de silagem de milho pelos animais em 1,10 kg por dia.

As colhedoras de forragem ou ensiladoras, como também são chamadas, ou ainda repicadoras de forragem, são as máquinas que colhem a forragem no campo, quando esta ainda encontra-se em pé ou previamente cortada e disposta em cordões. De acordo com Rippel *et al.* (1998), estas colhedoras são compostas por um mecanismo de recolhimento e outro de corte de plantas, este constituído por um conjunto de lâminas rotativas que fragmentam o material e arremessam-no para fora da câmara de corte.

Segundo Boller (2009), as colhedoras de forragens podem englobar o método direto e o método indireto de corte. Este último caracteriza-se pelo recolhimento do material previamente cortado, condicionado, revolvido e amontoado em fileiras. Processo este realizado para estimular a perda de excedente de água por parte do material segado. Já no método direto, realiza-se o corte, a picagem e a ensilagem em sequencia.

As máquinas para produção de silagem no sistema de corte direto podem ser classificadas em corte simples, duplo corte ou repicadoras e colhedoras de precisão, de acordo com os seus principais órgãos ativos (BOLLER, 2009). O autor descreve as colhedoras de corte simples ou rotor horizontal, como máquinas que realizam o corte, a trituração e o carregamento da forragem por meio deste rotor, disposto transversalmente. Máquinas desenvolvidas para colher plantas de porte baixo, talos finos e alta densidade populacional, como são as forrageiras de clima temperado. As vantagens deste modelo residem na simplicidade, no baixo custo de aquisição e na polivalência. Por outro lado, considerando a qualidade da forragem, as colhedoras de corte simples produzem fragmentos excessivamente dilacerados e com tamanho

de 3 a 5 vezes maior que as colhedoras de precisão equipadas com discos ou cilindros picadores.

O autor ainda descreve as colhedoras de forragem de precisão (de disco ou cilindro picador) como máquinas destinadas ao corte, trituração e carregamento de várias espécies de plantas forrageiras, tais como milho, sorgo, capim-elefante, alfafa, trevos e gramíneas diversas. Com algumas adaptações, podem ser utilizadas para recolher e picar forragens previamente ceifadas e submetidas à murcha, como é o caso do material destinado à produção de silagem pré-secada.

As principais vantagens das colhedoras de forragem de discos ou de cilindros picadores são a produção de fragmentos menores, a menor demanda de potência específica, a ausência de terra e areia na forragem e a elevada eficiência na colheita de silagem de milho. Como inconvenientes constam o elevado custo de aquisição, a maior exigência de manutenção e, na maioria dos casos, a falta de polivalência (ORTIZ-CAÑAVATE,1984).

Por fim, Boller (2009) descreve as colhedoras de forragem de duplo corte (repicadoras) com máquinas tracionadas, constituídas pela associação de um rotor horizontal (semelhante ao utilizado nas colhedoras de corte simples) com um mecanismo picador (denominado repicador), sendo este, constituído por um disco ou por um cilindro e seu uso é indicado para o corte direto de forrageiras de porte baixo ou ao recolhimento de forragem pré-murchada. Corrobora também que as vantagens e as desvantagens deste modelo de colhedora mantêm-se intermediários aos dos modelos anteriores.

2.3.2 Distribuidor Centrífugo

Os distribuidores centrífugos a lanço, em muitos casos chamados de semeadoras a lanço podem ser de arrasto (acoplados a barra de tração do trator) ou de levante hidráulico (acoplados no sistema de engate de três pontos) e possuem disco único ou disco duplo de distribuição e também distribuição pendular. A composição básica destes implementos é árvore cardan, caixa de transmissão, disco de distribuição com aletas, estrutura de sustentação e caixa ou reservatório de produto no caso dos equipamentos acoplados ao sistema de engate de três pontos. Já os distribuidores centrífugos de arrasto, além dos itens citados, possui rodas e em geral, esteira alimentadora.

Os distribuidores centrífugos são equipamentos que revolucionaram a tecnologia de aplicação de produtos sólidos na agricultura por suas características de simplicidade construtiva, facilidade de regulagem e alta capacidade operacional devido à largura de trabalho. O seu principal uso é na aplicação de produtos agrícolas de correção e adubação do solo como calcário, gesso agrícola, adubo mineral, uréia e na semeadura a lanço de pastagens como da aveia e azevém (FARRET *et. al.*, 2008).

O uso destes equipamentos tem ocorrido tanto para tratos culturais como para aplicações antes da semeadura. Segundo Chueiri (2005), a antecipação parcial ou total da aplicação de fertilizantes requerida por uma cultura, permite que o processo de semeadura ocorra de forma mais rápida.

Neste sistema, a adubação é aplicada antes da semeadura, proporcionando menor tempo nas paradas para o abastecimento da semeadora, redução do número de conjuntos, do custo operacional e total, possibilitando, desta forma, aumento na receita líquida se comparado ao sistema tradicional, independentemente do período de semeadura (MATOS *et al.*, 2006).

Molin *et al.* (2001) afirmam que os distribuidores a lanço são utilizados como máquina alternativa, tanto nas aplicações em cobertura como em aplicações de semeadura; porém, não se tem informação quanto à qualidade de aplicação de grande parte das máquinas disponíveis no mercado brasileiro.

Segundo Farret *et. al.* (2008), estes equipamentos utilizam a energia transmitida pela TDP do trator para imprimirem energia às partículas e, consequentemente, lançá-las a distâncias consideráveis. A maioria utiliza disco com aletas como elemento lançador, valendo-se da força centrífuga para imprimir energia às partículas que chegarão ao solo, desenvolvendo uma trajetória balística. Dessa forma, os produtos mais leves, como sementes, serão lançados a menores distâncias e os mais pesados, como uréia e fertilizantes granulados, a distâncias maiores, determinando maior largura de aplicação.

A largura de trabalho é determinada como função de uma regularidade mínima da dosagem desejada obtida a partir de uma sobreposição com as passadas adjacentes. A definição dessa largura de trabalho ou largura efetiva é obtida por meio de ensaios. Tais ensaios são de difícil execução ao nível de agricultor por exigirem equipamentos, recursos e métodos que não estão ao alcance de um usuário comum (MOLIN, 1999).

2.3.3 Enfardadora

Assim como a silagem, o feno também é uma forma de conservação de forragens, especialmente em regiões de clima variável, com grandes períodos de frio intenso ou secas prolongadas. Consequentemente, o fornecimento de alimento para os animais em períodos de escassez somente poderia ocorrer se houvesse estoques formados nos períodos de abundância. Portanto, a conservação de forragens seja na forma de feno ou silagem é uma prática usual em países da Europa e Estados Unidos da América em vista dos invernos rigorosos onde em certas épocas do ano fica impraticável o pastejo. Esses volumosos conservados são utilizados na alimentação de ruminantes e o feno inclui também os equinos como sua principal fonte de comércio (NERES & AMES, 2015).

Além do trator agrícola, nas propriedades onde o feno é produzido, quando a cultura atinge o ponto ideal para fenação, o processo de produção de feno compreende o uso de segadoras, ancinhos e reboques forrageiros ou enfardadoras. No caso da produção de pré-secado, faz-se uso também de empacotadoras de fardos após a confecção dos mesmos, para conferir uma condição de anaerobiose ao material. Alguns modelos de enfardadoras, de tecnologia mais recente, estão equipados com sistemas para impermeabilização dos fardos acoplados e à medida que estes vão sendo formados, é realizado o empacotamento.

Em outros casos utiliza-se a palhada ou restos culturais expelidos pelas colhedoras de grãos para enfardamento, sendo que ao desativar o espalhador e o picador de palha da colhedora, o subproduto do cultivo (palhada) dispõe-se já em fileiras, eliminando assim, a necessidade de utilizar a segadora e os ancinhos. Porém, o uso da palha das culturas para enfardamento é pouco difundido tendo em vista o baixo valor nutricional do material.

O enfardamento não é condição única para a produção de feno, mas é condição prática para armazenamento, transporte, manuseio e comercialização. Esta estratégia reduz o volume de forragem pela compactação, o que aumenta a densidade, ou seja, maior quantidade de feno pode ser armazenada em menor espaço. Quando armazenado em fardos, o feno tem melhor conservação e possibilita também o controle da quantidade disponível. Os fardos podem ser produzidos com diferentes formas, tamanhos e pesos, isto depende do tipo de enfardadora utilizada (EVANGELISTA & LIMA, 2013).

Boller (2009) destaca a preferência pela armazenagem de feno enfardado, por requerer menos mão de obra que o feno solto, evitar em grande parte as perdas de folhas de forragens frágeis, diminuir a exposição aos agentes atmosféricos e, especialmente reduzir em até 25% a necessidade de espaço para armazenagem do feno.

Segundo Ortiz-Canãvate (1984), as enfardadoras podem ser classificadas em convencionais ou prensas-enfardadoras, que produzem fardos prismáticos ou em rotoenfardadoras, que produzem fardos cilíndricos ou redondos. Boller (2009) afirma que as rotoenfardadoras facilitam a mecanização integral do processo de fenação, quando comparadas ao uso das convencionais. Além disso, as enfardadoras de fardos cilíndricos oportunizam uma redução no tempo da operação de enfardamento de 25 a 50 %, podendo-se recolher os fardos produzidos até duas ou três semanas após o enfardamento, sem prejuízo para a qualidade da forragem armazenada.

As rotoenfardadoras são tracionadas pela barra de tração e acionadas pela TDP do trator e possuem menor número de mecanismos do que as enfardadoras convencionais, sendo a sua manutenção também mais simples. O mecanismo recolhedor de feno é semelhante ao das enfardadoras convencionais, constituído por um molinete com dedos retráteis, apoiado sobre rodas calibradoras. Pela ação do mecanismo recolhedor, o feno é deslocado do solo até o mecanismo transportador inferior, onde a camada de forragem é encaminhada até o transportador superior, que apresenta sentido de giro oposto e tem a função de enrolar a camada, como se fosse um tapete. Nas enfardadoras de câmara variável, o transportador superior é composto por uma série de correias planas paralelas ou por um par de correntes interligadas por barras tubulares muito próximas umas das outras, tensionadas por molas que se situam nas paredes laterais da máquina (BOLLER, 2009).

Ainda, segundo Boller (2009), à medida que o fardo vai sendo enrolado, a tensão das correias ou das correntes aumenta, até que o fardo alcance o tamanho desejado, que é indicado por uma seta sobre um quadrante. Neste momento, o operador deve parar o trator e efetuar a amarração do fardo. Já nas enfardadoras de câmara fixa, a forragem é transportada para o interior de uma câmara circundada por cilindros ou rolos que giram sobre seus próprios eixos. E à medida que aumenta o volume de feno no interior da câmara, o formato vai se aproximando mais do cilíndrico, sendo que a camada externa apresenta-se mais adensada do que a

interna.

Para ambos os modelos de máquinas, a amarração do fardo requer que o trator interrompa seu deslocamento, mas que a TDP continue em acionamento. Para extrair o fardo do interior da máquina, há necessidade de acionar os cilindros hidráulicos de controle remoto que elevam uma espécie de comporta até que a abertura seja suficiente para dar passagem ao fardo, que é deslocado para fora da máquina através do transportador inferior, tão logo a TDP seja acionada novamente (BOLLER, 2009).

2.3.4 Enxada Rotativa

Mesmo com a adoção de modelos produtivos que preconizem a semeadura/plantio diretamente no solo sem a necessidade de revolvimento do mesmo ou com o menor revolvimento possível, ainda há culturas que exigem mobilização do solo para a sua implantação. Essa necessidade decorre por características da própria cultura, como no caso de incorporação de fertilizantes e corretivos, para destruição dos restos culturais devido à decomposição lenta do material vegetal ou ainda para eliminação da fonte de abrigo e alimento para pragas e doenças. Além disso, o revolvimento pode ser necessário para superar características impeditivas do solo à germinação e ao desenvolvimento da cultura.

O preparo do solo compreende um conjunto de práticas que têm como objetivo a preservação das características físicas, químicas e biológicas do solo, oferecendo condições ideais para semeadura, germinação e desenvolvimento das plantas. Esta operação é considerada uma das mais importantes no manejo do solo, pois o uso excessivo de implementos inadequados, rapidamente degrada o solo. Portanto, é necessário planejar o uso racional com implementos adaptados às condições e tipos de solo, procurando manter ou aumentar seu potencial produtivo (EMBRAPA, 2000).

Dentre os implementos utilizados para preparo do solo, as enxadas rotativas merecem certo destaque pelo trabalho que efetuam. Estes implementos são compostos basicamente por eixo cardan, caixas de transmissão, limitadores de profundidade e eixo rotacional com órgãos ativos. Geralmente acoplados ao trator agrícola pelo sistema de engate de três pontos e acionados pela TDP do trator.

Inoue (2003) define enxada rotativa como uma máquina de preparo de solo

que funciona como uma enxada manual de ação contínua. Segundo Garcia (2000), as enxadas rotativas são implementos rotativos que apresentam órgãos ativos montados em um eixo, cujas peças são lâminas ou dentes, implicando numa maior ou menor mobilização do solo.

Para Salokhe (2002), enxada rotativa é um implemento comumente utilizado para acelerar a operação de preparo do solo. Essa ideia vai ao encontro do que dizem Seguy *et al.* (1984), ao definirem a enxada rotativa como um equipamento que substitui o arado e a grade, executando o preparo primário e secundário do solo em uma única operação.

As enxadas rotativas são utilizadas no preparo do solo para a implantação de diversas culturas, propiciando uma redução no número de implementos necessários. Segundo Andersson (2003), além de incorporar a matéria orgânica de maneira uniforme no perfil do solo, substituindo o uso do rolo faca, tem a função de realizar o preparo primário e secundário do solo, resultando em diminuição dos custos com combustíveis, já que uma única operação substitui as operações de aração e gradagem.

Ghosh (1967) afirma que a enxada rotativa tornou-se popular, pois concorre diretamente com o arado tradicional, devido seu rendimento ser superior aos demais implementos, apesar de sua maior exigência de energia.

O uso da enxada rotativa permite incorporar ao solo os restos culturais não comercializados e as ervas daninhas não controladas no cultivo anterior (ANDRIOLO, 2017). O autor ainda afirma que este implemento, por trabalhar geralmente em profundidade de até 20 centímetros, favorece a desagregação da estrutura original do solo, formando uma camada superficial menos estruturada sobre outra camada inferior mais estruturada.

2.3.5 Reboque Graneleiro

A colheita é o momento mais esperado pela maioria dos agricultores. Expectativas são criadas entorno deste evento, pois marca o final de um ciclo produtivo e o momento em que o produtor sabe se todo tempo, esforço e capital investidos renderam-lhe algum lucro perante a atividade. É uma atividade que precisa ser eficiente e de rápido escoamento para garantir que o produto colhido, antes exposto às intempéries, tenha sua perecibilidade reduzida para que possa ser

armazenado e/ou comercializado.

