Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Demanda de energia e custo operacional
no planejamento de sistemas mecanizados na produção de grãos**

Rafael Cesar Tieppo

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Rafael Cesar Tieppo
Engenheiro Agrícola

**Demanda de energia e custo operacional no planejamento de sistemas
mecanizados na produção de grãos**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **THIAGO LIBÓRIO ROMANELLI**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Tieppo, Rafael Cesar

Demanda de energia e custo operacional no planejamento de sistemas mecanizados na produção de grãos / Rafael Cesar Tieppo. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.
152 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Agricultura 2. Mecanização agrícola 3. Modelo determinístico 4. Soja 5. Milho
6. Terceirização I. Título

CDD 631.521
T563d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*À quem busca o conhecimento na intenção de servir
com otimismo, bondade e humildade,*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À UNEMAT, pela licença concedida para o Doutorado.

À ESALQ pela oportunidade de desenvolvimento profissional.

À FAPEMAT pela bolsa de apoio concedida.

À CAPES pela bolsa de Doutorado no Exterior.

À UNIOESTE e ao NIT pela oportunidade de iniciar os estudos e pesquisas acadêmicas.

Ao amigo Darci Getúlio Ferrarin pelo apoio prestado no desenvolvimento da tese.

Ao professor, orientador e amigo Thiago L. Romanelli, pelas reflexões de vida, humor e incentivo. Aos professores do que trabalhei ao longo dos anos, em especial, Marcos Milan, José P. Molin, Walter F. Molina Jr., Tomaz C. C. Ripoli (in memoriam), Paulo Justiniano Ribeiro Jr., João L. F. Batista.

Ao Engenheiro Agrônomo Alencar Jonas Rheinheimer pelas informações disponibilizadas.

À equipe do Departamento de Biosistemas, Fernanda, Davilmar, Ângela e Fátima.

Às bibliotecárias, pela atenção e apoio na formatação e na ficha catalográfica.

Aos colegas do PPG em Engenharia de Biosistemas, em especial, Nelson C. Franco Jr., Erik, Natalia, Giancarlo Rocco, João Veiga, André Colaço, Mark Spekken, Diana Castro.

À minha família, esteio para finalizar essa jornada e à minha namorada Maria Carolina.

Aos amigos da Black Belt, em especial Daniel Padilha, Tufi Coury, Francisco e Sílvia Soares, Fernando, Lucas Koren, Zé Esmael, Pedro G. P. Petri, Gabriel Souza, René Trevisam.

To my friends in Viborg - Denmark, in especial Kun Zhou, Guilherme Maciel, Beatriz Cuyabano, Yi Peng, Ole Jørgensen, Pedro Baldoni, Wang Xiaoqin, Laura Wildner, Marina Gavranic, Mai Anh, Nuzul Widyas, Gabriel Rovere, Thomas Johansen, Charlotte DK, Siwi Gayatri, Vicent Gassó, Inma, Dana Olijhoek, Li, Yub, Lipe, Rafael Maia.

To Dr. Claus Aage Grøn Sørensen, Dr. Dionysis Bochtis and Allan Leck Jensen, for the opportunity I had to work, learn and interact at Aarhus University, Denmark.

“... and Justice for all ...”

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Agricultura	25
2.2 Semeadura Direta	28
2.3 Máquinas agrícolas	29
2.4 Custos de Produção	31
2.5 Modelos aplicados à sistemas mecanizados agrícolas	33
2.6 Terceirização das operações mecanizadas na agricultura	37
2.7 Demanda de energia na agricultura	38
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 Sistemas de Produção	43
3.2 Modelo para o planejamento de sistemas mecanizados	46
3.2.1 Dimensionamento operacional	46
3.2.2 Análise do custo operacional	47
3.2.3 Predição de força e potência para máquinas tracionadas	49
3.2.4 Semeadora-adubadora para plantio direto	50
3.2.5 Semeadora para semeadura direta	51
3.2.6 Distribuidores de Corretivos e Fertilizantes e pulverizadores tracionados	52
3.2.7 Colhedora de grãos (soja e milho)	52
3.2.8 Predição do consumo de combustível	53
3.2.9 Custos das operações mecanizadas	57
3.2.10 Fluxo de Material	60
3.2.11 Algoritmo	62
3.2.12 Validação do modelo	66
3.3 Fração de número de conjuntos viável para terceirização	67
3.4 Custo operacional e viabilidade da terceirização na propriedade	68
3.5 Análise de sensibilidade	70

3.6	Simulação de cenários	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1	Demanda de força e potência para semeadora-adubadora	73
4.2	Demanda de força e potência para semeadora.....	74
4.2.1	Validação	75
4.3	Predição do consumo de combustível	77
4.3.1	Validação do consumo de combustível.....	82
4.4	Validação da predição do custo nas operações agrícolas	87
4.5	Demanda de energia.....	90
4.5.1	Predição da massa de semeadora-adubadora de precisão	90
4.5.2	Predição da massa de semeadora de precisão.....	91
4.5.3	Predição da massa de distribuidores de fertilizantes e corretivos autopropelidos	92
4.5.4	Predição da massa de distribuidores de fertilizantes e corretivos tracionados..	93
4.5.5	Predição da massa de pulverizadores autopropelidos	94
4.5.6	Predição da massa de pulverizadores tracionados.....	95
4.5.7	Predição da massa de colhedoras	96
4.5.8	Validação da demanda de energia.....	97
4.6	Custo e viabilidade de terceirização das operações mecanizadas na propriedade	98
4.7	Análise de sensibilidade no custo financeiro.....	106
4.8	Fração de número de conjuntos viável para terceirização	109
4.9	Demanda de energia das operações agrícolas na propriedade	112
4.10	Cenários	114
5	CONCLUSÃO	125
	REFERÊNCIAS	127
	APÊNDICES.....	141
	ANEXOS	149

RESUMO

Demanda de energia e custo operacional no planejamento de sistemas mecanizados na produção de grãos

Uma alternativa para aquisição de máquinas e implementos agrícolas para atenuar a subutilização ou falta de maquinário é a terceirização das operações mecanizadas, seja esta de forma parcial ou integral. Além de fatores econômicos, a sustentabilidade dos sistemas de produção depende do uso racional dos recursos energéticos. Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo determinístico para avaliar a terceirização do ponto de vista do custo operacional e a demanda de energia do sistema mecanizado para as culturas de soja e milho. O algoritmo desenvolvido é composto por três módulos, sendo um para o dimensionamento do sistema mecanizado em função da área, tempo disponível e capacidade de campo operacional do maquinário, outro para a predição do custo operacional e um último para a predição da demanda de energia. Utilizando o modelo desenvolvido, verificou-se a viabilidade da terceirização para uma propriedade agrícola e simulou-se o custo operacional e demanda de energia das operações de semeadura, pulverização e colheita, para um cenário composto por diferentes portes de máquinas e tamanhos de área. O modelo desenvolvido apresentou-se consistente para predição de demanda de potência, consumo de combustível e custos para as operações de semeadura, pulverização e colheita. Na simulação de cenários não houve relação entre o custo operacional e demanda de energia para determinação dos conjuntos mais econômicos, demonstrando a importância de determinar ambos quando se busca a eficiência energética.

Palavras-chave: Agricultura; Mecanização agrícola, Modelo determinístico, Soja, Milho, Terceirização

ABSTRACT

Energy demand and operational cost in planning mechanized system to grains productions

The partial or full outsourcing is an alternative to acquire new agricultural machinery in order to reduce the sub utilization or insufficient fleet. Besides the economics factors, sustainability of the production system depends on the rational use of energy resources. Therefore, this work aimed to develop a deterministic model to predict the operational cost and energy demand of mechanized operations in soy bean and maize crops. The algorithm is compound by three modules, one for sizing the fleet, one to predict the operational cost and one to predict energy demand. By using the developed model,outsourcing viability for sowing, spraying and harvest in a farm and a scenario with three classes of machinery power of different sizes were determined. The developed model was consistent in predicting fuel consumption, operational costs and energy demand of sowing, spraying and harvest operations. The scenario simulation showed that there is not relation between operational costs and energy demand in order to choose the more economic machine, evidencing the importance of determining both of them when one is seeking for energy efficiency.