Segundo Araldi *et. al.* (2013), as condições em que as colhedoras irão operar interferem significativamente na sua eficiência de campo. Os autores ainda afirmam que o deslocamento da colhedora até o caminhão o tempo de descarga são dois fatores que afetam negativamente a eficiência de campo, sendo que estes poderiam ser eliminados, aumentando a eficiência.

Nesse sentido, inúmeros implementos agrícolas foram desenvolvidos com a finalidade de auxiliar e potencializar o desempenho das colhedoras. Um destes equipamentos foi o reboque graneleiro agrícola, desenvolvido para armazenar e transportar os grãos, da colhedora ao caminhão de transporte ou diretamente ao armazém. Esses implementos são constituídos basicamente de rodas, chassi, caixa ou tanque reservatório, árvore cardan e tubo de descarga.

Esse implemento trabalha acoplado em tratores, é utilizado para otimizar o processo de colheita de grãos (milho, soja, entre outros), auxiliando o sistema logístico da colhedora com o objetivo de aumentar o sua capacidade operacional (CORRER *et al.*, 2016). Os autores também afirmam que toda vez que o reservatório de grãos da colhedora chega ao nível máximo, esta se desloca até o caminhão de transporte, que normalmente fica estacionado em uma estrada próxima à área de colheita, para realizar a descarga e então continuar a colheita. Já com o uso do graneleiro agrícola, a colhedora realiza a descarga do produto simultaneamente no tanque de armazenamento do graneleiro, sem interromper a colheita, aumentando sua capacidade operacional.

2.3.6 Roçadora

No Brasil, há grande diversidade de espécies forrageiras utilizadas por produtores para alimentação de seus rebanhos. No Rio Grande do Sul, segundo Medeiros e Focht (2007), na década de 1950 surgiu acidentalmente uma gramínea originária da África que foi por algum tempo utilizada como planta forrageira alternativa para aumentar a produção animal nas condições do Rio Grande do Sul. Esta gramínea é uma *Poaceae* tropical, perene, estival chamada capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) e que possui atributos de planta invasora tais como a rejeição pelos animais, longa fase reprodutiva, presença de alelopatia e banco de sementes do solo persistente.

Coelho (1986), que além dessas características, destaca que os animais procuram menos o capim-annoni-2 devido à dificuldade de obter êxito no pastejo, pois se trata de uma planta com baixo valor nutricional e que apresenta uma barreira física ao pastejo devido ao seu alto teor de fibra.

Segundo Silveira e Bernardi (2001), a limpeza dos pastos é uma das mais importantes atividades a serem desenvolvidas na propriedade agrícola. Ela controla as infestações de pragas e plantas indesejáveis, podendo ser feita manualmente utilizando foices ou com o emprego de roçadoras. Os autores complementam que as roçadoras são máquinas utilizadas para o corte das pastagens ou invasoras, podendo ser acopladas no sistema de levante hidráulico do trator ou tracionadas. Elas possuem como órgão ativo principal a faca, mas esta pode ser substituída por correntes em situações com terrenos pedregosos.

As roçadoras foram fabricadas em série pela primeira vez em 1945, alcançando notável popularidade devido a sua versatilidade e à perfeição do serviço. São máquinas de fácil manejo, manutenção e regulagem simples e substituem com vantagem as foices manuais que são cansativas, onerosas e de baixo rendimento (SILVEIRA, 1989).

Segundo Vale *et al.* (2011), a utilização de roçadoras pode ser de grande valia para a conservação do meio ambiente, principalmente, contribuindo para menor utilização de produtos químicos e diminuindo a compactação do solo, pois corta e controla o crescimento de pastagens e plantas de cobertura sem mobilizar o solo.

Persson (1987) afirma que a quantidade de energia consumida para fragmentar material vegetal pode depender de diversos fatores, tais como taxa de alimentação, comprimento dos fragmentos, velocidade das facas, largura de corte, ângulo de afiação das facas, tipo de facas e possíveis interações entre eles.

Barboza (2000) estudou o desempenho de uma roçadora, acionada pela tomada de potência, variando os tipos de transmissão (direta, por pneu e correia), com e sem defletor em duas alturas de corte. Analisando o consumo de energia médio por área trabalhada, verificou-se a tendência de maior consumo para os tratamentos de sistema de transmissão por pneus com e sem defletor e, de menor consumo, para o sistema de transmissão por correia com e sem defletor.

Estudando o consumo de energia por órgãos ativos de roçadoras, Silveira e Bernardi (2001) concluíram que, tanto o par de correntes quanto as facas novas ou

usadas, não exerceram influência sobre o tipo de trabalho realizado pelo conjunto trator/roçadora. Porém, quando a variável avaliada é o consumo de energia, as lâminas apresentaram tendência em consumir menos energia do que as correntes.

2.3.7 Valetadora Rotativa

A drenagem do solo é um fator importante a ser considerado quando se decide implantar uma cultura, mais ainda se esta for de sequeiro, pois o excesso de umidade dificulta a aeração do solo e interfere também na realização de tarefas mecanizadas, sejam elas de preparo do solo ou para tratos culturais. Em áreas agrícolas, considera-se que a água está em excesso quando interfere na produção das culturas de tal forma que a finalidade da drenagem destas áreas é a obtenção de condições ótimas para a produção agrícola (MILLAR, 1974).

Para Silva e Parfitt (2004), o crescimento de raízes é afetado pelo encharcamento do solo e a formação de raízes secundárias é inibida. Os autores afirmam ainda que com o aumento do tempo de inundação, as raízes enegrecem, podendo morrer e que em condições de alagamento, as plantas podem formar espaços aéreos (aerênquima) no córtex das raízes.

Já no caso do cultivo de arroz irrigado por inundação a drenagem é importante no ponto de vista da mecanização das operações de preparo do solo e dos primeiros tratos culturais do sistema convencional de cultivo.

A drenagem possui duas formas básicas: drenagem superficial, que é a remoção do excesso de água da superfície do solo, para torná-lo adequado ao aproveitamento agrícola, e drenagem subsuperficial ou subterrânea, que remove o excesso de água do perfil do solo, com a finalidade de propiciar condições favoráveis de umidade, aeração e manejo agrícola (SILVA & PARFITT, 2004). A drenagem depende das condições topográficas da área, das características físicas do solo, das espécies cultivadas e dos sistemas de cultivo e de produção empregados. A prática utilizada na maioria dos casos é a abertura de drenos rasos, chamada de valetamento da lavoura. Diversas máquinas e implementos podem ser utilizados para a abertura das valas. Escavadoras hidráulicas, motoniveladoras, e tratores com lâminas, arados ou valetadoras acoplados são alguns exemplos.

Para cultivos anuais (soja, milho, sorgo etc.), o tipo de dreno e de valetadoras utilizadas diferem com o sistema de cultivo, com ou sem preparo do solo. No sistema

convencional, devido à instabilidade do solo e ao risco de obstrução dos drenos, estes devem ser construídos com maior largura utilizando-se valatadora rotativa horizontal. Já no sistema de semeadura direta ou cultivo mínimo, utiliza-se valetadora rotativa vertical, que proporciona menor largura de drenos, possibilitando a passagem de máquinas sem transtornos (SILVA & PARFITT, 2004).

A valetadora rotativa vertical também foi mencionada por Denardin *et al.* (2011) ao descrever a prática conservacionista *vertical mulching*. Constituída por sulcos, locados e construídos em nível, preenchidos com resíduos vegetais.

Esse sulco é preenchido manualmente com palha, preferencialmente de cereais de inverno, e o afastamento horizontal entre os sulcos têm sido de, aproximadamente, 10 m, em função da razão entre as taxas de infiltração de água no solo e no sulco. As dimensões dessa prática conservacionista são decorrentes das características do equipamento motomecanizado, valetadora rotativa, empregado para a construção dos sulcos (DENARDIN *et al.*, 2011).

Além disso, as valetadoras rotativas verticais podem ser utilizadas para canalização de água, colocação de tubos e instalação de sistemas de irrigação. Elas têm funcionamento parecido com o da enxada rotativa. São constituídas basicamente de árvore cardan, caixa de transmissão, eixo rotacional com órgãos ativos (lâminas ou enxadas) e limitador de profundidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 INSTRUMENTAÇÃO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS

Para elaboração deste trabalho foram realizados oito experimentos em campo, envolvendo em cada avaliação um conjunto mecanizado composto por trator e um implemento agrícola, onde foi avaliado o torque necessário para acionar o implemento durante a operação agrícola a qual é destinado.

Também foi avaliada a demanda de torque do implemento trabalhando “em vazio”, ou seja, avaliação da demanda de torque quando o implemento é acionado sem que esteja em deslocamento e/ou desempenhando sua função.

A aquisição de dados foi realizada a partir da utilização de um torciômetro da marca *Datum*®, modelo *Type* 310TSP, instalado entre a TDP do trator e a árvore cardânica responsável por transmitir o movimento do trator para o implemento agrícola (Figura 1).

Figura 1 – Torciômetro posicionado entre a TDP do trator e a árvore cardânica do implemento.

Fonte: Acervo do autor.

Este equipamento tem capacidade para medir força de torção 1800 Newton-metro (N.m) no eixo correspondente, estando configurado para adquirir dados a

cada um segundo. Além de registrar a informação obtida para força de torção no eixo (torque), este equipamento também informa o número de rotações por minuto (rpm) da TDP do trator. A partir dos valores obtidos de torque em N.m e da rotação em rpm é possível calcular a potência em quilowatts (kW) demandada pelo implemento para realizar a operação pela equação 1, descrita por Mialhe (1996):

$$Ptdp = \frac{2\pi . T . n}{60.000} \quad (1)$$

Onde:

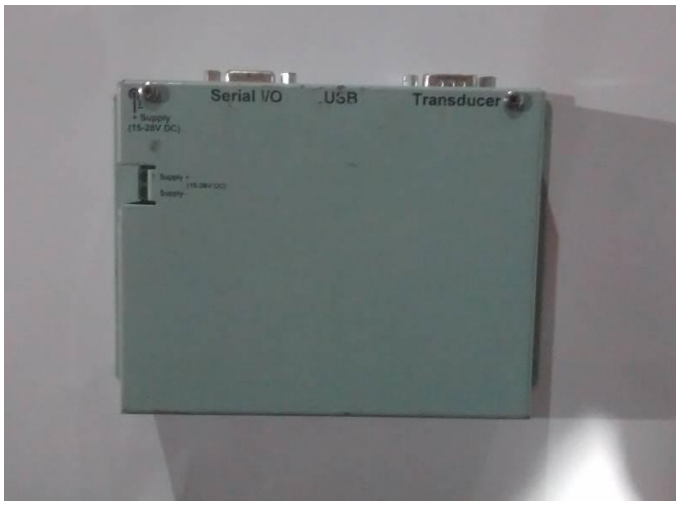
P_{tdp} = Potência média na TDP (kW);

T = Torque médio na TDP (N.m);

n = Velocidade angular média da TDP (rpm);

Após coletar os dados, o torciômetro os envia a um *transducer interface* (transdutor), onde são armazenados (Figura 2).

Figura 2 – Transdutor utilizado nas avaliações.



Fonte: Acervo do autor.

A aquisição e armazenamento dos dados é de forma instantânea, onde os mesmos são armazenados em um microcomputador, por meio do *software* Torquelog®. Este *software* permite a comunicação eletrônica com o torciômetro e

gera um arquivo de texto que pode ser aberto por *softwares* de planilhas eletrônicas.

3.2 ADAPTAÇÃO AOS SISTEMAS DE ACOPLAMENTO

Por ser um elemento que permite o acoplamento entre eixos não concêntricos, ou seja, eixos com centros não alinhados, a árvore cardânica, por ser telescópica, pode ter comprimento fixo ou variável. Os implementos que utilizam a TDP como fonte de potência são fabricados com a árvore cardânica em dimensões que se adequem ao maior número de modelos de tratores possível.

Em implementos rebocados, quando em manobras, há encolhimento da árvore conforme o implemento esteja desalinhado em relação ao trator. Nos implementos acoplados ao sistema de engate de três pontos, ao suspender ou baixar o implemento, também é provocado esse desalinhamento, encurtando e alongando o cardan sucessivamente. Alguns fabricantes de implementos optam por oferecer a árvore cardânica mais longa do que o habitual, para que o cliente corte-o no comprimento correto para o seu trator.

Como o objetivo deste trabalho foi de avaliar a demanda energética na TDP, acoplando um torciômetro entre esta e a árvore cardânica dos implementos, surgiu a necessidade de se desenvolver um prolongamento para os braços do sistema hidráulico, evitando a necessidade de cortar a árvore dos implementos, pois o espaço ocupado pelo equipamento (torciômetro) reduziu o comprimento da mesma.

O ato de cortar parte da árvore cardan do implemento era fator limitante ao empréstimo dos implementos por parte dos produtores parceiros. Ao final do trabalho, somaram cinco os produtores rurais que aceitaram disponibilizar seus equipamentos para a realização das avaliações, de um total de doze entrevistados.

Assim, foi desenvolvido uma alternativa, composta por chapas de aço, devidamente usinadas e soldadas, para os implementos acoplados ao sistema de levante hidráulico de três pontos (Figura 3).

Figura 3 – Adaptação aos dois braços inferiores do sistema de levante hidráulico.

Fonte: Acervo do autor.

Como terceiro ponto de engate, foi soldado um braço de terceiro ponto em sua posição mais alongada, para evitar o desacoplamento da posição, comprometendo as avaliações (Figura 4).

Figura 4 – Adaptação ao terceiro ponto de engate.

Fonte: Acervo do autor.

A Figura 5 mostra os prolongadores desenvolvidos em uso, bem como a situação da árvore cardânica do implemento, próximo ao limite máximo de encurtamento.

Figura 5 – Uso dos adaptadores no experimento. Detalhe para a condição telescópica da árvore cardânica.

Fonte: Acervo do autor.

Já para o caso de um implemento agrícola, cujo acoplamento é através barra de tração, foi utilizado uma travessa metálica, acoplada aos dois braços inferiores do levante hidráulico, utilizada também para tracionar plainas niveladoras, como alternativa para afastar em parte o implemento do trator (Figura 6).

Figura 6 – Ferramenta utilizada para afastar os implementos acoplados pela barra de tração.

Fonte: Acervo do autor.

Estes equipamentos para acoplamento foram desenvolvidos visando aumentar a aceitabilidade por parte dos produtores rurais em disponibilizar seus implementos agrícolas para a realização deste estudo.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram conduzidos em uma propriedade rural na localidade de São Sebastião, município de Restinga Sêca e no setor de bovinocultura de corte do campus sede da Universidade Federal de Santa Maria, ambos na região central do estado do Rio Grande do Sul.

As avaliações da colhedora de forragem e da roçadora foram realizados no campus da UFSM, onde o solo predominante é classificado como Argisolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (EMBRAPA, 2006). Já as avaliações da enxada rotativa e da valetadora rotativa foram realizados na propriedade rural em Restinga Sêca, onde o solo predominante é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico úmbrico (EMBRAPA, 2006). Ambos os solos pertencentes à unidade de mapeamento Santa Maria. Essa classe de solos caracteriza-se pela baixa fertilidade natural, pela susceptibilidade à erosão e pela má drenagem. Largamente utilizado para pastagens, todavia bastante recomendados para culturas de verão, principalmente milho, soja e sorgo. As avaliações da enfardadora, dos distribuidores centrífugos de um e de dois discos e do reboque graneleiro foram realizadas também no município de Restinga Sêca, no entanto, os órgãos ativos destes implementos não interagem com o solo.

O clima nestes dois municípios enquadra-se na classificação climática “Cfa” de Köppen-Geiger, como clima subtropical úmido, possuindo temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC e a temperatura no mês mais frio entre -3º e 18ºC (MORENO, 1961).

O estudo com a colhedora de forragem foi realizado em uma área cultivada com a cultura do milho (*Zea mays*) para produção de silagem. Entretanto, devido aos problemas mecânicos com os tratores do setor e ao clima chuvoso naquele período, a cultura passou do ponto ideal para silagem. Desta forma, já não era mais possível observar a linha do leite, devido ao estado avançado de maturação da cultura (Figura 7). Para este estudo, foi adotado o método direto de corte do material, ou seja, as plantas foram cortadas e trituradas simultaneamente.

Figura 7 – Destaque para a maturação da cultura do milho.

Fonte: Acervo do autor.

Na caracterização dos parâmetros experimentais da área, foram determinadas a distância entre as linhas de semeadura, as estimativas de população de plantas, quantidade de massa fresca e seca por hectare e a altura média de corte.

A população de plantas da área foi estimada pela contagem de plantas em amostras de 5 m de comprimento, em diferentes linhas. Considerando a distância de 60 cm entre linhas, chegou-se ao número médio de 53 mil plantas por hectare. Da mesma forma, a estimativa de massa fresca e massa seca foram feitas cortando as plantas de amostras de 5 metros lineares e, posteriormente, levando as amostras a laboratório para pesagem e secagem em estufa a 60°C por cinco dias até constância de massa. Tão logo, chegou-se aos valores de 12 $t.ha^{-1}$ e 23,1 $t.ha^{-1}$ de massa seca e massa fresca, respectivamente, com teor de umidade de 48%, cortando as plantas a cerca de 20 cm do solo, altura média de corte realizado pela máquina.

No caso da enxada rotativa, a área onde foi realizado o experimento havia sido cultivada com aveia (*Avena sativa* L.), a qual foi colhida e teve seus restos culturais enfardados e retirados da área.

Após a retirada dos fardos do local, foi realizada uma gradagem em metade da área e duas gradagens na outra metade, utilizando grade niveladora leve (GNL) da marca Tatu, de 36 discos, espaçados em 0,18 m. As expressões “uma

gradagem” e “duas gradagens” definem a variável condição de solo do experimento.

Na caracterização da área experimental foi determinada a resistência do solo à penetração. Esta foi mensurada pela utilização de um penetrômetro da marca *Falker*®, modelo PLG 1020, com cone tipo 2 (diâmetro de 12,83 mm). O índice de cone foi obtido a partir da resistência a penetração do solo no perfil de 0,0 a 0,4 m de profundidade com dez amostragens realizadas de forma aleatória na área, encontrando em média, o valor máximo de 1998,0 quilo-Pascal (kPa) a 0,12 m de profundidade. Também foi obtido o valor de 7,4% de umidade do solo, coletado no momento da execução do experimento e levado à secagem em estufa por três dias, até constância de massa. A densidade média encontrada para o solo foi de 1,39 g/cm^3 e o teor de argila encontrado foi de 14%.

No experimento com a roçadora, a área onde foi realizado o trabalho encontrava-se em condição de pousio com presença de plantas invasoras, com predomínio do capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees). A vegetação da área foi superior a dois metros de altura em alguns pontos (Figura 8).

Figura 8 – Área de realização do experimento com vegetação predominante.

Fonte: Acervo do autor.

Na caracterização da área experimental, foi determinada a altura do material vegetal, a quantidade estimada de massa fresca e seca por hectare e a quantidade estimada de material segado – massa fresca e seca.

A estimativa da massa fresca e da massa seca do material foi realizada com o uso de um quadrado metálico de lado igual a um metro. O material foi cortado rente

ao solo, pesado e submetido à secagem em estufa a 60°C por cinco dias, até massa constante. Assim, chegou-se à quantidade aproximada de 28 e 11,2 toneladas por hectare, de massa fresca e massa seca, respectivamente.

Já no estudo com a valetadora rotativa, a área onde foi realizado o experimento havia sido cultivada com consórcio de aveia (*Avena sativa* L.) e azevém (*Lolium multiflorum*) para pastejo rotacionado. O experimento foi conduzido aproximadamente 20 dias após a retirada dos animais da área.

Na caracterização da área experimental, foi determinada a resistência do solo à penetração. Esta foi mensurada pela utilização de um penetrômetro da marca *Falker*®, modelo PLG 1020, com cone tipo 2 (diâmetro de 12,83 mm). O índice de cone foi obtido a partir da resistência a penetração do solo no perfil de 0,0 a 0,4 m de profundidade com 12 amostragens realizadas de forma aleatória na área, obtendo em média, o valor máximo de 2017,0 kPa a 0,13 m de profundidade. Também foi obtido o valor de 16,2% de umidade do solo, coletado no momento da execução do experimento e levado à secagem em estufa até constância de massa. A densidade média encontrada para o solo foi de 1,43 $g.cm^{-3}$ e o teor de argila encontrado foi de 24%.

3.4 TRATOR TESTE

Por se tratar da avaliação de implementos agrícolas, a realização deste trabalho dependia da parceria com produtores rurais para empréstimo de seus implementos e da disponibilidade de tratores agrícolas para acioná-los, fossem estes de produtores rurais parceiros ou da UFSM.

Para a avaliação da demanda de torque na TDP pela colhedora de forragem, foi utilizado um trator da marca Massey Fergusson, modelo MF 275, de 55,2 kW (75 cv) de potência segundo o fabricante, com tração 4x2 e transmissão mecânica 8x2. O veículo estava equipado com pneus traseiros do tipo R2, de construção diagonal e medidas 18.4 - 30. Possui TDP padronizada de 6 estrias e velocidade angular padronizada da TDP para atingir 540 rpm (Figura 9).

Figura 9 – Trator agrícola utilizado na condução do experimento com a colhedora de forragem.

Fonte: Acervo do autor.

Na avaliação da demanda de torque na TDP pelos distribuidores centrífugos de um e dois discos, pela enfardadora e pelo reboque graneleiro, foi utilizado um trator da marca Ford, modelo 6610, de 62,5 kW (85 cv) de potência de acordo com o fabricante, fabricado em 1986, com tração 4x2 e transmissão mecânica 8x2 (Figura 10).

Figura 10 – Trator agrícola utilizado na condução dos experimentos com os distribuidores centrífugos de um e dois discos, com a enfardadora e com o reboque graneleiro.

Fonte: Acervo do autor.

O trator estava equipado com pneus traseiros do tipo R2, de construção diagonal e medidas 23.1 – 26 da marca Firestone. O trator possui TDP padronizada de seis estrias e velocidade angular padrão de 540 rpm, independente e de acionamento hidráulico.

Para os experimentos com a enxada rotativa e com a valetadora rotativa foi utilizado um trator agrícola de rodas da marca New Holland, modelo T7.175 SPS, fabricado no ano de 2015 (Figura 11), com tração dianteira auxiliar (TDA), no qual se instalou a instrumentação eletrônica para aquisição de dados.

Figura 11 – Trator agrícola utilizado na condução dos experimentos com a enxada rotativa e com a valetadora rotativa.

Fonte: Acervo do autor.

O trator conta com um motor de ciclo Diesel da marca New Holland, modelo New Holland NEF™, de 6 cilindros, totalizando 6,7 L de volume deslocado. O motor com 104 kW (144 cv) a 2200 rpm, possui sistema de injeção eletrônica do tipo *Commom Rail*.

O trator estava equipado com pneus do tipo R2, com medidas 20.8 – 38 no rodado traseiro e 18.4 – 26 no rodado dianteiro. Ambos os pneus, dianteiros e traseiros, de construção diagonal, da marca Goodyear.

A transmissão do trator é do tipo *Full Powershift Power Command*™, composta por 18 marchas à frente e 6 marchas à ré. O trator possui tomada de potência (TDP) padronizada de 6 estrias e velocidade angular padronizada em 540 e

1000 rpm, de acionamento eletro-hidráulico.

Já para a realização do experimento com a roçadora, foi utilizado o trator da marca Massey Ferguson, modelo MF 6713R Dyna-4, 4x2 com TDA, de 99,3kW (135 cv) de potência segundo informações do fabricante. Equipado com transmissão Dyna-4 16x16 Semi-Powershift e pneus R1 da marca Trelleborg de construção radial, com medidas 18.4 – 38 na traseira e 14.9 – 34 na dianteira (Figura 12).

Figura 12 – Trator agrícola utilizado na condução do experimento com a roçadora.

Fonte: Acervo do autor.

O trator possui TDP padronizada de 6 estrias, velocidade angular padrão de 540 e 1000 rpm e de acionamento eletro-hidráulico.

3.5 IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

3.5.1 Colhedora de Forragem

Utilizou-se uma colhedora forrageira da marca NOGUEIRA, modelo PECUS 9004 - geração 4. O equipamento, que pertence à Universidade Federal de Santa Maria, com capacidade para uma linha de corte, possuindo transmissão por polias e correias e leme de exaustão da forragem com acionamento direcional de forma hidráulica. A máquina também permite a regulagem do tamanho do material picado através de conjuntos de engrenagens, que alteram a velocidade de giro dos rotores

recolhedores e possui afiador acoplado a tampa da carcaça (Figura 13).

Figura 13 – Colhedora de forragem utilizada no experimento em processo de afiamento das lâminas.

Fonte: Acervo do autor.

Durante o experimento em campo, o equipamento foi regulado para trabalhar em duas configurações para tamanho do material picado, sendo de 10 e 20 milímetros em média, compondo assim, a variável tamanho de material picado.

Foi determinada a velocidade periférica dos órgãos ativos do equipamento pela Equação 2.

$$Vp = \frac{n \times Rt \times P}{60} \quad (2)$$

Onde:

Vp = Velocidade periférica dos órgãos ativos do implemento em $m.s^{-1}$;

n = Rotação média da TDP do trator (540 rpm);

Rt = Relação de transmissão árvore órgãos ativos do implemento/TDP;

P = Perímetro de rotação dos órgãos ativos (m);

60 = Fator de conversão.

Obtendo os valores de 1500 rpm para o tambor das lâminas, perímetro de rotação das lâminas de 1,572 m e 39,3 $m.s^{-1}$ de velocidade periférica das lâminas. Essa velocidade periférica indica qual a velocidade em que o material pode ser atingido pelas lâminas.

3.5.1.1 Procedimentos Experimentais e Estatísticos

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso com cinco tratamentos e fileiras/linhas de milho. O desempenho do conjunto trator+colhedora foi avaliado em duas diferentes marchas de operação, V1 e V2, respectivamente, além de duas configurações para tamanho de material picado, sendo elas, 10 e 20 milímetros em média (tabela 1).

Tabela 1 – Tratamentos utilizados, velocidade de trabalho e tamanho de material picado, obtidos durante os testes.

Tratamento	**Velocidade ($km.h^{-1}$)**	**Tamanho do material picado (mm)**
T1(avaliação em vazio)	– 0,00	–
T2	V1 – 1,89	10
T3	V1 – 1,89	20
T4	V2 – 2,55	10
T5	V2 – 2,55	20

A velocidade de trabalho foi obtida a partir da medição do tempo despendido para o conjunto mecanizado percorrer a distância de 50 metros.

Os dados foram coletados pelo torciômetro em parcelas compostas pela fileira a ser colhida e comprimento definido pelo tempo de um minuto em operação, desempenhada efetivamente pelo conjunto mecanizado, onde foram feitas as leituras. Desse modo, o valor utilizado como resultado da parcela é a média aritmética de um total de 60 leituras de torque pelo torciômetro, sendo descartados dados iniciais e finais em cada fileira avaliada.

3.5.2 Distribuidor centrífugo de um disco

Utilizou-se um distribuidor centrífugo de um disco, da marca Stara Sfil, modelo TORNADO 600 MD, com capacidade para 600 kg, de engate nos três pontos do sistema de levante hidráulico do trator (Figura 14).

Figura 14 – Distribuidor centrífugo de um disco utilizado no trabalho.

Fonte: Acervo do autor.

O equipamento possui um agitador interno do reservatório que impede a compactação dos produtos quando em funcionamento. Possui também abertura mecânica por meio de uma alavanca e permite a observação da abertura por meio de uma escala que vai de 0 a 11. O disco de distribuição possui quatro palhetas com possibilidade de regulagem conforme o produto a ser aplicado, visando à uniformidade de aplicação, bem como a largura de aplicação. Neste experimento, as palhetas foram ajustadas na posição mais atrasada, ou seja, na posição em que estas formavam um ângulo de 90 graus com o centro do disco.

Foi determinada a velocidade angular do disco e a velocidade periférica das palhetas do equipamento pela Equação 2 (Item 3.5.1), utilizando valores de 540 rpm para velocidade angular da TDP, 1,92 m para o perímetro de rotação dos órgãos ativos e 1,0 para a relação de transmissão disco de distribuição/TDP, obtendo assim, os valores de 540 rpm para a velocidade angular do disco e 17,25 $m.s^{-1}$ de velocidade periférica das palhetas. Esta velocidade periférica exerce influencia na

velocidade em que o produto é lançado, ocasionando variação na largura de aplicação bem como no perfil de distribuição dos produtos.

3.5.2.1 Procedimentos Experimentais e Estatísticos

O experimento foi realizado com o conjunto trator+implemento sem deslocamento (estático), onde foi avaliado a demanda de torque na TDP ao aplicar dois tipos de fertilizantes granulados em três taxas de aplicação diferentes.