Keywords: Agriculture; Agricultural mechanization; Deterministic model; Soy bean; Corn; Outsourcing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de soja e milho das regiões brasileiras, safra 2013/14.....	26
Figura 2 - Área cultivada com as culturas de soja e milho na safra 2010/11 por região.....	26
Figura 3 - a)Evolução nacional da área. b) produtividade nacional das culturas de soja e milho de 2º safra.....	27
Figura 4 - Evolução da área e produtividade das culturas de soja e milho de 2º safra.	30
Figura 5 - Vendas internas anuais de colhedoras e tratores no atacado.	30
Figura 6 - Número de tratores por potência por unidades da Federação.....	31
Figura 7 - Custo da produção safra 2012/13, a) soja b) milho.....	32
Figura 8 - Consumo energético do setor agropecuário nacional.....	39
Figura 9 - Localização do município de Sorriso no Estado de Mato Grosso.....	43
Figura 10 -Exemplo do custo operacional de semeadura em função da área (912,00 ha) para conjuntos com capacidade operacional de 3,20 ha h ⁻¹ e tempo disponível de 230,00 h.....	48
Figura 11 -Relação de potência entre a tomada de potência e a barra de tração em função da condição da superfície de tracionamento e tipo de rodado. Adaptado de (ASABE, 2011a)	50
Figura 12 -Fluxograma do dimensionamento operacional para os módulos trator com semeadora-adubadora e trator com semeadora.	63
Figura 13 -Fluxograma do dimensionamento operacional para os módulos trator com pulverizador de arrasto, pulverizador autopropelido, distribuidor de fertilizantes autopropelido e colhedora de grãos autopropelida.....	64
Figura 14 -Fluxograma do custo operacional e demanda de energia para os módulos do programa computacional.	65
Figura 15 -Fluxograma para geração de combinações e seus respectivos custos operacionais e demanda energética.	71
Figura 16 -Histograma da frequência absoluta da força requerida por fileira para operação de semeadura utilizando semeadora-adubadora.....	73

Figura 17 - Valores preditos e observados da potência na barra de tração na operação de semeadura e adubação. A = Almeida, Silva e Silva (2010) B = Bortolotto, Neto e Bortolotto (2006), C = Furlani et al. (2007), D = Mercante et al. (2005), E = Santos, Volpato e Tourino (2008), F = Silveira et al. (2011)	76
Figura 18 - Consumo horário de combustível em função da potência na barra de tração em diferentes velocidades de deslocamento e rotação do motor, com as repetições dos tratamentos realizados por Silveira (2008) e valores preditos.	77
Figura 19 - Comportamento entre variável predita e estimada pelos métodos para velocidades de operação ajustadas.	78
Figura 20 - Comportamento entre variável predita e estimada pelos métodos para velocidades de operação ajustadas, para método ASAE (2003) reduzido em 15,0%	79
Figura 21 - a) Relação da potência requerida e disponível na TDP em função da rotação nas velocidades de operação. b) Consumo de combustível observado em função da rotação nas velocidades de operação. c) Consumo de combustível predito pelo fator Molin e Milan (2002) em função da rotação nas velocidades de operação. d) Consumo de combustível predito pelo método Milan (1992) em função da rotação nas velocidades de operação. e) Consumo de combustível predito pelo método ASAE (2003) em função da rotação nas velocidades de operação. f) Consumo de combustível predito pelo método ASAE (2011a) em função da rotação nas velocidades de operação.	81
Figura 22 - Valores preditos e mensurados do consumo horário de combustível na operação de semedura e adubação. A = Almeida; Silva; Silva (2010), B = Bortolotto; Pinheiro Neto; Bortolotto (2006), C = Furlani et al. (2007), D = Mahl; Gamero; Benez (2005), E = Santos; Volpato; Tourino (2008), F = Silveira et al., (2011)	82
Figura 23 - Histograma para diferença entre consumo predito e estimado	83

Figura 24 -Diferenças entre os valores preditos e mensurados (SILVEIRA, 2008) do consumo horário de combustível na operação de semedura e adubação. A = Almeida; Silva; Silva (2010), B = Bortolotto; Pinheiro Neto; Bortolotto (2006), C = Furlani et al. (2007), D = Mahl; Gamero; Benez (2005), E = Santos; Volpato; Tourino (2008), F = Silveira et al., (2011)..	84
Figura 25 -Consumo de combustível predito em função da taxa de alimentação de uma colhedora com potência nominal de 278,0 kW na cultura da Soja(a) e Milho (b)	85
Figura 26 -Valores mensurados e preditos do consumo horário de combustível na operação de colheita da soja. A = B = C = Mazetto e Lanças (2009) , D = Chioderoli et al. (2012)	85
Figura 27 -Consumo horário de combustível na operação de colheita do milho, mensurados por Shinnars et al. (2009). A = 4,5 km h ⁻¹ , B = 5,8 km h ⁻¹ , C = 7,2 km h ⁻¹	86
Figura 28 -Custo predito e observado de tratores (Anexo A).....	87
Figura 29 -Custo predito e observado de semeadoras-adubadoras (Anexo A).....	88
Figura 30 -Custo predito e observado de Pulverizadores de arrasto (Anexo A).....	88
Figura 31 -Custo predito e observado de Pulverizadores autopropelidos (Anexo A)..	89
Figura 32 -Custo predito e observado de Colhedoras (Anexo A).....	89
Figura 33 -Massa por fileira para semeadora-adubadora em função do número de fileiras	91
Figura 34 -Massa por fileira para semeadora em função do número de fileiras	92
Figura 35 - Massa total dos distribuidores de fertilizantes e corretivos autopropelidos em função da potência	93
Figura 36 - Massa total dos distribuidores de corretivos e fertilizantes tracionados em função da capacidade do reservatório	94
Figura 37 - Massa total dos pulverizadores autopropelidos em função da potência....	95
Figura 38 - Massa total dos pulverizadores tracionados em função da capacidade do reservatório	96
Figura 39 - Massa total das colhedoras em função da potência.....	97

- Figura 40 - Custo operacional de semeadura na propriedade estudada e outros valores estimados de custos. A = B = C = conjuntos mecanizado da propriedade; D = D' = FNP (2013); E = AGROBANCO (2013); F = AGROBYTE (2014); G = FAEG (2013); H = IMEA (2012a); I = RICHETTI (2012). 99
- Figura 41 - Simulação do custo e viabilidade da terceirização para operação para operação de Semeadura 100
- Figura 42 - Custo operacional de aplicação de defensivos na propriedade estudada e outros valores estimados de custos. A = B = C = máquinas da propriedade; D = FNP (2013); E = AGROBANCO (2013); F = AGROBYTE (2014); G = FAEG (2013); H = IMEA (2012a); I = RICHETTI (2012). . 100
- Figura 43 - Simulação do custo e viabilidade da terceirização para operação para operação de Pulverização. 101
- Figura 44 - Custo operacional da colheita mecanizada na propriedade estudada e outros valores estimados de custos. A = B = C = máquinas da propriedade; D = FNP (2013); E = AGROBANCO (2013); F = AGROBYTE (2014); G = FAEG (2013); H = IMEA (2012a); I = RICHETTI (2012). . 102
- Figura 45 - Simulação do custo e viabilidade da terceirização para operação de Colheita. 103
- Figura 46 - Comportamento dos custos de uma colhedora em função do tempo de uso. 108
- Figura 47 - Custo operacional de máquinas agrícolas para diferentes tempos de uso ao ano e os respectivos custos de terceirização. Semeadora = conjunto mecanizado trator e semeadora-adubadora para semeadura direta. Colhedora = máquina autopropelida para colheita (soja). Pulverizador = conjunto mecanizado trator e pulverizador de arrasto. Pulverizador (AP) = máquina autopropelida para aplicação de defensivos agrícolas. . . 110
- Figura 48 - Demanda de energizadas operações mecanizadas para a cultura do milho e da soja. AL = adubação a lanço; C = colheita; P = pulverização com máquina autopropelida; S = semeadura. 112