Os produtos utilizados foram o fertilizante nitrogenado (uréia – 46%) e o fertilizante de fórmula 5-25-25 (N-P-K), ambos da marca Yara Fertilizantes.

As aberturas do dosador foram estipuladas de acordo com a escala existente no equipamento, que vai de 0 a 11, definidas em 3,5, 7,0 e 10,5 m. A Tabela 2 demonstra a nomenclatura utilizada para os tratamentos, bem como a vazão em kg por segundo, de cada produto para as diferentes regulagens do dosador.

Tabela 2 – Tratamentos utilizados, tipo de produto, escala de abertura e vazão do produto, obtidos durante os testes.

Tratamento	**Produto**	**Abertura**	**Vazão (kg.minuto^{-1})**
T1(avaliação em vazio)	–	–	–
T2	NPK	3,5	42,8
T3	NPK	7,0	96,2
T4	NPK	10,5	150,4
T5	URÉIA	3,5	35,9
T6	URÉIA	7,0	78,7
T7	URÉIA	10,5	121,5

Este experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos e quatro repetições.

Para o controle de qualidade do experimento, foram realizadas determinações de análise granulométrica e densidade dos fertilizantes (Tabela 3). Estes fatores podem influenciar o perfil de distribuição do produto por adquirir mais ou menos energia durante o lançamento.

Tabela 3 – Resultados de análise granulométrica e densidade dos materiais.

Peneiras	Abertura (mm)	Material passante (%)	
		URÉIA	NPK
3/8”	9,5	100,00	100,00
n. 4	4,76	100,00	99,82
n. 8	2,38	7,84	20,07
n. 10	2,0	0,88	6,09
n. 40	0,425	0,18	0,28
n. 80	0,18	0,15	0,02
n. 200	0,074	0,13	0,01
Densidade (g.cm^{-3})		0,744	1,013

Adotou-se como valor obtido para cada repetição, a média de 60 leituras feitas pelo torciômetro (1 minuto de avaliação), descartando-se as medidas obtidas de início e término das avaliações, e também de eventuais paradas durante a avalição.

3.5.3 Distribuidor centrífugo de dois discos

Foi utilizado um distribuidor centrífugo de dois discos de distribuição, da marca JAN, modelo Lancer 7.500, com capacidade para 4,20 m^3, acoplado pela barra de tração do trator (Figura 15).

Figura 15 – Distribuidor centrífugo de dois discos utilizado nas avaliações.

Fonte: Acervo do autor.

O equipamento possui caixas de transmissão que levam o movimento e a energia fornecidos pela TDP aos discos de distribuição e à esteira de alimentação longitudinal. Possui também abertura para controle de vazão com auxílio de uma rosca sem fim, com escala indicadora na lateral. Além disso, é possível alterar a velocidade da esteira alimentadora, alterando pares de engrenagens e, da mesma forma é possível alterar a velocidade de giro dos discos de distribuição.

Os discos possuem quatro palhetas cada, com possibilidade de regulagem conforme o produto a ser aplicado, visando à uniformidade de aplicação, bem como a largura de aplicação. Neste experimento, as palhetas foram ajustadas na posição em que estas formavam um ângulo de 90 graus com o centro dos discos.

Foram determinadas a rotação dos discos e a velocidade periférica das palhetas pela Equação 2 (Item 3.5.1), utilizando os valores de 540 rpm para a velocidade angular da TDP, 1,95 m para o perímetro de rotação das palhetas e 2,0 para a relação de transmissão discos de distribuição/TDP.

Assim, obtiveram-se os valores de 1080 rpm para os discos e 35,06 $m.s^{-1}$ de velocidade periférica das palhetas. Também foi determinada a velocidade de deslocamento da esteira alimentadora para a situação deste trabalho, obtendo o resultado de 6,96 $m.minuto^{-1}$ ou 11,6 $cm.s^{-1}$.

3.5.3.1 Procedimentos Experimentais e Estatísticos

O experimento foi realizado com o conjunto trator+implemento estático, onde foi avaliado a demanda de potência na TDP pelo torciômetro ao distribuir dois produtos distintos, conduzido no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com dez tratamentos e quatro repetições.

Os produtos utilizados foram o adubo orgânico, fornecido pela empresa Folhito, composto basicamente por cama de aviário e, calcário agrícola em duas condições de umidade. O fertilizante orgânico foi utilizado na condição de umidade na qual se encontrava no monte (18,7% de umidade). Já o calcário foi utilizado na condição de umidade em que foi entregue (1,19%), tratado neste experimento como “Calcário Seco” e, com umidade induzida (6,47%), adicionando água ao monte e homogeneizando posteriormente, tratado como “Calcário Úmido”.

As aberturas do dosador foram estipuladas de acordo com a escala existente

no equipamento, que vai de 0 a 20, definidas em 5, 10 e 15. A Tabela 4 mostra a nomenclatura utilizada para os tratamentos, bem como a vazão em kg por minuto, de cada produto para as diferentes regulagens do dosador.

Tabela 4 – Tratamentos utilizados, tipo de produto, escala de abertura e vazão do produto, obtido durante os testes.

Tratamento	**Produto**	**Abertura**	**Vazão (kg.minuto^{-1})**
T1(avaliação em vazio)	–	–	–
T2	Adubo Orgânico	5	38,3
T3	Adubo Orgânico	10	93,7
T4	Adubo Orgânico	15	148,4
T5	Calcário Seco	5	164,6
T6	Calcário Seco	10	332,4
T7	Calcário Seco	15	535,7
T8	Calcário Úmido	5	192,8
T9	Calcário Úmido	10	378,1
T10	Calcário Úmido	15	584,9

Para o controle de qualidade do experimento, também foram realizadas determinações de análise granulométrica e densidade dos produtos (Tabela 5), fatores que podem influenciar a distância de lançamento dos produtos.

Tabela 5 – Resultados de análise granulométrica e densidade dos materiais utilizados.

(CONTINUA)

Peneiras	**Abertura (mm)**	**Material passante (%)**	
		F. Orgânico	**Calcário**
1”	25,4	95,10	100,00
3/4"	19,1	73,37	100,00
3/8"	9,5	52,61	100,00

Tabela 5 – Resultados de análise granulométrica e densidade dos materiais utilizados.

(CONCLUSÃO)

n. 4	4,76	35,08	100,00
n. 40	0,425	6,41	69,06
n. 80	0,18	1,17	33,83
n. 200	0,074	0,21	15,46
Densidade material seco (g.cm^{-3})		0,491	1,537

Adotou-se como valor obtido para cada repetição, a média de 60 leituras feitas pelo torciômetro (1 minuto de avaliação), descartando as medidas iniciais e finais de cada repetição. Em caso de eventual parada por qualquer que fosse o motivo, aquela repetição era desprezada.

3.5.4 Enfardadora

Neste experimento foi utilizada uma enfardadora da marca SEMEATO, modelo ROL 1518, fabricada no ano de 1992. Esta enfardadora produz fardos cilíndricos e possui câmara variável, ou seja, condiciona e enfarda o material por meio de correias, permitindo a produção de fardos de 1,5 m de largura e que pode variar de 0,4 m a 1,6 metros de diâmetro (Figura 16).

Figura 16 – Enfardadora utilizada no experimento.

Fonte: Acervo do autor.

Acoplado à barra de tração do trator, este equipamento também tem um dispositivo que informa a tensão das correias sobre o fardo, indicando seu tamanho. Isto serve como referência para o operador parar o trator e amarrar o fardo mecanicamente.

3.5.4.1 Procedimentos Experimentais e Estatísticos

O experimento foi realizado utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde foi avaliada a demanda de torque na TDP ao produzir fardos de restos culturais de três culturas anuais: arroz irrigado (*Oryza sativa*), aveia (*Avena sativa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), sob duas velocidades de trabalho (V1 e V2) – (Tabela 6).

Tabela 6 – Tratamentos utilizados, tipo de produto, velocidade de trabalho e massa de forragem, obtidos durante os testes.

Tratamento	**Produto**	**Velocidade ($km.h^{-1}$)**	**Massa de forragem ($kg.ha^{-1}$)**
T1(avaliação em vazio)	–	–	–
T2	Palha de arroz	V1 – 3,18	8170
T3	Palha de arroz	V2 – 5,68	8170
T4	Palha de aveia	V1 – 3,36	1960
T5	Palha de aveia	V2 – 5,93	1960
T6	Palha de azevém	V1 – 3,36	1370
T7	Palha de azevém	V2 – 5,93	1370

Os produtos enfardados foram provenientes da colheita mecanizada de grãos, onde foi desligado o mecanismo espalhador de restos culturais da colhedora, fazendo com que esta saísse da colhedora já disposta em leiras. Em todas as culturas, foi respeitado um período de secagem ao sol para evitar perda de qualidade do material durante a armazenagem (Figura 17).

Figura 17 – Colheita de arroz e leiras de restos culturais secando ao sol.

Fonte: Acervo do autor.

A estimativa da massa de forragem enfardada por hectare foi definida a partir do recolhimento de amostras de material das leiras, com posterior pesagem e secagem em estufa a 60°C. Estas amostras foram coletadas em cinco metros de comprimento da leira, sendo que, para determinação da área, foi considerada a largura efetiva de corte da plataforma da colhedora, obtida a partir da distância entre os rastros da colhedora.

Na determinação da umidade do material, foram encontrados os valores de 16,3% de umidade nos restos culturais da cultura do arroz , 10,6% da cultura da aveia e 7,1% da cultura do azevém.

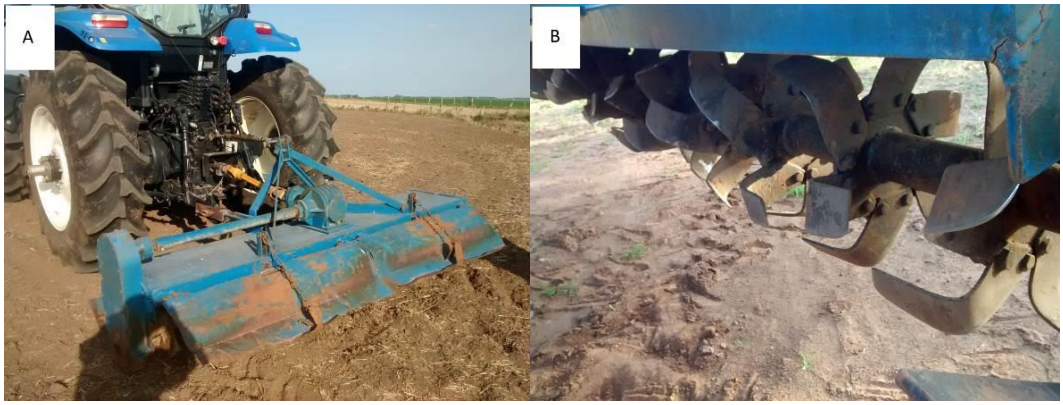
Adotou-se como valor obtido para cada repetição, a média de 60 leituras feitas pelo torciômetro (1 minuto de avaliação), durante a produção de um fardo, descontando o tempo de eventuais paradas para desobstrução do molinete recolhedor da máquina. Em caso de muitas paradas, o levantamento realizado sobre aquele fardo era desprezado e iniciado outro em sequência.

3.5.5 Enxada Rotativa

Utilizou-se uma enxada rotativa da marca MEC RUL, modelo ER 275 (Figura 18), com 2,75 m de largura útil, controle de profundidade por patins, transmissão simples, com apenas uma velocidade e tampa traseira regulável. Este implemento é

composto por 66 lâminas universais (tipo “L”) distribuídas alternadamente em 11 flanges.

Figura 32 – Enxada rotativa utilizada no experimento (A). Detalhe das lâminas tipo “L” (B).



Fonte: Acervo do autor.

Antes de iniciar os trabalhos, a enxada rotativa foi regulada para atingir a profundidade de trabalho de até 0,15 m, o que foi possível devido à condição de umidade do solo durante o experimento. Esta profundidade vem ao encontro dos valores médios de resistência à penetração, onde até 0,15 m de profundidade encontramos valores de aproximadamente 2000 kPa de resistência do solo.

Foi determinada a velocidade periférica dos órgãos ativos do equipamento pela Equação 2 (Item 3.5.1), utilizando os valores de 540 rpm para velocidade angular da TDP, 1,26 m para o perímetro de rotação dos órgãos ativos do implemento e 1,0 para a relação de transmissão “eixo com órgãos ativos/TDP”, obtendo o valor de 11,31 $m.s^{-1}$.

A velocidade periférica dos órgãos ativos deste tipo de implemento exerce influência sobre a velocidade de trabalho do conjunto mecanizado, uma vez que pode minimizar a resistência ao rolamento por trabalhar no mesmo sentido de giro das rodas do trator.

3.5.5.1 Procedimentos Experimentais e Estatísticos

Foi avaliado o desempenho do conjunto trator+enxada rotativa, em três

diferentes marchas de operação, V1, V2 e V3, além de duas condições de solo: solo com uma gradagem, com a camada de mobilizada de 0,06 m e com duas gradagens, com 0,09 m de camada de solo mobilizada. Assim, o experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições/blocos. Na Tabela 7, está representada a nomenclatura utilizada para os tratamentos.

Tabela 7 – Tratamentos utilizados, velocidade real de trabalho, número de gradagens e profundidade das gradagens, obtidas durante a realização dos experimentos.

Tratamento	**Velocidade ($km.h^{-1}$)**	**Número de gradagens**	**Profundidade das gradagens (m)**
T1(avaliação em vazio)	– 0,00	–	-
T2	V1 – 2,14	1	0,06
T3	V2 – 2,61	1	0,06
T4	V3 – 3,10	1	0,06
T5	V1 – 2,14	2	0,09
T6	V2 – 2,61	2	0,09
T7	V3 – 3,10	2	0,09

A velocidade real de trabalho foi obtida a partir da medição do tempo despendido para o conjunto mecanizado percorrer a distância de 50 metros em operação efetiva.

Os dados foram coletados em parcelas de 2,75 metros de largura – largura útil do implemento – e comprimento definido pelo tempo de um minuto em operação, desempenhada efetivamente pelo conjunto mecanizado. Assim, o valor utilizado como resultado da parcela foi a média aritmética de um total de 60 leituras de torque pelo torciômetro, desprezando os valores iniciais e finais de cada repetição avaliada.

3.5.6 Reboque Graneleiro

Neste experimento, foi utilizado um reboque graneleiro da marca AGRIMEC, modelo 2G7 com capacidade para 7.000 kg. O equipamento possui tubo de

descarga de 0,34 m (Figura 19).

Figura 19 – Reboque graneleiro utilizado no experimento.

Fonte: Acervo do autor.