Figura 49 -Demanda de energia da depreciação do maquinário e do diesel nas operações mecanizadas na cultura da soja e do milho. AL = adubação a lanço; C = colheita; P = pulverização com máquina autopropelida; S = semeadura.	113
Figura 50 - Consumo de combustível médio das operações na cultura da soja e do milho.	114
Figura 51 - Combinações com os menores custos operacionais dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Semeadura. T = tempo de uso ao ano.	115
Figura 52 - Combinações com os menores custos operacionais dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Pulverização. T = tempo de uso ao ano.	116
Figura 53 - Combinações com os menores custos operacionais dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Colheita. T = tempo de uso ao ano.	117
Figura 54 - Combinações com as menores demandas de energia dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Semeadura. T = tempo de uso ao ano.	118
Figura 55 - Combinações com as menores demandas de energia dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Pulverização. T = tempo de uso ao ano.	119
Figura 56 - Combinações com as menores demandas de energia dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Colheita. T = tempo de uso ao ano.	120
Figura 57 - Combinações com os menores custos operacionais e suas respectivas demandas de energia para operação de Semeadura.	121
Figura 58 - Combinações com os menores custos operacionais e suas respectivas demandas de energia para operação de Pulverização.	122
Figura 59 - Combinações com os menores custos operacionais e suas respectivas demandas de energia para operação de Colheita.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma e tempo disponível da operações realizadas no sistema de produção de soja e milho de segunda safra	44
Tabela 2 - Máquinas agrícolas utilizadas para realização das operações	45
Tabela 3 - Velocidades de deslocamento utilizadas em trabalhos de pesquisa com semeadora-adubadora.	51
Tabela 4 - Relação peso/potência para tratores agrícolas	61
Tabela 5 - Serviços inclusos na terceirização e os respectivos custos inseridos nas simulações	68
Tabela 6 - Área e tempo de uso anual no custo operacional.....	68
Tabela 7 - Custo das operações na propriedade e valores cobrados pelo empresa prestadora de serviços.....	69
Tabela 8 - Operações e ritmo operacional utilizados na simulação dos cenários.....	71
Tabela 9 - Estatística descritiva das variáveis quantificadas no banco de dados das semeadoras para semeadura direta	75
Tabela 10 -Regressão linear entre valores observados e estimados pelos modelos para as velocidades de operação testadas.....	80
Tabela 11 -Participação dos custos fixos e variáveis na formação do custo operacional	104
Tabela 12 -Análise de sensibilidade para os cenários simulados	107
Tabela 13 -Frações viáveis dos conjuntos mecanizados para terceirização para a região de Sorriso - MT	111

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor agropecuário representa 22,0% do PIB (Produto Interno Bruto). Sendo que do total do referido setor, 70,0% é oriundo da agricultura e 30,0% da pecuária. Especificamente no estado do Mato Grosso, a proporção do PIB é de 28,0%, 55,0% e 17,0%, oriunda do setor agropecuário, serviços e indústria, respectivamente. Nota-se assim, a importância da agricultura na economia local, uma vez que a mesma demanda produtos e serviços dos demais setores.

A sobrevivência dos setores produtivos depende da eficiência dos sistemas de produção que os compõem. No caso da agricultura, além da obtenção de lucro, o mercado globalizado e cada vez mais competitivo, requer produtos com características específicas e cumprimento dos prazos da entrega.

A mecanização agrícola é um recurso que deve auxiliar no atendimento das exigências do mercado. As operações mecanizadas visam a melhoria dos sistemas de produção, preconizando a agilidade e a qualidade dos processos, tendo como um dos limitadores o orçamento financeiro da empresa.

Quanto mais complexo o sistema mecanizado, maior é a interferência da gerência para manter a integração entre o cronograma exigido e os recursos financeiros disponibilizados. A compreensão dos aspectos operacionais e econômicos pode elevar a eficiência e, conseqüentemente, a lucratividade do sistema. Sendo assim, há necessidade da realização do planejamento das operações envolvidas no sistema.

No planejamento dos sistemas mecanizados, seja na aquisição ou substituição da maquinaria agrícola, entre os fatores que influenciam na tomada de decisão, cita-se a intenção da minimização do custo das operações, a necessidade de maior capacidade de campo e a implementação de novas técnicas.

Uma alternativa para aquisição de máquinas e implementos, que visa atenuar o problema de subutilização ou falta de maquinário, é a terceirização dos serviços de mecanização. Os serviços terceirizados devem ser avaliados como uma opção na complementação das operações agrícolas necessárias, ou ainda, compor integralmente os serviços de mecanização.

Entre os países da América do Sul, a Argentina é um precursor do sistema de terceirização. Sendo que no estado do Mato Grosso, um dos maiores grupos que terceirizam as operações para cultivo de soja e milho é argentino.

O custo do serviço de terceirização usualmente não depende do tamanho da área, mas sim da distância entre a propriedade e a prestadora do serviço, a logística de fornecimento de insumos e combustível, tecnologia incorporada na execução das operações agrícolas, entre outros.

Além de fatores econômicos, a sustentabilidade de um sistema de produção também contempla fatores sociais e ambientais. Este último pode ser avaliado pela demanda de energia do sistema. A análise dos fluxos de energia quantifica a energia incorporada pelos insumos utilizados, com o intuito de analisar a possibilidade da otimização do uso de insumos, visando minimizar o consumo energético. Em alguns países, a incorporação de materiais dos produtos já é explicitada ao consumidor, para que o mesmo possa optar por produtos, que demandem menos energia em sua produção.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo para avaliar a terceirização do ponto de vista do custo operacional e demanda de energia do sistema mecanizado para as culturas de soja e milho. Como objetivo secundário, comparar modelos para predição de consumo de combustível, para aplicação no cálculo do custo operacional e demanda de energia de sistemas mecanizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa revisão visa transmitir os conceitos abordados nesse estudo, que tangem os custos das operações mecanizadas na produção de grãos. A sequência aborda os temas agricultura, semeadura direta, máquinas agrícolas, custos de produção, modelos desenvolvidos para a mecanização agrícola e fluxo de energia. Na respectiva ordem, cada seção tem como intenção demonstrar o perfil da produção agrícola, os fundamentos básicos da semeadura direta, que possibilitaram o cultivo no cerrado, a utilização da maquinaria na agricultura, uma breve contextualização dos modelos como apoio na gestão de máquinas agrícolas, e por fim, conceitos e aplicação de demanda de energia.

2.1 Agricultura

A agricultura é composta por modelos de produção, sendo eles, a agricultura tradicional, agricultura convencional e agricultura agroecológica, definidas por Costa (2010), Alencar et al. (2013), FLORIT (2002), respectivamente. Entre as definições dos referidos autores, nota-se divergências de aplicação dos modelos, tanto no aspecto de viabilidade econômica, assim como, na sustentabilidade ambiental constatada por (SANTOS, 2012).

Contudo, independentemente do modelo de produção, Rodrigues (2001) salienta que nas últimas décadas, foi a agricultura que expandiu mercado para os produtos industriais e serviços da economia moderna, ao se atentar para sua representatividade no PIB, nota-se que é o maior negócio nacional e tem importância social pela geração de empregos.

Utilizados na alimentação humana, na alimentação animal e na produção de combustível, os grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e de milho [*Zea mays* (L.)] nacionais, promovem o reconhecimento mundial do Brasil pelo seu potencial agrícola, como um dos maiores exportadores de soja e produtores de milho (ZUCATTO; FERASSO; EVANGELISTA, 2010).

A produção mundial de soja e milho na safra 2013/14 foi de 283,13 e 985,36 milhões de toneladas, respectivamente. Na safra em questão, 30,42% da soja e 8,13% do milho foram produzidos pelo Brasil, USDA (2012). Na Figura 1 é apresentada a produção nacional das regiões.

Figura 1 – Produção de soja e milho das regiões brasileiras, safra 2013/14.

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB.

De acordo com dados oriundos de CONAB (2014a) CONAB (2014b), na safra 2013/14, as regiões centro-oeste e sul lideraram a produção nacional, sendo as mesmas responsáveis por mais de 60,02% do total produzido, seguidas pela região sudeste, nordeste e norte. Entre os estados, a liderança da produção da soja foi do Mato Grosso com 30,75%, seguido pelo Paraná com 17,27% e Rio Grande do Sul com 14,90%. Para a cultura do milho, os maiores produtores foram o Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul com 22,63, 13,15 e 11,18%, respectivamente. Salienta-se que a produção do milho é dividida em duas safras, sendo a primeira safra realizada no período das águas e o milho de segunda safra, ou “milho safrinha”, é definido com milho sequeiro, cultivado entre janeiro e abril, usualmente após a soja.

Em termos de área cultivada para a safra 2013/14, para as culturas de soja, milho primeira e segunda safra, as principais regiões também foram a centro-oeste e a sul, seguido das regiões nordeste, sudeste e norte (Figura 2).

Figura 2 – Área cultivada com as culturas de soja e milho na safra 2010/11 por região.

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB.

Para as culturas da soja, milho primeira safra e segunda safra, a região centro-oeste teve respectivamente uma proporção de 46,16%, 6,44%, 62,63% da área cultivada e a região sul de 37,74%, 32,85% e 20,77%. Assim, a região sul teve representatividade no cultivo de milho tanto para primeira, quanto segunda safra, justificando assim sua liderança na produção nacional. Na região centro-oeste a principal cultura da primeira safra foi a soja, o milho foi praticamente produzido somente na segunda.

A evolução da produtividade e área cultivada com essas culturas é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – a) Evolução nacional da área. b) produtividade nacional das culturas de soja e milho de 2º safra.

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB.

Conforme exposto na Figura 3a, a partir da década de 1990, tanto a área de soja como a do milho apresentaram crescimento até 2006. Um dos fatores que colaborou para esse comportamento crescente da agricultura foi o Plano Real, que através da apreciação cambial promoveu a redução nos preços das terras e dos produtos agrícolas, resultando em um aumento no consumo de fertilizantes entre 1992 e 1997, que consequentemente contribuiu no aumento da produtividade (BARBOSA; COUTO, 2008),

Além das ações políticas, especificamente na região do cerrado, a grande evolução observada nos últimos anos, também se deve à adoção do sistema de semeadura direta, minimizando os problemas como a formação e manutenção de cobertura morta, correção das propriedades físicas e químicas do perfil do solo, mecanização da semeadura, manejo das plantas daninhas, dentre outros (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

2.2 Semeadura Direta

No Brasil, o sistema de semeadura direta, comumente chamado de plantio direto, teve início na década de 1970 e seus conceitos estão apoiados sobre três pilares: a mobilização mínima do solo, a rotação de culturas e a cobertura do solo, tendo como um dos objetivos reduzir a erosão do solo. O referido sistema de produção promove alterações nos atributos do solo, exigindo o desenvolvimento de novos métodos de manejo, quando comparado ao sistema de convencional de cultivo (ALVAREZ; M., 2003), (LEITE et al., 2010), (SCHIAVO et al., 2011).

Trabalhos desenvolvidos por Costa et al. (2003), Oliveira et al. (2004), Silveira et al. (2008), demonstram resultados positivos oriundos do sistema de semeadura direta, como exemplo cita-se a melhoria da estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo, o aumento da microporosidade, a melhor permeabilidade do ar no solo devido ao aumento de macroporos, melhor retenção de água, entre outros.

Os resultados positivos, advindos das técnicas de semeadura direta, contribuíram na evolução da agricultura no país, expandindo o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e aperfeiçoamento técnico de profissionais, desenvolvendo plantas forrageiras para cobertura do solo, melhorando o entendimento das propriedades do solo e consequentemente, reduzindo as limitações para o cultivo (LANDERS, 2001).

Ainda tratando-se do manejo, em áreas afetadas por compactação superficial, segundo Cepik, Trein e Levien (2005), muitas vezes não se torna necessário realizar a descompactação utilizando arados, uma vez que é possível melhorar o leito de semeadura por meio dos sulcadores das semeadoras ou escarificadores, consequentemente proporcionando melhores condições de germinação.

O sistema de semeadura direta em questão, além de exigir acompanhamento das condições físicas do solo, também necessita de uma atenção criteriosa da dinâmica de pragas e plantas daninhas, assim como, no manejo de fertilizantes e das modificações causadas ao ambiente, à medida que o sistema seja implantado. Dessa forma, verifica-se a necessidade do planejamento nas operações mecanizadas que compõem o sistema (CRUZ et al., 2006).

No decorrer dos anos, resultados das pesquisas têm demonstrado a evolução das técnicas desse sistema de produção. Como exemplo, cita-se o consórcio de gramíneas (MATA et al., 2011). Outro destaque é a tecnologia empregada na maquinaria agrícola,

que segundo Schlosser et al. (2005), permitiu a redução da relação peso/potência dos tratores, assim como, o aumento da capacidade operacional.

De acordo com Derpsch e Friedrich (2009), o uso do sistema de semeadura direta é crescente, ocupando em alguns países da América do Sul, aproximadamente 70,00% das áreas de cultivo. Especificamente no estado do Paraná, de acordo com BUBLITZ (2014), o referido sistema é utilizado em 91,64% das áreas de cultivo de verão (soja, milho, feijão), demonstrando que a implantação desse sistema é viável e tende a ser cada vez mais utilizado.

2.3 Máquinas agrícolas

O desenvolvimento da agricultura trouxe como consequência, a expansão e a evolução da comercialização do setor industrial de máquinas e implementos agrícolas (MELO; NAGAOKA; VIEIRA, 2012).

O setor de máquinas agrícolas se destacou nacionalmente, devido ao seu crescimento entre a segunda guerra mundial e meados de 1970. A partir desse período até metade da década 1980, o setor passou por uma crise (PASQUAL; PEDROZO, 2007). Os mesmos autores ainda citam que nos anos 1990, devido à política implantada pelo governo federal, que impôs altos juros para o financiamento da produção agrícola e também, por ocorrência de frustrações de safra, esse setor foi afetado negativamente, levando o setor a uma nova fase de declínio. Como observação, salienta-se que, nesse período o governo Collor também encerrou as atividades do Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA), que tinha por função avaliar o desempenho da maquinaria agrícola.

Segundo Garcia et al. (2008), a partir de meados de 1990, pela ocorrência de safras e preços vantajosos dos produtos comercializados, o setor industrial de máquinas agrícolas se recuperou gradualmente (Figura 4).

Figura 4 – Evolução da área e produtividade das culturas de soja e milho de 2º safra.
Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB.

Os fatores que colaboraram com esse avanço de área foram: a abertura de novas fronteiras agrícolas, o desenvolvimento de cultivares específicos para cada região, as agências de fomento, planos políticos e o setor industrial de máquinas (FERREIRA FILHO; FELIPE, 2007). Para Brandão, Rezende e Marques (2006), o aumento das áreas de soja a partir do ano de 1999, também se deve à reforma de áreas degradadas que eram ocupadas com pastagens, com fins de criação extensiva de bovinos. Além desses fatores, pode-se citar o sistema de semeadura direta. Um indicativo disso é o crescimento da comercialização dos tratores de rodas na década de 1990, que na sua maioria são destinados à reforma de área e não para abertura de áreas (BRANDÃO; REZENDE; MARQUES, 2006), (Figura 5).

Figura 5 – Vendas internas anuais de colhedoras e tratores no atacado.
Fonte: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA.

Com o aumento da área cultivada e da produtividade das culturas, não so-

mente o número de máquinas no campo aumentou, mas também a potência das mesmas. Segundo Ferreira Filho e Felipe (2007), entre 1970 e 2005, houve redução na comercialização das máquinas de menor potência (até 36,84 kW) e um aumento do consumo de tratores médios.

Entre os estados brasileiros, o que possui o maior número de tratores é o Rio Grande do Sul, seguido pelos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Santa Catarina, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Apesar do estado do Mato Grosso ter um número de tratores 70,83% inferior ao do Rio Grande do Sul, o mesmo é o único que apresenta mais de 50,00% dos tratores com potência superior a 73,57 kW (Figura 6).

Figura 6 – Número de tratores por potência por unidades da Federação.

Fonte: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA.

De acordo com Ferreira Filho e Felipe (2007), a relação entre a potência total consumida e área cultivada, durante os anos de 1996 até 2001 foi crescente no Brasil, indicando uma maior disponibilidade de serviços de máquinas agrícolas por área. Possibilitando a realização de operações em menos tempo, uma característica vital para a agricultura de grandes áreas.