O equipamento é acoplado na barra de tração do trator, também possibilita que a abertura/fechamento do registro de descarga e a elevação/dobramento do tubo de descarga sejam acionadas através do fluxo hidráulico do trator.

3.5.6.1 Procedimentos Experimentais e Estatísticos

O experimento foi realizado com o conjunto trator+graneleiro na condição estática, utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde foi avaliada a demanda de torque na TDP ao realizar a descarga de arroz (*Oryza sativa*), com casca, em três situações de abertura do registro de descarga.

Além de avaliar o implemento “em vazio”, foram criadas as condições de 20%, 40% e 60% de abertura do registro. O motivo de não impor maior abertura ao registro foi de recomendações do proprietário, devido à abrasividade da cultura do arroz, para não danificar a caixa de transmissão do equipamento.

Para determinação do tempo de descarga, foi medido o tempo necessário para descarregar o reboque por completo, parando o cronômetro próximo ao final da descarga, quando a alimentação do tubo de descarga já não fosse suficiente.

Instantaneamente, fechava-se o registro, desprezando o material remanescente no graneleiro (Tabela 8).

Tabela 8 – Tratamentos utilizados, abertura do registro de descarga, tempo de descarga e vazão de descarga, obtidos durante os testes.

Tratamento	**Abertura do registro**	**Tempo de descarga (min.)**	**Vazão de descarga ($kg.s^{-1}$)**
T1(avaliação em vazio)	–	-	–
T2	20%	17:35	6,95
T3	40%	13:20	9,25
T4	60%	8:55	14,02

Já a vazão de descarga, além de considerar este tempo cronometrado, considerou-se a quantidade de produto descarregado no caminhão. Este teve pesagem antes de iniciar a descarga (vazio) e após seu término (parcialmente carregado).

Como características do arroz em casca, foram obtidos os valores de umidade presente na massa de grãos, o percentual de grãos inteiros e de impurezas e, o peso hectolitro (PH) do arroz.

Após as determinações, obtiveram-se os valores médios de 12% de umidade dos grãos, 60% de grãos inteiros, 1,5% de impurezas e PH de 57,8.

Adotou-se como valor obtido para cada repetição, a média de 60 leituras feitas pelo torciômetro (1 minuto de avaliação), durante a descarga dos grãos. Neste experimento, as leituras foram geradas durante todo o tempo de descarga, possibilitando a análise de todo processo e permitindo a retirada das quatro médias que foram utilizadas como repetições.

3.5.7 Roçadora

Utilizou-se uma roçadora da marca LAVRALE, modelo ATD-8300, de três metros de largura. O equipamento, que pertence à Universidade Federal de Santa Maria, possui dois rotores, com duas navalhas cada, ligados por correias à caixa de

transmissão. Possui regulagem lateral para altura de corte e rodas limitadoras de altura na parte traseira (Figura 20).

Figura 20 – Roçadora utilizada no experimento.

Fonte: Acervo do autor.

Durante o experimento, o equipamento foi regulado para trabalhar em duas alturas de corte, sendo o resultado médio obtido de 0,12 e 0,17 m, compondo assim, a variável altura de corte. Estas alturas foram determinantes para a quantidade estimada de material remanescente, considerando a distância do solo até a altura do corte. Dessa forma, os valores de 7,5 e 11,7 $t.ha^{-1}$ de massa fresca e 3,8 e 5,4 $t.ha^{-1}$ de massa seca de material remanescente, foram estimados para as alturas de corte de 0,12 e 0,17 m, respectivamente.

3.5.7.1 Procedimentos Experimentais e Estatísticos

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições/blocos. Além da avaliação “em vazio”, foi avaliada a demanda de torque na TDP em três diferentes velocidades de trabalho, V1, V2 e V3, além de duas alturas de corte (Tabela 9).

Tabela 9 – Tratamentos utilizados, velocidade de trabalho e altura média de corte,

obtidos durante os testes.

Tratamento	Velocidade (km.h^{-1})	Altura de corte (m)
T1(avaliação em vazio)	– 0,00	–
T2	V1 – 1,88	0,12
T3	V2 – 2,37	0,12
T4	V3 – 2,81	0,12
T5	V1 – 1,88	0,17
T6	V2 – 2,37	0,17
T7	V3 – 2,81	0,17

A velocidade real de trabalho foi determinada a partir da medição do tempo despendido para o conjunto mecanizado percorrer a distância de 50 m.

Os dados foram coletados em parcelas de três metros de largura – largura de trabalho do equipamento – e comprimento definido pelo tempo de um minuto em operação, desempenhada efetivamente pelo conjunto mecanizado. Desse modo, o valor utilizado como resultado da parcela, foi a média aritmética de um total de 60 leituras de torque pelo torciômetro, desprezando as leituras iniciais e finais de cada repetição.

3.5.8 Valetadora Rotativa

Utilizou-se uma valetadora rotativa da marca AGRIMEC, modelo ER 275, com rotor circundado por 20 lâminas universais (tipo “L”), dispostas alternadamente, conferindo largura de, aproximadamente, 0,10 m às valas. O equipamento possui controle de profundidade por patim, transmissão simples, com apenas uma velocidade (Figura 21).

Durante os trabalhos, o equipamento foi regulado para atingir as profundidades de 0,10 e 0,20 m, compondo a variável profundidade. Estas profundidades vão ao encontro dos valores médios de resistência do solo à penetração, onde até 0,20 m de profundidade foram encontrado valores de aproximadamente 2000 kPa de resistência.

Figura 21 – Valetadora rotativa utilizada no experimento.

Fonte: Acervo do autor.

Foi determinada a velocidade periférica dos órgãos ativos do equipamento pela Equação 2, utilizando o valor de 540 rpm para a velocidade angular da TDP, 3,02 m para o perímetro de rotação dos órgãos ativos e 1,0 para a relação de transmissão rotor com órgãos ativos/TDP.

O valor encontrado para a velocidade periférica foi de 27,14 $m.s^{-1}$. Este parâmetro pode influenciar a velocidade de trabalho do conjunto mecanizado porque este implemento agrícola possui sentido de rotação de trabalho contrário ao das rodas do trator, demandando tração por parte do trator.

3.5.8.1 Procedimentos Eperimentais e Estatísticos

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições/blocos, avaliando a demanda de torque na TDP. Além da condição “em vazio”, foi avaliada a demanda de torque na TDP em três diferentes marchas de operação, V1, V2 e V3, além de duas profundidades de operação.

A velocidade de trabalho foi obtida a partir da medição do tempo despendido para o conjunto mecanizado percorrer a distância de 50 metros em operação efetiva (Tabela 10).

Tabela 10 – Tratamentos utilizados, velocidade de trabalho e profundidade média, obtidas durante os testes.

Tratamento	**Velocidade (km.h^{-1})**	**Profundidade (m)**
T1(avaliação em vazio)	– 0,00	–
T2	V1 – 2,14	0,10
T3	V2 – 2,59	0,10
T4	V3 – 3,05	0,10
T5	V1 – 2,09	0,20
T6	V2 – 2,54	0,20
T7	V3 – 3,00	0,20

Os dados foram coletados em parcelas de 10 centímetros de largura – largura de trabalho do equipamento – e comprimento definido pelo tempo de um minuto em operação, desempenhada efetivamente pelo conjunto mecanizado. Dessa forma, o valor utilizado como resultado da parcela, na verdade, é a média aritmética de um total de 60 leituras de torque pelo torciômetro.

3.6 TRATAMENTO DOS DADOS

Após a fase experimental de coleta de dados de todos os experimentos, passou-se para a fase de análise, onde os dados receberam os devidos tratamentos qualitativos. Para a análise estatística dos resultados, utilizou-se o *software* SISVAR® da Universidade Federal de Lavras, na versão 5.6 (FERREIRA, 2008). Os resultados foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos a que os conjuntos mecanizados foram submetidos neste trabalho são apresentados resumidamente na Tabela 11. Além das variáveis descritas, todos os implementos foram avaliados na condição “em vazio”, ou seja, avaliação feita de forma estática e sem interação do implemento com o produto ou meio com que trabalha.

Tabela 11 – Implementos avaliados, tratamentos impostos e variáveis analisadas durante os experimentos.

Implemento	Tratamentos	Variáveis
Colhedora de forragem	7	Velocidade (V1 e V2) Tamanho de picado (10 e 20 mm)
Distribuidor de um disco	7	Produto (NPK e URÉIA) Abertura de “0 a 11” (3,5; 7,0 e 10,5)
Distribuidor de dois discos	10	Produto (Adubo orgânico, Calcário seco e Calcário úmido) Abertura de “0 a 21” (5, 10 e 15)
Enfardadora	7	Produto enfardado (Palha de arroz, de aveia e de azevém) Velocidade (V1 e V2)
Enxada rotativa	7	Condição de solo (Uma gradagem e Duas gradagens) Velocidade (V1, V2 e V3)
Reboque graneleiro	4	Abertura do registro de descarga (20%, 40% e 60%)
Roçadora	7	Altura de corte (0,12 e 0,17 m) Velocidade (V1, V2 e V3)
Valetadora rotativa	7	Profundidade (0,10 e 0,20 m) Velocidade (V1, V2 e V3)

Observando os resultados das tabelas de análise de variância, com P-valor (Pr>Fc), é possível identificar se há interação entre as variáveis e, se há diferença significativa entre pelo menos dois dos tratamentos estudados.

4.1 COLHEDORA DE FORRAGEM

Os resultados obtidos dos cinco tratamentos do experimento analisados e tratados separadamente são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, com velocidade e tamanho de material picado obtidos.

Velocidade	Tamanho de picado (mm)	Torque (Nm)	Potência (kW)
-	-	116,76	6,60
V1	10	221,91	12,54
V2	10	435,59	24,62
V1	20	193,56	10,94
V2	20	334,70	18,92

A análise estatística dos dados obtidos resultou na geração da Tabela 13.

Tabela 13 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, tamanho, interação, repetição, erro, CV e média.

Fator	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado	Pr>Fc
Velocidade (V)	1	125895	125895	182.043	0.0000
Tamanho (T)	1	16703	16703	24.153	0.0008
V x T	1	5262	5262	7.609	0.0222
Repetição	3	3796	1265	1.830	0.2119
Erro	9	6224	691		
CV (%)	8,87				
Média	296,437				

Os resultados obtidos para o P-valor (Pr>Fc), menor do que 0,05 (5%) indicam que há variação decorrente das variáveis velocidade de trabalho e tamanho do material picado. Indicam também que há interação entre as variáveis do experimento, em pelo menos dois dos tratamentos.

Complementando a análise estatística, os resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, tamanho de picado, velocidade e torque obtidos nos testes.

Tamanho de picado	**Torque (Nm)**	
	V1	**V2**
10	221,90 bA*	435,58 aA
20	193,56 bA	334,69 aB

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Os resultados indicam que à medida que se aumenta a velocidade de trabalho, aumenta também a demanda de torque na TDP, devido a maior quantidade de material a ser triturado num intervalo de tempo. Indicam também que diminuir o tamanho da forragem triturada aumenta a demanda de torque na TDP, pois o implemento tem de cortar mais vezes a mesma quantidade de forragem colhida.

No caso deste implemento, a potência disponível na TDP do trator deve ser considerada no momento do dimensionamento do conjunto mecanizado. Pois no tratamento com a maior velocidade e menor tamanho de material picado, que apresentou a maior média, a potência demandada foi de aproximadamente 24,62 kW ou seja, próximo a metade da potência do motor do trator utilizado no teste, que era de 55,16 kW.

Deve-se considerar também, que além da TDP, houve demanda de potência para tracionar o reboque acoplado à máquina, para sustentar a máquina pelo sistema de levante hidráulico de três pontos, para direcionar leme de exaustão de material da máquina e para vencer a resistência ao rolamento do trator.

4.2 DISTRIBUIDOR CENTRÍFUGO DE UM DISCO

Os dados obtidos no experimento foram tratados previamente e resumidos na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, com o produto utilizado, abertura e vazão obtidas.

Produto	**Abertura**	**Vazão (kg.minuto^{-1})**	**Torque (Nm)**	**Potência (kW)**
-	-	-	8,18	0,46
NPK	3,5	42,8	10,88	0,62
NPK	7,0	96,2	11,35	0,64
NPK	10,5	150,4	12,68	0,71
URÉIA	3,5	35,9	10,83	0,61
URÉIA	7,0	78,7	11,18	0,63
URÉIA	10,5	121,5	12,36	0,70

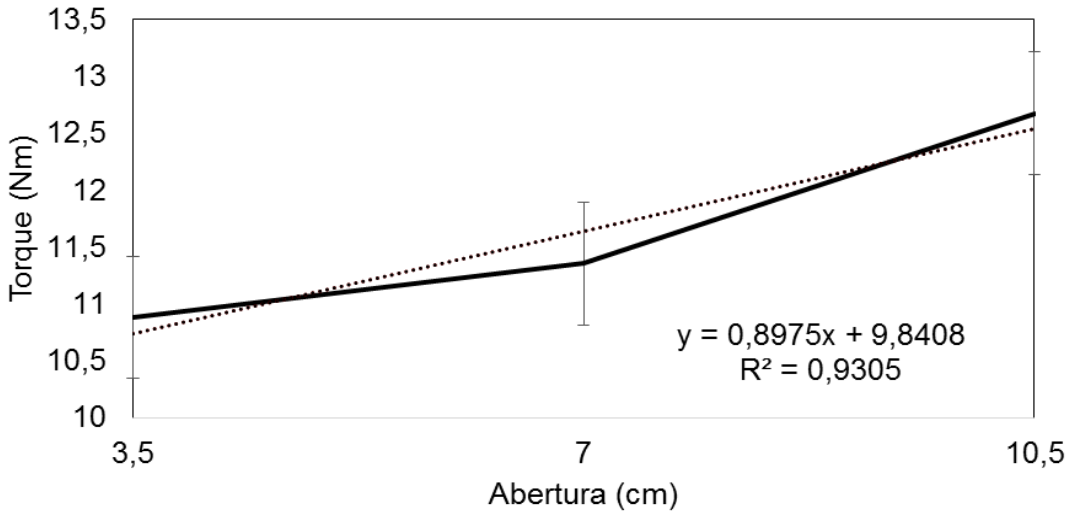
As médias dos sete tratamentos foram confrontadas entre si e analisadas em separado. Assim, a análise estatística resultou na geração do arquivo apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para produto, abertura, interação, repetição, erro, CV e média.