2.4 Custos de Produção

O custo de produção é o total de recursos consumidos, em termos econômicos, para se obter um produto, um serviço ou uma atividade, que não necessariamente proporcionará lucro (LEONE, 1991). Como em qualquer outro sistema de produção, os custos da agricultura são formados pelo dispêndio de mão de obra e insumos, tais como água, energia, corretivos de solo, fertilizantes, agroquímicos, materiais genéticos, inoculantes, entre outros. O que difere a agricultura dos demais sistemas de

produção, segundo Cramer, Jensen e Southgate (2001), é o consumo de insumos dependente de fatores físicos e biológicos, onde os mesmos não são controlados completamente pelo ser humano.

De acordo com IMEA (2012a) e IMEA (2012b), os custos agrícolas são divididos em variáveis e fixos. O primeiro é composto pelo custo de insumos (sementes, fertilizantes defensivos), operações agrícolas (mão-de-obra, adubação e semeadura, aplicações de defensivos, colheita e aplicações aéreas) e outros custos (seguros, assistência técnica, transporte da produção, armazenamento e beneficiamento, impostos e custos administrativos). O segundo é formado pela depreciação das máquinas e equipamentos e pelo custo da terra (Figura 7).

Figura 7 – Custo da produção safra 2012/13, a) soja b) milho.
Fonte: Instituto Matogrossense de Economia Aplicada - IMEA.

Para as culturas da soja e do milho, os custos com operações agrícolas são de aproximadamente de 10,0%, na composição do custo total com a maquinaria agrícola. Ainda deve-se adicionar a depreciação, que segundo a mesma fonte de dados, está embutido nos custos fixos e representou para safra 2010/11 aproximadamente 2,0%. Dessa forma o custo médio com máquinas e implementos para produção de soja e milho, em relação ao custo total foi de 13,43%, (IMEA, 2012a) (IMEA, 2012b).

O custo total da maquinaria agrícola é formado por custos fixos (depreciação, juros, alojamento, seguro) e variáveis (reparo e manutenção, consumo de combustível, mão de obra), onde o primeiro independe do uso, e o segundo depende do quanto se usa a máquina e/ou implemento (ASABE, 2011a) (WITNEY, 1988). Entre os custos fixos, a determinação da depreciação, é um dos grandes problemas da adminis-

tração de máquinas agrícolas (OLIVEIRA, 2000). Segundo Noronha (1981), a depreciação é uma reserva contábil, com o intuito de substituição do bem devido ao seu desgaste, ou inviabilidade de uso ao longo do tempo. O mesmo autor cita que a depreciação, está relacionada com a vida útil da máquina, onde essa se encerra, no instante em que é possível a substituição do maquinário por uma alternativa mais econômica.

No estudo de índices de depreciação, Cosentino (2004) relatou que os tratores de rodas sofrem 37,02% de depreciação no primeiro ano, com desvalorização constante ao longo da vida útil, alcançando como valor de sucata um valor de aproximadamente 40,04% do seu valor inicial.

Ao analisarem preços de tratores agrícolas de rodas, Molina Jr. e Canale (1998), constataram que no primeiro ano, ocorre uma desvalorização de 30% do custo inicial, com depreciação linear próxima a 10,06% a partir do segundo ano, atingindo como valor de sucata 30,04% do preço de aquisição.

Os custos de reparo e manutenção dependem da intensidade do uso da máquina, podendo variar em função do solo, cultura e forma de uso da máquina, dessa forma, máquinas idênticas podem apresentar custos de reparo e manutenção distintos (HUNT, 2001).

Para uma melhor interpretação em relação ao custo de um conjunto mecanizado, é possível calcular o custo operacional. Milan (2004), define o custo operacional como a relação entre o custo horário e a capacidade de campo da máquina agrícola, considerando seu desempenho. Informações sobre a capacidade de campo operacional colaboram nas tomadas de decisões, tornando-se uma referência no gerenciamento dos sistemas mecanizados (MOLIN et al., 2006).

Para análise dos sistemas agrícolas, torna-se necessário considerar a integração entre as variáveis acerca de custos, intempéries, maquinaria agrícola, propriedades do solo, cultura, tempo disponível, entre outros fatores relevantes envolvidos (HARRIGAN; BICKERT; ROTZ, 1996). Um recurso que permite essa integração é a utilização de modelos computacionais.

2.5 Modelos aplicados à sistemas mecanizados agrícolas

O advento da informática permitiu o desenvolvimento de algoritmos heurísticos, que funcionam como uma ferramenta na tomada de decisões. Ao longo dos

anos, com o intuito de otimizar os processos que compõem um sistema de produção, pesquisadores desenvolveram diversos modelos computacionais.

Por definição, os modelos matemáticos são representações de fenômenos reais por meio de fórmulas matemáticas. Segundo Singh e Holtman (1979), devido à complexidade envolvida na solução dos modelos em sistemas agrícolas de produção, alguns aspectos podem ser omitidos com intuito de simplificar o modelo, como por exemplo, a diferença de desempenho dos conjuntos mecanizados em áreas distintas, eficiência de operadores, intervenções naturais por meio de intempéries nos dias agronomicamente secos, entre outros.

Edwards e Boehlje (1980) elaboraram um modelo para simular o custo de máquinas agrícola em função do tamanho da área de cultivo, tempo disponível, receita em função dos cultivos e pontualidade. No estudo em questão foram avaliadas áreas entre 81 e 364 ha, para as culturas de soja e milho. Como uma das suas conclusões, os autores constataram que produtores com áreas entre 81 e 121 ha tinham conjuntos mecanizados com custo superior ao custo ótimo estimado, ocorrendo o inverso com produtores com áreas entre 324 e 364 ha.

Para Hetz, Gold e Reese (1983), o conhecimento do número de dias agronomicamente secos é um fator determinante no planejamento das operações agrícolas. Os referidos pesquisadores desenvolveram um modelo computacional para predição do número de dias trabalháveis em um sistema de produção de trigo, baseados em uma série temporal de 17 anos do comportamento da precipitação, evaporação (tanque classe A) e horas de sol diário. O modelo diagnosticou o tempo disponível para a realização das operações necessárias para o cultivo de trigo em uma província do Chile e os resultados apresentaram nível de confiança igual a 0,70 em relação aos dados estimados pelos agricultores.

Um modelo computacional interativo para predizer a capacidade de campo e o consumo de combustível de tratores, colhedoras e máquinas autopropelidas, foi desenvolvido por Colvin, McConnell e Catus (1989). O modelo calcula a potência requerida, o tempo improdutivo e o consumo de combustível por meio de equações teóricas, considerando a declividade e os contornos de área. Os autores constataram, por meio de análise estatística, que o modelo apresentou resultados condizentes para a estimativa do tempo requerido para realizações das operações e consumo de combustível.

Sendo o consumo de combustível um indicador de performance econômica de um motor (DURKOVIC; DAMJANOVIC, 2006), diversos modelos para estimar esse indicador foram desenvolvidos, cita-se Milan (1992), Molin e Milan (2002), ASAE (2003), Grisso, Vaughan e Roberson (2008), Kim, Kim e Kim (2011), ASABE (2011a). Os modelos diferem nas variáveis solicitadas para realização dos cálculos e na simplicidade de sua utilização.

Para dimensionar e selecionar conjuntos mecanizados com base no custo operacional mínimo, Isik e Sabanci (1993) desenvolveram um modelo computacional que utiliza como variável a área a ser cultivada, as características da cultura, propriedades dos solos e as condições climáticas. Os autores concluíram que a solução ótima do modelo é influenciada pelo tamanho da área e pelas características da cultura. Ainda citam que para cada tipo de sistema, torna-se necessário um planejamento individual da maquinaria agrícola.

Lopes et al. (1995) desenvolveram um programa computacional, com parâmetros ajustados à um sistema de produção americano. Os autores concluíram que apesar do modelo não ter parâmetros ajustados as condições brasileiras, permite selecionar máquinas que atendem as exigências técnicas do sistema de produção, com custo mínimo.

Com finalidade de analisar economicamente operações de cultivos alternativos, nos sistemas de produção de grãos para cereais e óleo, utilizando como variáveis de decisão as operações de cultivo, o número inteiro de conjuntos mecanizados e o período programado para realização das operações, Ekman (2000) desenvolveu um modelo matemático computacional. O autor constatou que a variação do tempo disponível para realização das operações, faz com que o modelo determinístico gere uma tendência de subestimar a potência ótima dos conjuntos mecanizados.

Um modelo de programação linear para a seleção de pulverizadores, que tem como função objetivo a minimização do custo horário, foi desenvolvido por Baio et al. (2004). Segundo os autores, as taxas de reparo e a depreciação foram os fatores que mais promoveram efeito na variação do custo horário. Os autores também salientam, que a redução do tempo disponível, implica no aumento do custo horário e operacional. O estudo indica que quanto menor a capacidade de campo operacional (CcO) de um conjunto mecanizado, maior é a tendência de aumentar o número de horas trabalhadas, fazendo

com que o custo por unidade área se eleve. Dessa forma para a redução dos custos de produção, se deve buscar um equilíbrio entre a CcO das máquinas e tamanho de área.

Couto, Cunha e Reis (2012) desenvolveram um modelo de programação linear para reduzir o custo com pulverização na cultura de cana-de-açúcar. Os autores elencaram três categorias de pulverizadores: aéreo; terrestre de arrasto; terrestre autopropelido. As restrições foram o tamanho de área, tempo disponível para aplicação de diferentes produtos e número de operadores. Os resultados apontam que para os cenários avaliados, a utilização de pulverizadores terrestres autopropelidos e pulverizadores aéreos, são as formas de pulverização que proporcionam menores custos.

Com o intuito de auxiliar na redução de custos de colhedoras de grãos, Sorensen (2003) desenvolveu um modelo para dimensionar colhedoras de grãos em função dos dias agronomicamente viáveis e umidade dos grãos. Os resultados indicam a necessidade da quantificação e minimização dos períodos não produtivos da maquinaria, para que então, seja possível aumentar a eficiência operacional, que consequentemente pode reduzir os custos. O autor ainda conclui, que para um caso específico de estudo, as frotas de colhedoras subestimadas podem apresentar custos superiores às superestimadas em até 50,00%.

Borges, Maciel e Milan (2006) desenvolveram um programa computacional para o dimensionamento de colhedoras, assumindo como variáveis de entrada os atributos agroclimáticos e características da colhedora de grãos. O modelo avalia a influência do atraso no dimensionamento da frota e no custo da operação de colheita, tendo como resultado a renda líquida como indicador de pontualidade para a colhedora selecionada. Para a situação avaliada, os resultados mostraram que a frota de colhedoras apresenta ociosidade, afetando negativamente a renda líquida.

Para Rashid e Ranjbar (2010), a predição de custos da maquinaria agrícola, no que tange os gastos com reparo e manutenção, fornece informações vitais para os gestores, para que os mesmos possam gerenciar financeiramente a produção. Nesse estudo, os autores desenvolveram um modelo para estimar os custos de tratores, utilizando uma série temporal dos custos de um trator com tração 4x2, com 147 kW. Os resultados encontrados mostraram que a curva que apresenta melhor representatividade dos custos é a polinomial de segundo grau, onde os principais custos encontrados foram peças de reposição, salário e lubrificantes.

Um modelo empírico para avaliar a pontualidade de semeadura e adubação da cultura da soja foi desenvolvido por Matos, Salvi e Milan (2006), simulando a receita líquida em função de cultivares, épocas de semeadura e sistema de produção. A análise do cenário em questão demonstrou que a antecipação da adubação permite a racionalização no dimensionamento dos conjuntos mecanizados, promovendo aumento da receita líquida.

Lacour et al. (2014) implementaram um modelo para avaliar a eficiência de um conjunto mecanizado para aração, tendo como referência o consumo de combustível e o desempenho operacional. Os autores concluíram que na predição da eficiência, a utilização de informações provenientes dos testes de campo, oferecem resultados melhores, quando comparados ao uso de informações oriundas de testes de bancada. As variáveis utilizadas no modelo foram velocidade, largura e profundidade de trabalho, as mesmas exigem uma determinada potência na barra de tração, que por sua vez, é convertida em consumo de combustível.

2.6 Terceirização das operações mecanizadas na agricultura

Segundo Novais e Romero (2009), a terceirização é uma alternativa para o setor agrícola, pois além de ser uma forma de reduzir o custo de investimento, também possibilita a redução dos gastos com mão de obra. De acordo com Belcourt (2006), essa alternativa ocorre quando uma empresa contrata outra empresa para oferecer serviços de uma atividade principal, inclusive com a substituição de funcionários. O autor ainda destaca que a principal diferença entre o serviço terceirizado e o serviço compartilhado (cooperativas, associações, etc.), é que na primeira, a fonte de recursos é oriunda da empresa contratada e que o lucro nem sempre é o objetivo no serviço compartilhado.

A terceirização é estrategicamente utilizada pela gerência de uma empresa, como um recurso para cumprimento das funções que não fazem parte do núcleo de sua competência, contratando serviços de agente externo especializado (KAKABADSE; KAKABADSE, 2000).

Para Aubert, Rivard e Patry (2004), a terceirização é a ação de ceder a atividade de produção de um serviço/produto para um fornecedor externo, funcionando como uma alternativa de produção de uma determinada atividade, desde que proporcione qualidade igual ou superior, com custos mais atraentes que a produção própria.

Entre os problemas oriundos do processo de terceirização, Valença e Barbosa

(2002) citam a dificuldade em estabelecer relação de parceria com os terceiros, choque cultural entre os terceiros e funcionários que já trabalham na empresa e problemas de relacionamento entre os funcionários da empresa e os terceiros.

No mercado europeu, independentemente de seus prós e contras, a terceirização nas propriedades agrícolas promoveu uma reorganização do trabalho agrário e da própria estrutura empresarial, inclusive com o surgimento de empresas especializadas na prestação de serviços (NAVARRO, 2002).

Legnaro (2008) relata que a partir dos anos 1990, a contratação de serviços terceirizados na agricultura nacional aumentou, principalmente pela procura de equipamentos sofisticados e serviços de alta qualificação, como pulverização aérea, agricultura de precisão e colheita mecanizada.

Em pesquisa realizada em uma propriedade no estado do Paraná, com uma área de 92,00 ha destinada ao cultivo de soja, Novais e Romero (2009) constataram que o custo das atividades de operação mecanizadas realizadas com recursos próprios, foi de aproximadamente 24,00% superior às mesmas atividades se fossem terceirizadas. Além do resultado financeiro, os pesquisadores relatam que a terceirização amplia o tempo livre do empresário rural, pois o ato de terceirizar reduz a sua necessidade de permanecer no campo.

Resultados oriundos de pesquisa de 790,00 propriedades holandesas e 63,00 japonesas, na qual foram analisadas as variáveis tamanho da propriedade, diversificação, mão de obra e maquinário próprio, demonstram que para as propriedades holandesas, a terceirização é usada por propriedades de menor tamanho e onde há diversificação das atividades com pouca mão obra, porém a redução de custos não fica evidenciada como a redução de mão de obra. Para as propriedades japonesas devido ao número de amostras, não foi possível estabelecer resultados estatísticos significativos. Contudo notaram que aspectos culturais são os fatores que mais incidem na opção em terceirizar, que é uma alternativa eficiente para suprir a escassez de mão de obra (IGATA; HENDRIKSEN; HEIJMAN, 2008).

2.7 Demanda de energia na agricultura

O advento da mecanização agrícola permitiu ao ser humano aumentar sua capacidade de produção. Para Garcia, Rivera e Salazar (2002), as máquinas agrícolas

são um dos principais meios de trabalho e bens de capital da agricultura moderna, sendo comparável aos recursos naturais, pois na agricultura de grande escala, o trabalho humano mesmo aliado a fontes de potência de tração animal, não são suficientes.

A maquinaria agrícola proporciona a realização de mais trabalho em menos tempo, se comparado à capacidade endossomática do ser humano, por disponibilizar mais potência. Para disponibilizar a potência, as máquinas agrícolas necessitam de uma fonte de energia, representada principalmente pelos combustíveis fósseis. No Brasil, do total de energia oriunda do óleo diesel, aproximadamente 14,03% (Figura 8) é destinado ao setor agropecuário (BRASIL, 2014).