Fator	**Graus de liberdade**	**Soma de quadrados**	**Quadrados médios**	**F calculado**	**Pr>Fc**
Produto (P)	1	0.19	0.19	1.31	0.2703
Abertura (A)	2	12.02	6.01	40	0.0000
P x A	2	0.067	0.03	0.22	0.8000
Repetição	3	0.27	0.09	0.61	0.6186
Erro	15	2.24	0.14		
CV (%)	3,35				
Média	11,54				

Os resultados da análise de variância indicam que, de acordo com o P-valor menor que 0,05, apenas a abertura do dosador teve influência significativa na variação da demanda de torque na TDP. Indicam também que não houve interação entre os fatores de variação (P x A), ou seja, a utilização de dois produtos diferentes em três aberturas do dosador não alterou significativamente a demanda de torque na TDP. A Figura 22 apresenta os resultados da análise de regressão para este experimento.

Figura 22 – Demanda de torque na TDP em três condições de abertura do dosador.



Fonte: Autor

Com base no gráfico gerado pela análise de regressão, podemos verificar que há uma tendência de comportamento linear de aumento da demanda de torque na TDP com o aumento da abertura do dosador, ou seja, a demanda de torque é diretamente proporcional à vazão de produto distribuído. Essa relação pode ser oriunda do aumento da força necessária para conferir energia cinética às partículas de fertilizante, para que estas desenvolvam uma trajetória balística, considerando o aumento da massa de fertilizante a ser deslocado.

O tratamento com maior demanda foi o de distribuição de fertilizante formulado NPK, com taxa de aplicação de 150,4 kg.minuto^{-1}, com o resultado de 0,71 kW, apenas 0,25 kW acima do valor encontrado para a condição de menor potência requerida. Trata-se de um equipamento de baixa demanda de torque proveniente da TDP do trator.

Analisando a demanda de torque na TDP, observa-se para esse implemento, que exerce baixa demanda no desempenho do conjunto mecanizado em campo. Pode ser que, com o somatório da demanda energética no sistema de levante hidráulico e da resistência ao rolamento quando o equipamento estiver carregado, juntamente com a energia demandada na TDP, chegue-se a um valor de maior influência.

4.3 DISTRIBUIDOR CENTRÍFUGO DE DOIS DISCOS

Dentre todos os experimentos deste trabalho, o estudo do distribuidor centrífugo foi o que contou com o maior número de tratamentos. Os resultados dos dez tratamentos foram tratados e analisados separadamente, sendo suas médias apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, com o produto utilizado, abertura e vazão obtidas.

Produto	**Abertura**	**Vazão (kg.minuto^{-1})**	**Torque (Nm)**	**Potência (kW)**
-	-	-	17,14	0,97
A. Org.	5	38,3	47,89	2,71
A. Org.	10	93,7	51,82	2,93
A. Org.	15	148,4	55,33	3,13
C. Seco	5	164,6	90,01	5,09
C. Seco	10	332,4	94,86	5,36
C. Seco	15	535,7	98,69	5,58
C. Úmido	5	192,8	102,79	5,81
C. Úmido	10	378,1	110,99	6,27
C. Úmido	15	584,9	121,69	6,88

*A. Org. – Adubo Orgânico; C. Seco – Calcário Seco; C. Úmido – Calcário Úmido.

A partir desses dados foi realizada a análise estatística, que gerou a Tabela

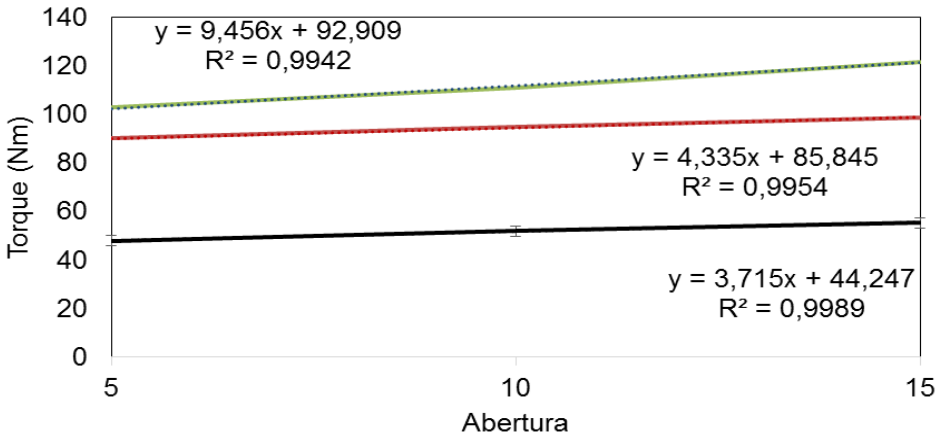
18, onde é apresentada a análise de variância.

Tabela 18 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para produto, abertura, interação, repetição, erro, CV e média.

Fator	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado	Pr>Fc
Produto (P)	2	23006	11503	5037	0.0000
Abertura (A)	2	817	408	179	0.0000
P x A	4	163	40	17.8	0.0000
Repetição	3	0.28	0.09	0.04	0.98
Erro	24	54	2.28		
CV (%)	1,76				
Média	86				

Os resultados da análise de variância indicam que, de acordo com o P-valor menor que 0,05, tanto o produto aplicado quanto a abertura do dosador influenciaram significativamente a demanda de torque na TDP. Indicam também que houve interação entre os fatores de variação (P x A), ou seja, a utilização de três produtos diferentes em três aberturas do dosador alterou significativamente a demanda de torque na TDP. A Figura 23 apresenta os resultados da análise de regressão para este experimento.

Figura 23 – Demanda de torque na TDP em três condições de abertura do dosador e três produtos diferentes.



Fonte: Autor

Com base no gráfico gerado pela análise de regressão, podemos verificar que há um comportamento linear de aumento da demanda de torque na TDP com o aumento da abertura do dosador para cada um dos produtos distribuídos, ou seja, a demanda de torque é diretamente proporcional à vazão de produto distribuído. Essa relação pode ser oriunda do aumento da força necessária para conferir energia cinética às partículas de fertilizante, para que estas sejam distribuídas, considerando o aumento da massa de fertilizante deslocado. A equação que melhor representa os resultados obtidos para ambos os produtos é a equação de primeiro grau.

Complementando a análise estatística, os resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, produto, abertura do dosador e torque obtidos nos testes.

Produto	**Torque (Nm)**		
	5	**10**	**15**
Orgânico	47,89 C	51,85 C	55,32 C
Seco	90,01 B	94,85 B	98,68 B
Úmido	102,78 A	110,99 A	121,69 A

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey.

A força de torção na TDP aumentou conforme o aumento da vazão de distribuição e a densidade do produto distribuído. No caso dos tratamentos com o calcário (calcário seco e calcário úmido), como a densidade do produto manteve-se inalterada, o que provocou diferença nos resultados foi o teor de umidade. Ou seja, quanto mais úmido o calcário, maior foi o torque demandado.

Transformando os resultados de torque, foram obtidos os valores de 0,97 kW no tratamento de menor demanda (Avaliação em vazio) e de 6,88 kW no tratamento de maior demanda (Distribuição de “Calcário Úmido”, com taxa de distribuição de 584,9 kg.minuto^{-1}).

Este equipamento apresentou demanda de potência muito superior, quando comparado ao experimento com o distribuidor centrífugo de um disco e acoplamento nos três pontos. Entretanto, esta potência não é considera significativamente suficiente para que seja critério de dimensionamento do conjunto mecanizado.

Por se tratar de um equipamento acoplado à barra de tração do trator, e que possui grande massa devido, principalmente, à sua capacidade de carga, possivelmente a disponibilidade de energia na barra de tração é o critério preponderante no dimensionamento do conjunto mecanizado.

4.4 ENFARDADORA

Os resultados de cada repetição dos sete tratamentos do experimento foram tratados e analisados separadamente, gerando as médias apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, produto enfardado e velocidade obtida.

Produto enfardado	**Velocidade**	**Torque (Nm)**	**Potência (kW)**
-	-	95,92	3,99
Palha de Arroz	V1	219,66	9,13
Palha de Arroz	V2	299,31	12,44
Palha de Aveia	V1	192,08	7,99
Palha de Aveia	V2	221,49	9,21
Palha de Azevém	V1	192,44	8,00
Palha de Azevém	V2	184,58	7,67

A análise estatística dos dados obtidos gerou o arquivo apresentado na Tabela 21, onde a partir da análise dos dados e o P-valor menor que 0,05, conclui-se que há diferença, a 5% de probabilidade de erro, entre pelo menos dois dos tratamentos e que há interação entre as variáveis “velocidade” e “material enfardado”. Ambas as variáveis conferem diferença significativa à demanda de torque na TDP. Apenas o fator repetição que não apresenta diferença significativa.

Tabela 21 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para

velocidade, produto, interação, repetição, erro, CV e média.

Fator	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado	Pr>Fc
Velocidade (V)	1	6828	6828	53	0.0000
Produto (P)	2	21729	10864	85	0.0000
V x P	2	7712	3856	30	0.0000
Repetição	3	140	46	0.36	0.777
Erro	15	1914	127		
CV (%)	5,18				
Média	218				

Complementando a análise estatística, os resultados do teste Tukey a 5% de significância são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, produto enfardado, velocidade e torque obtidos nos testes.

Produto enfardado	Torque (Nm)	
	Velocidade 1	Velocidade 2
Arroz	219,66 B	299,30 A
Aveia	192,07 B	221,49 A
Azevém	192,43ª	184,58 B

*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey.

No estudo deste implemento, foi possível observar que seu acionamento na condição “em vazio” requer uma quantidade considerável de potência (3,99 kW), provavelmente devido ao grande número de componentes, bem como sua inércia e também à pressão exercida pelas correias, que mesmo com o implemento vazio, ficam tensionadas, conferindo resistência ao giro dos rolos internos. Já o tratamento que apresentou maior demanda foi o que trabalhou enfardando palha de arroz a 5,68 $km.h^{-1}$, com o valor obtido de 12,44 kW. Este valor já é considerável para o dimensionamento do conjunto mecanizado, principalmente se operar em condições diferentes das estudadas neste trabalho, onde haja material em maior quantidade e/ou com densidade e umidade diferentes.

A variável material enfardado interfere de duas formas na demanda de torque na TDP, devido às características físicas do material (umidade, densidade) e devido à quantidade de material nas leiras. Quanto mais úmido e denso o material, maior é o torque demandado para mover o equipamento. Da mesma forma, quanto maior a quantidade de material por metro de leira, maior é a demanda de potência.

Por tratar-se de um equipamento com grande massa, a demanda de tração deste implemento é um fator importante a considerar, como na produção de fardos de palha de arroz, onde em geral, há maior percentual de água no solo, aumentando a resistência ao rolamento, quando comparada às culturas de sequeiro.

4.5 ENXADA ROTATIVA

Os resultados de cada repetição dos sete tratamentos do experimento foram tratados e analisados separadamente, gerando as médias apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, condição de solo e velocidade obtida.

Condição do solo	**Velocidade (km.h^{-1})**	**Torque (Nm)**	**Potência (kW)**
-	-	7,06	0,40
1 Gradagem	V1	525,86	29,72
1 Gradagem	V2	586,31	33,13
1 Gradagem	V3	757,51	42,81
2 Gradagens	V1	515,70	29,15
2 Gradagens	V2	587,04	33,18
2 Gradagens	V3	764,62	43,21

As médias dos sete tratamentos foram confrontadas entre si e analisadas em separado, resultando na Tabela 24.

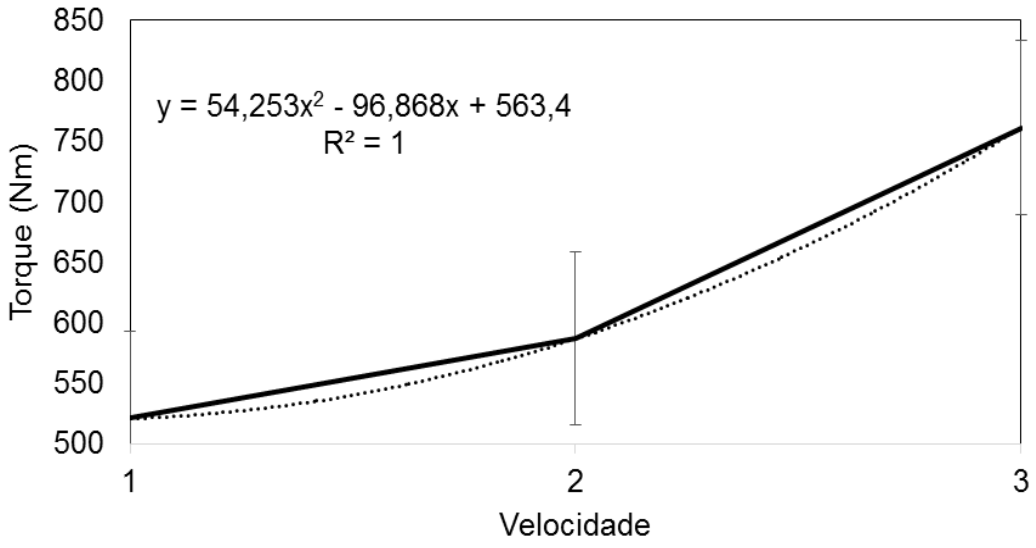
Tabela 24 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para

velocidade, condição de solo, interação, repetição, erro, CV e média.

Fator	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado	Pr>Fc
Velocidade (V)	2	246641	123320	91	0.0000
Condição (C)	1	3.63	3.63	0.003	0.9593
V x C	2	304	152	0.113	0.8940
Repetição	3	1975	658	0.487	0.6961
Erro	15	20265	1351		
CV (%)	5,9				
Média	622				

A partir da análise dos dados e do P-valor menor que 0,05, é possível observar que a velocidade de trabalho exerce influência na demanda de torque na TDP. Já o P-valor maior que 0,05 indica que não há interação entre as variáveis estudadas e que, neste estudo, a condição imposta de uma ou duas gradagens não exerceu influência significativa na demanda de Torque na TDP, bem como o fator de variação “repetição” também apresentou este comportamento. A Figura 24 apresenta os resultados da análise de regressão para este experimento.

Figura 24 – Demanda de torque na TDP em função da velocidade de trabalho.



Fonte: Autor

Com base no gráfico gerado pela análise de regressão, podemos verificar que a velocidade de trabalho é fator determinante para a demanda de torque na TDP, para este tipo de operação. Estatisticamente, nesse caso, a demanda de torque é melhor representada por uma equação de segundo grau.

O fato de revolver superficialmente o solo com uma ou duas gradagens – 0,06 e 0,09 m, respectivamente, de camada revolvida – não afetou significativamente o desempenho da enxada rotativa quanto à demanda de torque.

O tratamento que apresentou maior demanda de potência na TDP foi o de solo com duas gradagens e velocidade de deslocamento de 3,1 $km.h^{-1}$, com 43,21 kW em média.

Do ponto de vista construtivo, pode-se inferir que a transmissão desta enxada rotativa possui baixa demanda de potência, pois ao trabalhar “em vazio”, apresentou consumo de 0,40 kW, demonstrando que seus mancais de rolamento e suas transmissões produzem pouca interferência na demanda de potência.

É possível observar que a demanda de torque aumenta conforme a velocidade de trabalho é elevada. Isso se deve ao maior volume de solo mobilizado quando se aumenta a velocidade de trabalho. Estes resultados vão ao encontro os obtidos por Salokhe (2002), onde conclui que trabalhos executados com enxadas rotativas resultam em efeito significativo na demanda de torque na TDP do trator quando a velocidade de trabalho do conjunto mecanizado é alterada, sendo que, ao aumentar a velocidade, aumenta a demanda de potência.

Por fim, a enxada rotativa é um implemento cuja demanda de torque na TDP é elevada, a qual deve ser considerada para definição do conjunto mecanizado. Este equipamento, quando em operação, de maneira geral demanda potência apenas pela TDP, pois o sentido de giro de seus órgãos ativos minimiza os efeitos da resistência ao rolamento do trator, elevando sua velocidade de trabalho.

4.6 REBOQUE GRANELEIRO

Os resultados de cada repetição dos três tratamentos do experimento foram tratados e analisados separadamente, gerando as médias apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o

experimento, abertura do registro e vazão de descarga obtida.

Abertura do Registro	Vazão de descarga ($kg.s^{-1}$)	Torque (Nm)	Potência (kW)
-	-	16,42	0,93
20%	6,95	45,79	2,59
40%	9,25	56,81	3,21
60%	14,02	70,34	3,97

As médias dos três tratamentos foram confrontadas entre si e analisadas em separado, resultando na Tabela 26.

Tabela 26 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para abertura, repetição, erro, CV e média.

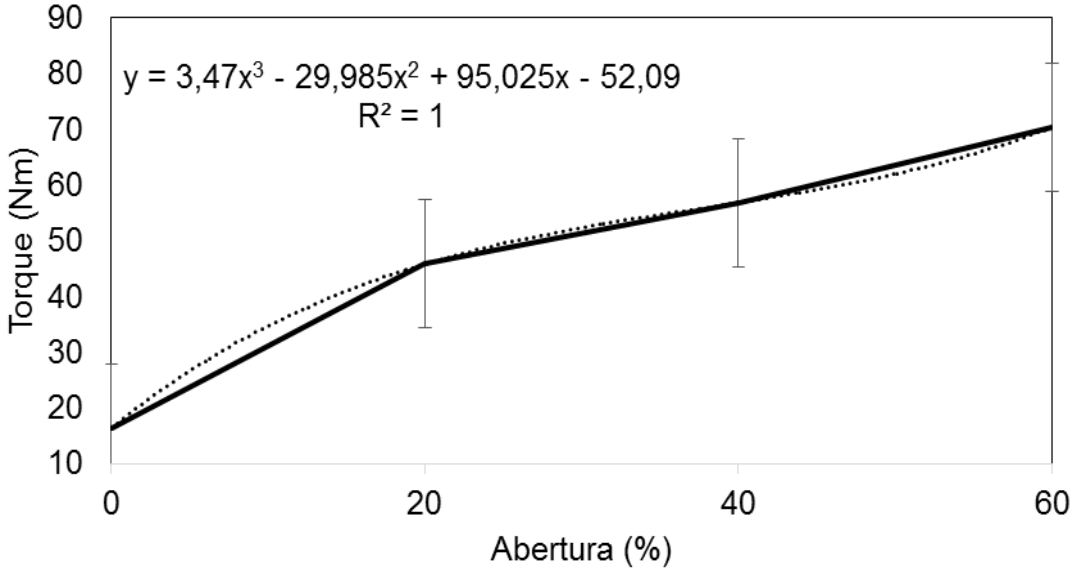
Fator	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado	Pr>Fc
Abertura	3	6307	2102	1666	0.0000
Repetição	3	3.56	1.18	0.942	0.4601
Erro	9	11	1.26		
CV (%)	2,37				
Média	47,33				

A partir da análise dos dados e do P-valor menor que 0,05, é possível observar que a abertura do registro confere variação para na demanda de torque na TDP. Já o fator “repetição” não apresentou variação significativa neste estudo.

Com base no gráfico gerado pela análise de regressão, podemos confirmar que a abertura do registro de descarga é fator determinante para a demanda de torque na TDP, para este tipo de operação, apresentando-se crescente com o aumento da vazão de descarga de arroz em casca. Essa variação pode ser explicada devido à força necessária para conferir energia cinética aos grãos de arroz para que estes sejam transportados pelo tubo de descarga, sendo que o aumento do fluxo de produto gera maior demanda de energia. Estatisticamente, a demanda de torque é melhor representada, para este caso, por uma equação de terceiro grau

(Figura 25).

Figura 25 – Demanda de torque na TDP em três aberturas do registro de descarga.



Fonte: Autor.

Analisando os dados, verifica-se que o equipamento demanda pouca potência na TDP, para as condições executadas neste trabalho, sendo que a menor demanda foi observada na avaliação “em vazio”, com 0,93 kW e, a maior demanda foi observada ao conferir a maior abertura ao registro de descarga (60%), apresentando 3,97 kW.

Com os resultados apresentados, pode-se dizer que para tais condições de trabalho, a energia consumida na TDP é o fator preponderante para o dimensionamento do conjunto mecanizado. Por se tratar de um equipamento de grandes dimensões e com grande capacidade de carga, provavelmente o maior requerimento de energia seja na barra de tração do trator.

4.7 ROÇADORA

Os resultados de cada repetição dos sete tratamentos do experimento foram tratados e analisados separadamente, gerando as médias apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, altura de corte e velocidade de trabalho obtidas.

Altura de corte (m)	Velocidade	Torque (Nm)	Potência (kW)
-	-	93,32	5,27
0,12	V1	366,64	20,72
0,12	V2	506,20	28,61
0,12	V3	667,06	37,70
0,17	V1	298,09	16,85
0,17	V2	433,34	24,49
0,17	V3	585,69	33,10

As médias dos sete tratamentos foram confrontadas entre si e analisadas em separado, resultando na Tabela 28.

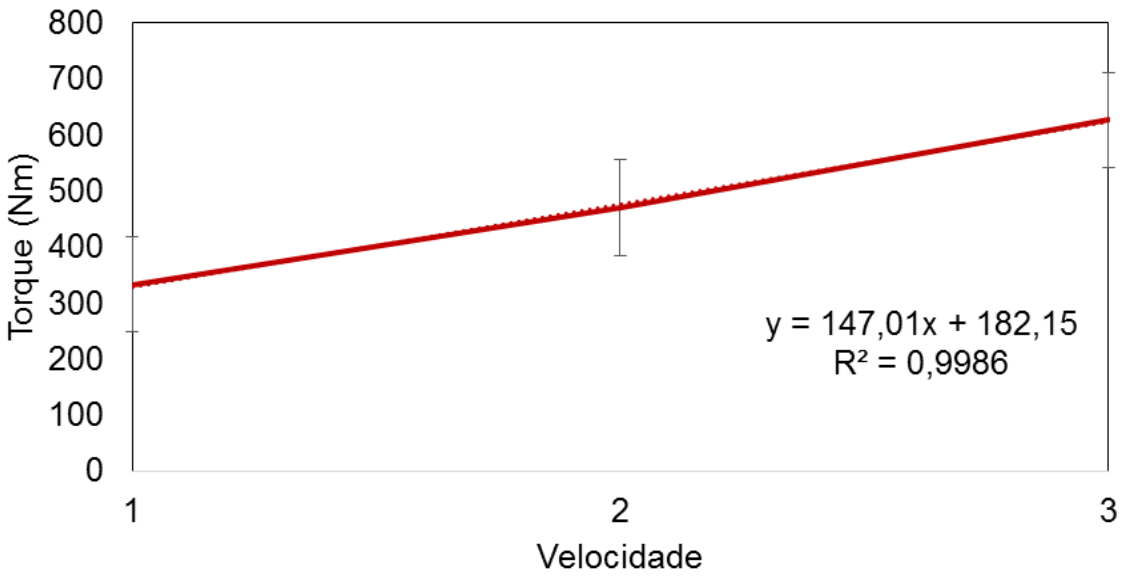
Tabela 28 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, altura, interação, repetição, erro, CV e média.

Fator	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado	Pr>Fc
Velocidade (V)	2	346244	173122	115	0.0000
Altura (A)	1	33088	33088	22	0.0003
V x A	2	170	85	0.057	0.9450
Repetição	3	3518	1172	0.782	0.5220
Erro	15	22480	1498		
CV (%)	8,13				
Média	476				

Analisando dados e o P-valor menor que 0,05, é possível observar que tanto o fator velocidade quanto o fator altura são significativos no experimento, no entanto, não há interação entre os fatores (V x A não é significativo). O fator repetição também não foi significativo no estudo. A Figura 26 apresenta os resultados da

análise de regressão para este experimento.

Figura 26 – Demanda de torque na TDP em função da velocidade de trabalho.



Fonte: Autor

Com base no gráfico gerado pela análise de regressão, podemos afirmar que o torque na TDP apresenta comportamento diretamente proporcional à velocidade de trabalho. A demanda de torque na TDP em função da velocidade de trabalho, para este experimento, é melhor representada por uma equação de primeiro grau.

O tratamento que obteve a menor média de consumo foi o que teve avaliação “em vazio”, com o valor de 5,27 kW. Mesmo sendo o menor dos valores verificados, é um valor considerável e, provavelmente se deve pelas transmissões por correias, que oferecem maior resistência ao giro. Já o tratamento que apresentou maior consumo foi o que apresentou “0,12 m de altura de corte a 2,81km.h^{-1}”, com resultado médio de 37,70 kW.

Quanto menor a altura do corte em relação ao solo, maior foi o demanda de potência. Isso se deve à maior massa de material vegetal a ser segado conforme a proximidade ao solo. A Tabela 29 apresenta os resultados da análise estatística para a variável altura de corte deste experimento.

Tabela 29 – Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, altura de

corte e torque obtidos nos testes.

Altura de corte	Torque (Nm)
12	513,29 A
17	439,03 B

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Por fim, este equipamento, apesar de demandar potência por meio do sistema de levante hidráulico de três pontos para transporte, manobras e para ser tracionado, tem a TDP como fator importante a ser considerado para o dimensionamento do conjunto trator+roçadora.

4.8 VALETADORA

Os resultados de cada repetição dos sete tratamentos do experimento foram tratados e analisados separadamente, gerando as médias apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Resultados de demanda de torque e potência na TDP durante o experimento, profundidade e velocidade de trabalho obtidas.

Profundidade (m)	Velocidade	Torque (Nm)	Potência (kW)
-	-	3,66	0,21
0,10	V1	134,75	7,61
0,10	V2	163,66	9,25
0,10	V3	278,95	15,76
0,20	V1	188,66	10,66
0,20	V2	291,82	16,49
0,20	V3	355,26	20,08

As médias dos sete tratamentos foram confrontadas entre si e analisadas em

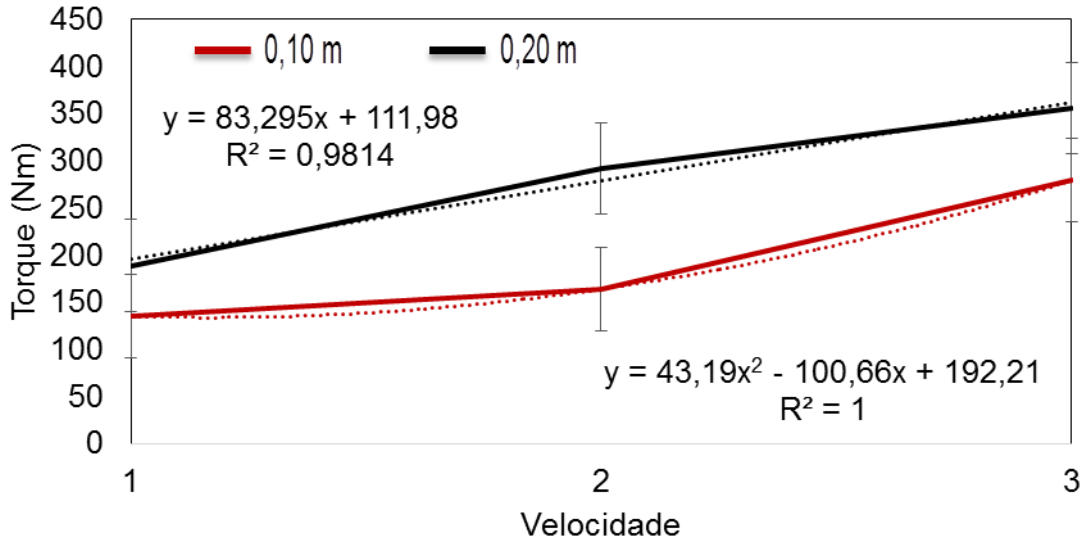
separado, resultando na Tabela 31.

Tabela 31 – Tabela F - Análise de variância, com GL, SQ, QM, Fc e Pr>Fc para velocidade, profundidade, interação, repetição, erro, CV e média.

Fator	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado	Pr>Fc
Velocidade (V)	2	97320	48660	117	0.0000
Profundidade (P)	1	44507	44507	107	0.0000
V x P	2	5801	2900	7.002	0.007
Repetição	3	1399	466	1.12	0.369
Erro	15	6214			
CV (%)	8,64				
Média	235				

Analisando o os dados e o P-valor menos que 0,05, é possível observar que tanto a variável velocidade quanto a variável profundidade são significativas estatisticamente e que há interação entre essas variáveis. Apenas o fator “repetição” não apresentou significância para a demanda de torque na TDP. A Figura 27 apresenta os resultados da análise de regressão para este experimento.

Figura 27 – Demanda de torque na TDP em duas profundidades de sulco e três velocidades de trabalho.



Fonte: Autor

Com base no gráfico gerado pela análise de regressão, podemos afirmar que o torque na TDP apresenta comportamento diretamente proporcional à velocidade de trabalho e à profundidade do sulco. A demanda de torque na TDP em função da velocidade de trabalho é melhor representada por uma equação de primeiro grau para a profundidade de 0,20 m e por uma equação de segundo grau para a profundidade de 0,10 m neste experimento. A Tabela 32 apresenta os resultados da análise estatística para a demanda de torque na TDP em função da profundidade e da velocidade de trabalho do experimento.

Tabela 32 – Resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, profundidade, velocidade e torque obtidos nos testes.