Figura 8 – Consumo energético do setor agropecuário nacional.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE

Para Cavalett e Ortega (2007), o sistema de produção da soja, nos conceitos da agricultura industrial moderna, é baseado no uso de energia fóssil, insumos industriais, fertilizantes químicos, agrotóxicos, mecanização, pouca mão de obra, variedades geneticamente modificadas de alto potencial produtivo, além de muitos outros recursos não renováveis.

Por utilizar principalmente fontes de energia não renováveis, torna-se necessário o gerenciamento das fontes energéticas nos sistemas de produção, para que se busque um balanço positivo entre energia produzida e consumida. Segundo Conforti e Giampietro (1997), avaliações do balanço energético são indicadores para avaliação do impacto ambiental oriundo das atividades agrícolas.

Em um sistema agrícola de produção, o fluxo de material pode ser expresso em termos de energia, sendo assim, a energia de entrada e a energia de saída, são dois importantes fatores para determinar a eficiência energética e o impacto ambiental da produção de uma cultura, sendo que o gerenciamento das operações agrícolas irá afetar

de forma positiva ou negativa o balanço de energia (RATHKE et al., 2007).

Para Biaggioni e Bovolenta (2010), o estudo do balanço energético em sistemas de produção, com intuito de aprimorar o uso racional de combustíveis é uma necessidade, principalmente nas operações que fazem uso do óleo diesel.

Entre os sistemas de cultivo para a cultura do milho, entre eles o preparo convencional, cultivo mínimo e semeadura direta, Fernandes, Silveira e Rinaldi (2008), identificaram que a operação que apresentou maior custo energético foi a aração com disco, com valores próximos a $1.420,26 \text{ MJ ha}^{-1}$. No mesmo estudo, constataram que a operação de semeadura nos sistemas de cultivo avaliados, tem consumo médio de $547,04 \text{ MJ ha}^{-1}$ com coeficiente de variação igual a 3,87%. Dessa forma, torna-se evidente que o uso da semeadura direta em áreas que utilizam sistemas mecanizados, proporciona economia no uso de recurso energético, que no caso estudado foi de aproximadamente 48,31%, principalmente no que tange o consumo de óleo diesel.

Estudando um sistema de produção de silagem de milho na região dos Campos Gerais, situado no estado do Paraná, Romanelli e Milan (2012) caracterizaram o fluxo de material dos sistemas mecanizados, constatando que em termos energéticos o material mais consumido foi o óleo diesel, seguido pela depreciação do maquinário e mão de obra humana. Os autores ainda verificaram que do ponto de vista energético, quanto maior a área cultivada, menor tende a ser a quantidade de maquinário e mão de obra embutida.

Em relação a participação do trabalho humano, Boustead e Hancock (1979) relatam que sua participação nos sistemas industrializados é inferior a 0,58% do total consumido, não necessitando ser contabilizada para fins de análise energética, pois seu valor não é representativo. No estudo sobre balanço de energia para produção de biodiesel com soja, Mourad e Arnaldo (2011) desconsideram o trabalho humano. Assim como, Cavalett e Ortega (2010) que na análise do ciclo de vida da soja, constataram que o trabalho humano não possui energia significativa.

No que tange a depreciação da maquinaria agrícola, nota-se uma variação no índices energéticos para uma mesma categoria de máquina. Para determinar a depreciação energética, Jasper et al. (2010) usou índice de $14.628,67 \text{ MJ Mg}^{-1}$ para máquinas; $13.012,52 \text{ MJ Mg}^{-1}$ para colhedoras; $8.628,92 \text{ MJ Mg}^{-1}$ para implementos (até semeadura); $8.352,61 \text{ MJ Mg}^{-1}$ para implementos (pós-semeadura) e $85.829,43 \text{ MJ Mg}^{-1}$ para pneus. Índices de $109.000,00 \text{ MJ Mg}^{-1}$ para tratores, $66.800,00 \text{ MJ Mg}^{-1}$ para arado,

70.900,00 MJ Mg⁻¹ para semeadora (HETZ; BARRIOS, 1997). Mantoam et al. (2014) ao comparar seus resultados de índice de energia incorporada para uma colhedora de cana-de-açúcar, constataram que os mesmos, foram superiores aos encontrados em outros métodos. Para Doering III (1980), a demanda energética dos materiais utilizados de forma indireta, é calculada de forma imprecisa.

A agricultura e a energia estão inter-relacionadas, pois em um primeiro momento a agricultura consome energia oriunda do sol, nutrientes, entre outros, para posteriormente fornecer parte do que foi consumido em forma de bioenergia. Desta forma, os sistemas de produção devem ser estudados para encontrar meios de aumentar sua eficiência energética (TABATABAEEFAR et al., 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizadas as seguintes etapas: caracterização do sistema de produção para levantamento das variáveis que envolvem o sistema de produção; desenvolvimento de um sistema computacional estruturado em modelos existentes e com parâmetros ajustados para o local de estudo; determinação dos fluxos de energia do sistema motomecanizado; validação do modelo; determinação de um método para identificar a fração no número de conjuntos que torna a terceirização viável; análise de sensibilidade e simulação de cenários.

3.1 Sistemas de Produção

O cenário de estudo é uma propriedade agrícola, que está situada no município de Sorriso, região centro norte do estado do Mato Grosso (Figura 9).

Figura 9 – Localização do município de Sorriso no Estado de Mato Grosso

O município de Sorriso localiza-se na latitude $12^{\circ}32'43''$ sul e longitude $55^{\circ}42'41''$ oeste, com altitude de 365 metros. Possui área de $9.345,7 \text{ km}^2$, com área de cultivo de 608,0 mil hectares e produção de aproximadamente 1,8 milhões de toneladas na safra de 2010 (IBGE, 2013).

O sistema de produção estudado é composto por duas culturas, tendo como a primeira safra soja em uma área de 6.900 ha e segunda safra o milho em uma área de 3.500 ha. A segunda safra é cultivada subsequentemente à cultura da soja e denomi-

nada “milho safrinha”. O solo predominante na área é o Latossolo com textura argilosa (EMBRAPA, 1999).

Para detalhar a área estudada, dados econômicos regionais foram obtidos por meio de pesquisas em referências bibliográficas. Também foram realizadas visitas técnicas *in loco*, para obtenção de dados específicos da propriedade, entre eles cita-se a área cultivada e suas respectivas culturas, período e tempo disponível para realização das operações agrícolas, maquinaria agrícola utilizada nas operações, dados da produtividade das culturas. Não foram obtidas informações relativas ao transporte dos produtos colhidos e de operações relativas à correção da acidez do solo, pois não havia um histórico consistente das operações de correção do solo. Os grãos após serem colhidos, são diretamente transportados por meio de terceiros à diferentes unidades armazenadoras, dificultando a modelagem desse processo. Dessa forma, o estudo limitou-se aos processos detalhados a seguir.

Os processos estudados que compreendem o sistema de produção são a semeadura direta, adubação, pulverização e colheita. A programação das operações é realizada em função do ciclo de cada cultura (Tabela 1).

Tabela 1 – Cronograma e tempo disponível das operações realizadas no sistema de produção de soja e milho de segunda safra

Mês	O		N		D		J		F		M		A		M		J		J	
Quinzena	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Operação	— Cultura da Soja —																		Tempo(h)	
Semeadura	x	x	x	x																252
Pulverização 1	x	x	x	x																270
Pulverização 2			x	x	x	x														270
Pulverização 3				x	x	x														228
Pulverização 4					x	x	x	x												198
Pulverização 5							x	x	x											165
Pulverização 6								x	x	x										165
Colheita							x	x	x	x	x									300
— Cultura do Milho —																				
Semeadura							x	x	x	x										300
Adubação de cobertura								x	x	x	x									300
Pulverização 1							x	x	x	x										250
Pulverização 2									x	x	x	x								250
Colheita																x	x	x	x	350

1 = primeira quinzena; 2 = segunda quinzena;

Fonte: (Eng. Agrônomo da propriedade)

A operação de semeadura da soja é realizada nos meses de outubro e novembro, com realização simultânea da adubação na fileira de cultivo. As operações de pulverização 1 e 2 são referentes à aplicação de herbicidas e inseticidas com fertilizantes foliares, respectivamente. As pulverizações 3, 4 e 5 são para aplicação de fungicidas e inseticidas simultaneamente, sendo realizadas com um intervalo de aproximadamente 20 dias. Na segunda quinzena de julho, a pulverização 6 é realizada com aplicação de herbicidas. A operação de colheita da soja tem início em janeiro e encerra-se na primeira quinzena de maio.