Velocidade	**Torque (Nm)**	
	0,10 m	**0,20 m**
1	134,74 B	188,66 A
2	163,65 B	291,81 A
3	278,94 B	355,25 A

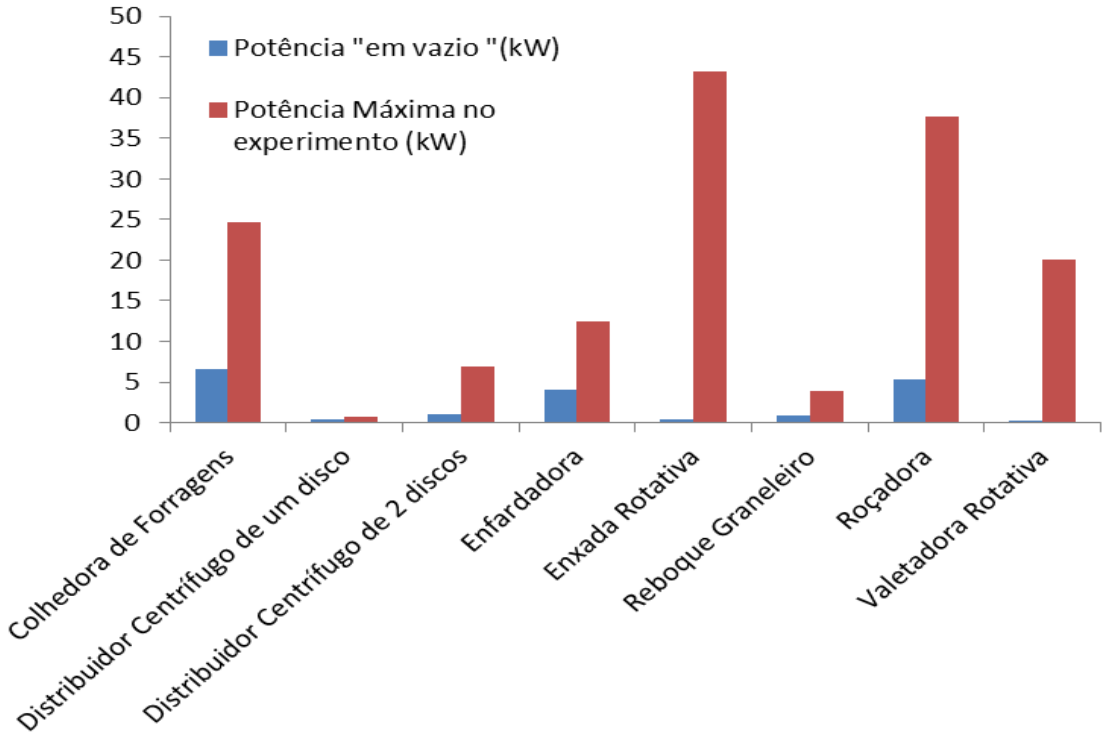
*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Analisando os resultados, nota-se que a avaliação “em vazio” obteve a menor demanda de potência, com o valor de 0,21 kW. Já o tratamento que apresentou maior demanda foi ao trabalhar em profundidade de 0,20 m a 3,00 $km.h^{-1}$. Esses resultados vão ao encontro com os dados obtidos por Shibusawa (1993), que ao estudar o requisito de potência em trabalhos profundos, concluiu que há maior demanda, ao trabalhar com os equipamentos em maior profundidade.

Por fim, o equipamento demanda potência através da sua necessidade de tração, que nesse caso ocorre por meio do sistema de engate de três pontos, da sua necessidade de levante pelo mesmo sistema de três pontos e pela tomada de potência. Esta última, com os resultados obtidos neste trabalho, pode ser utilizada como referência para o dimensionamento do trator para acioná-lo.

Os resultados obtidos nos oito experimentos são apresentados resumidamente na Figura 28.

Figura 28 – Gráfico de demanda de potência na TDP dos oito implementos agrícolas avaliados comparando o resultado obtido para a condição “em vazio” e para a condição de maior demanda de cada experimento.



Fonte: Autor

Ao comparar os dois experimentos que envolvem mobilização do solo pelos equipamentos estudados – salvaguardando as devidas proporções – nota-se que ao trabalhar com o mesmo trator, na mesma marcha de operação e à mesma rotação do motor, mas em condições de solo diferentes, o conjunto trator/enxada rotativa desempenhou maior velocidade do que o conjunto trator/valetadora rotativa. Isso se explica quando observado o sentido de rotação dos órgãos ativos dos implementos, sendo que o da enxada rotativa é no mesmo sentido do deslocamento e o da valetadora rotativa é contrário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

I. O implemento que demandou maior quantidade de potência na TDP foi a enxada rotativa, consumindo 43,21 kW na maior velocidade de deslocamento.

II. Os implementos agrícolas avaliados apresentam variação de demanda de torque TPD quando alterados a velocidade de trabalho do conjunto mecanizado e/ou o material com o qual interagem.

III. Os implementos que possuem transmissão por correias apresentaram maior demanda de torque e potência na condição “em vazio”

IV. O uso de tratores com que possuem “TDP econômica” pode ser uma importante forma de economia de combustível ao trabalhar com alguns implementos.

V. A demanda por torque na TDP deve ser considerada ao dimensionar os conjuntos mecanizados, representando para alguns implementos, o mais importante ponto de fornecimento de potência.

REFERÊNCIAS

ANDERSSON, C.; Preparando o terreno. **Cultivar Máquinas**, n.23, 3 p., 2003.

ANDRIOLO, J. L. **Olericultura Geral**. 3ª Ed. Santa Maria. Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência – Editora UFSM, 2017. 96p.

ARALDI, P. F.; SCHLOSSER, G. F.; FRANTZ, U. G.; RIBAS, R. L.; SANTOS, P. M. Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p. 445-451, 2013.

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. **ASAE S323.2**: Definitions of powered lawn and garden equipment. St. Joseph, 1995. 826p.

BARBOZA, J.P. **Estudo de transmissões em roçadoras com e sem defletor**. Botucatu, 2000. 76p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **Equipamentos Agrícolas de Colheita, Enfardamento e Transporte**. Universidade de Évora, Évora, 2007. Caderno didático, 32p.

BOLLER, W. Forrageiras. Cap. 14 - **Máquinas para colheita e conservação de forragens**. Embrapa, 2009. p. 367-434. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/li/li01-forrageiras/cap14.pdf> Acesso em: 28 jun. 2018.

BOTTEGA, E. L.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; QUEIROZ, D. M. Avaliação de uma colhedora e da qualidade de sementes de forragem colhidas por varredura. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Campo Mourão, v. 9, n. 1, p. 10-20, 2014.

CARVALHO JÚNIOR, J. N. de C.; PIRES, A.J.V.; SILVA, F.F. da; VELOSO, C.M.; SANTOS CRUZ, C.L. dos; CARVALHO, G.G.P. de. Desempenho de ovinos mantidos com dietas com capim-elefante ensilado com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa - MG, v.38, n.6, p.994-1.000, 2009.

CHUEIRI, W. **Sistema plantio direto e alternativas para adubação**. 2005. Disponível em: <www.fundacaoms.com.br>. Acesso em: 10 mai. 2018.

COELHO, R. W. Substâncias fitotóxicas presentes no Capim-Annoni-2. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.21, n.3, p. 255-263, 1986.

CORRER, I.; ROVAI, G. C.; DIAS, F.; FRANCISCATO, L. S. Alteração de Projeto de Graneleiro Agrícola Visando Análise da Vantagem Competitiva. **Revista de Administração da Fatea - RAF**, v. 12, n. 12, p. 142-153, jan./jun., 2016.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SILVA JUNIOR, J. P. da; WIETHÖLTER, S.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; SANTI, A. Trigo no Brasil. Passo Fundo, RS. Embrapa Trigo. Cap. 7: **Sistema plantio direto: evolução e implementação**. 2011 p. 185-215.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cuidados básicos para o plantio mecanizado de soja em Rondônia**. 2000. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66599/1/FD-161-0001.pdf Acesso em: 08 jun. 2018.

EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. de. **Produção de Feno**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 34, n. 277, p. 43-52, nov./dez. 2013.

EVANGELISTA, A. R.; ROCHA, G.P. **Produção e utilização do feno**. Lavras: Coordenadoria de Extensão, 1995. 18 p. (Circular Técnica, 35)

FARIAS, M. S. **Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando dinamômetro móvel**. 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

FARRET, I. S.; SCHLOSSER, J. F.; DURIGON, R.; WERNER, V.; KNOB, M. Variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, out. 2008.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análise e ensino de estatística. Revista Symposium, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008. Disponível em: <http://www.fadminas.org.br/symposium>. Acesso em: 10 jul. 2018.

FRANTZ, U.G. **Análise de desempenho em tração de rodado simples e duplo em um trator agrícola.** 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

FREIXIAL, R.; ALPENDRE, P. **Conservação de Forragens - Ensilagem**. Universidade de Évora, Évora, 2013. Caderno didático, 51p.

GARCIA, R. F.; **Enxada Rotativa.** Caderno didático. Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ. 4p. 2000.

GOSH, B. N.; The Power Requirement of a Rotary Cultivator. **J. agric. Engng Res**. v.12, p.5 -12, 1967.

INOUE, G.H. Sistemas de preparo do solo e plantio direto no Brasil. **Pesquisa Agropecuária**, v.24, n.1, p.1-11, 2003.

JESUINO, P.R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo**. Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP - Botucatu, 2007, p.64. (Dissertação de Mestrado).

KRIZEK, D.T. Plant response to atmospheric stress caused by waterlogging. In: CHRISTIANSEN, M.N.; LEWWIS, C. F. **Breeding plants for less favorable environments**. Beltsvill: J. Wiley, 1982. p. 293-334.

LANES, E. C. M.; NETA, J. J. S. Como Evitar Perdas na Ensilagem do Milho. REDVET: **Revista Eletrônica de Veterinária**. [S.L.], v. 9, n. 5 Maio 2008. Disponível em: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050508/050805.pdf Acesso em: 02 abr. 2018.

MÁRQUEZ, L. **Las transmissiones: el escalonamiento de las marchas**. Agrotécnica, Madrid, n.10, p.55-62, 2004.

MÁRQUEZ, L. **Tractores agrícolas: Tecnologías y utilización**, B&H Grupo Editorial, Espanha, 2012, 844p.

MATOS, M. A.; SALVI, J. V.; MILAN, M. Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 493-501, 2006.

MEDEIROS, R. B. de; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (Eragrostis plana Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.13, n.1-2, p.105-114, 2007.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação.** Piracicaba SP: CNPq-PADCT/TIB-FEALQ, 1996. 722p.

MILLAR, A. A. **Drenagem de Terras Agrícolas**. I - Princípios, Pesquisas e Cálculos. Petrolina, SUDENE. 1974. 276p.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A.; PEREIRA, L. L.; CREMININI, L. C.; EVANGELISTA, M. **Avaliação do desempenho de distribuidora de produtos sólidos a lanço em doses variáveis de uréia**. *In:* Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz de Iguaçu: SBEA, 2001, CD Rom.

MOLIN, J. P.; RUIZ, E. R. S. **Validação de métodos simplificados de determinação da largura efetiva para distribuidores de fertilizantes e corretivos**

a lanço. *In:* XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1999, Pelotas. Anais... CD Rom.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Secção de Geografia, 1961, 46p.

NERES, M. A.; AMES, J. P. Novos aspectos relacionados à produção de feno no Brasil. **Scientia Agraria Paranaensis** - SAP, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 1, jan./mar., p. 10-17, 2015.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. **Agricultural tractor test search engine**. 2016. Disponível em: <www2.oecd.org/arg-coddb/index_en.asp>. Acesso em: 28 mai. 2018.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las maquinas agricolas: y su aplicación**. Madrid: Mundi-Prensa, 1984. 492 p.

PACHECO, E.P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Revista Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 681-691, jul./ago. 2010.

PERSSON, S. Factors, influencing forces, energy and power. In: ASAE. **Mechanics of cutting plant material**. St. Joseph, 1987. p.161-217.

RIPPEL, C.;JORDAN, E. STOKES, S. Evaluating Particle Size in Texas TMRs. **Professional Animal Scientist**, Savoy, v.14, n.1 , p. 20-29, 1998.

ROZIN, D. **Conformidade do posto de operação de tratores agrícolas nacionais com normas de ergonomia e segurança.** 2004, 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

SALOKHE, V. M.; RALAMINGAM, N. Effect of rotation of a rotary tiller on draft and power requirements in a Bangkok clay soil. **Journal of Terramechanics**, Hannover, v.39, p.195-205, 2002

SCHLOSSER, J. F. **Tratores agrícolas.** Santa Maria: Caderno didático. Módulo II, 2001. 63p.

SCHWAB, E. C.; SHAVER, R. D.; SHINNERS, K. J. et al. Processing and Chop Length Effects in Brown-Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**. Savoy, v. 85, p.613-623. 2002.

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J.G. **Técnicas de preparo do solo**. Goiânia: CPAF/EMBRAPA, 1984. 26p.

SEKI, A. S. **Demanda energética no processo de ensilagem de milho**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

SHIBUSAWA, S. Reverse rotational Rotary tiller for reduced power requirement in deep tillage. **Journal of Terramechanics**, v.30, n.3, p.205-217, 1993.

SILVA, C. A. S. da; PARFITT, J. M. B. **Drenagem superficial para diversificação do uso de solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica. 2004. 10p.

SILVEIRA, G. M. da; BERNARDI, J. A. **Estudo do consumo de energia por órgãos ativos de roçadora**. Bragantia, Campinas, 60(3), p. 245-252, 2001.

SILVEIRA, G.M. Mecanização: custo horário das máquinas agrícolas. **DBO Agrotecnologia**, São Paulo, p.26-29, 2005.

SILVEIRA, G. M. Roçadora e a limpeza de pastagens. **Revista dos Criadores**, São Paulo, v.58, n.713, p. 36-37, 1989.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas conservacionistas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 220-224, jan./mar., 2006.

SORANSO, A.M.; GABRIEL FILHO, A.; LOPES, A.; SOUZA, E.G.; DABDOUB, M.J.; FURLANI, C.E.A.; CAMARA, F.T. Desempenho dinâmicos de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.5, p.553-559, 2008.

STANGE, K.; CHRISTIANSON, L.L.; THORESON, B.; ALCOOCK, R.; VIK, B. Microcomputer goes to the field to gather tractor test data. **Agricultural engineering**, St. Joseph, v.65, n.1, p.21-26, 1984.

VALE, W.G.; GARCIA, R.F.; CORRÊA JUNIOR, D.; GRAVINA, G.A.; SOUZA, E.F. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante a operação de roçagem. **Global Science and Technology**, v.04, n.2, p.68–75, mai/ago. 2011.