Em relação a cultura do milho safrinha, a semeadura ocorre entre janeiro e fevereiro sem a ocorrência de adubação na fileira. Como operação subsequente tem-se a distribuição de fertilizante a lanço, denominada adubação de cobertura. Na sequência são realizadas duas pulverizações, sendo a primeira com herbicidas e inseticidas e a segunda com fungicidas e inseticidas. A colheita tem início na segunda quinzena de maio com término em julho.

Contabilizando a área a ser cultivada das culturas de soja e milho safrinha, a área total de semeadura e colheita atinge 10.400 ha. A operação de pulverização é realizada seis vezes na cultura da soja e duas vezes na cultura do milho safrinha, totalizando 48.400 ha de área pulverizada.

Na propriedade, o sistema mecanizado utilizado para as operações agrícolas é composto por uma frota de oito tratores, oito semeadoras, cinco pulverizadores auto-propelidos, um distribuidor de fertilizantes e onze colhedoras (Tabela 2).

Tabela 2 – Máquinas agrícolas utilizadas para realização das operações

Máquina/ Conjunto	Quantidade	Potência (kW)	CcO (ha h ⁻¹)	
			soja	milho
Trator/Semeadora (12 fileiras)	4	88	—	—3,90—
Trator/Semeadora (12 fileiras)	2	102	—	—3,90—
Trator/Semeadora (12 fileiras)	2	95	—	—3,90—
Distribuidor Fert. Autopropelido	1	132	—	—18,20—
Pulverizador Autopropelido	3	94	—	—27,60—
Pulverizador Autopropelido	1	180	—	—27,60—
Pulverizador Autopropelido	1	158	—	—37,40—
Colhedora	9	133	2,21	1,51
Colhedora	1	238	5,54	2,72
Colhedora	1	238	5,54	2,72

Os demais dados como valor de compra, valor de sucata, custo com reparo

e manutenção, consumo de combustível, entre outros, estão descritos no Apêndice A.

3.2 Modelo para o planejamento de sistemas mecanizados

3.2.1 Dimensionamento operacional

Para o cálculo do tempo disponível das operações agrícola, as variáveis número de dias trabalhados e número de horas trabalhadas são consideradas. Além desses fatores, para cada operação é possível inserir a eficiência gerencial (MILAN, 2004). Assim, adaptando a equação de Milan (2004), obtém-se o tempo disponível (eq. 1).

$$Td = Nd * Hj * Eg \quad (1)$$

Em que: Td = tempo disponível para realizar a operação (h); Nd = número de dias do período (dia); Hj = número de horas da jornada de trabalho (h dia⁻¹); Eg = eficiência gerencial (decimal).

A partir da área a ser cultivada e o tempo disponível, obtém-se o ritmo operacional (eq. 2), que conforme Mialhe (1974) é obtido por:

$$RO = \frac{A}{Td} \quad (2)$$

Em que: RO = ritmo operacional (ha h⁻¹); A = área de operação (ha); Td = tempo disponível para realizar a operação (h).

A capacidade de campo operacional (eq. 3) foi determinada em função da largura de trabalho multiplicada pela velocidade de deslocamento do conjunto, assumindo uma eficiência operacional para cada processo, conforme (HUNT, 2001).

$$CcO = Lt * S * e_c * 0,36 \quad (3)$$

Em que: CcO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹); Lt = largura de trabalho (m); S = velocidade de deslocamento (m s⁻¹); e_c = eficiência de campo operacional (decimal); 0,36 = fator de conversão de m² s⁻¹ para ha h⁻¹.

Estabelecido o ritmo operacional e a CcO, determina-se o número de con-

junto(s) mecanizado(s) necessário(s) (eq. 4).

$$NC = \frac{RO}{CcO} \quad (4)$$

Em que: NC = número de conjuntos; RO = ritmo operacional (ha h⁻¹); CcO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹).

Usualmente o resultado obtido para o número de conjuntos não é um número inteiro. Para auxiliar a tomada de decisão, entre optar-se pelo próximo número inferior ou superior, desenvolveu-se um critério de decisão que depende de uma análise do custo operacional e demanda de energia, descrita no item 3.2.2.

3.2.2 Análise do custo operacional

Para uma determinada operação agrícola, assumindo apenas um modelo de conjunto mecanizado com CcO constante e que a solução do número de conjuntos não seja um número inteiro, o modelo gera as seguintes previsões de custo operacional para tomada de decisão:

- Dimensionamento 1: o número de conjuntos é arredondado para o próximo número superior inteiro (n) e todos os conjuntos possuem o mesmo tempo de utilização anual;
- Dimensionamento 2: o número de conjuntos é arredondado para o próximo número superior inteiro (n), assumindo que o tempo anual de utilização de (n-1) conjuntos seja igual ao tempo disponível e para o último conjunto, o tempo de utilização anual é o tempo necessário para realizar a operação na área não abrangida pelas demais máquinas.
- Dimensionamento 3: o número de conjuntos é arredondado para o próximo número superior inteiro (n) assumindo que tempo anual de utilização de (n-1) conjuntos seja igual ao tempo disponível e a área restante é finalizada por serviço terceirizado.
- Dimensionamento 4: Assume-se que a operação é realizada integralmente por serviço terceirizado.

Como indicador de eficiência financeira, um índice foi estabelecido para as situações supracitadas. O índice é calculado por simulação, considerando o tempo disponível especificado e assumindo uma capacidade de campo operacional constante.

Para o intervalo de área, que pode ser cumprido pelo número de conjuntos dimensionado, estima-se o “custo máximo” (área mínima) e “custo mínimo” (área máxima), assim como, os custos operacionais para uma determinada área, utilizando o “Dimensionamento 1”, “Dimensionamento 2”, “Dimensionamento 3” e “Dimensionamento 4” (Figura 10).

Figura 10 – Exemplo do custo operacional de semeadura em função da área (912,00 ha) para conjuntos com capacidade operacional de 3,20 ha h⁻¹ e tempo disponível de 230,00 h.

O índice expressa para uma determinada área, a diferença entre o custo do dimensionamento e custo máximo (área mínima) do intervalo, em relação a diferença do custo máximo (área mínima) e custo mínimo (área máxima) (eq. 5).

$$I = \frac{C_{MAX} - C_{AT}}{C_{MAX} - C_{MIN}} \quad (5)$$

Em que: I= Índice financeiro (adimensional); C_{MAX} = custo para a área mínima que o conjunto pode cobrir no tempo disponível com capacidade de campo operacional constante (R\$ ha⁻¹); C_{MIN} = custo para a área máxima que o conjunto pode cobrir no tempo disponível com capacidade de campo operacional constante (R\$ ha⁻¹); C_{AT} = custo atual ou do dimensionamento para a área de trabalho (R\$ ha⁻¹).

Para um intervalo de área, que o número de conjuntos pode cumprir dentro do tempo especificado, se $0,00 < I < 1,00$, o custo do conjunto mecanizado está entre o custo máximo e mínimo, se $I > 1,00$, o custo do conjunto mecanizado é inferior ao custo mínimo e se $I < 0,00$, o custo do conjunto dimensionado é superior ao custo máximo.

3.2.3 Predição de força e potência para máquinas tracionadas

Para as máquinas ou implementos que são tracionados por trator, a força requerida na barra de tração é estimada segundo ASABE (2011a), (eq. 6).

$$FR_{BT} = F_i * (A + B * (S) + C * (S)^2) * Nl * T \quad (6)$$

Em que: FR_{BT} = força (N) requerida na barra de tração; F = fator adimensional para ajuste do parâmetro textura do solo; $i = 1$ para textura fina, 2 para média e 3 para grossa; A , B e C = parâmetros específicos do implemento (ASABE, 2011a); S = velocidade de operação (km h^{-1}); Nl = largura do implemento (m) ou número de fileiras; T = profundidade para equipamentos de preparo de solo (cm) ou 1,00 adimensional para equipamentos que não operem em profundidade e semeadoras.

Os parâmetros indicados pelo método ASABE (2011a) possuem uma variação de até 50,00%, dependendo da máquina/implemento e da textura do solo. Sendo assim, por meio de pesquisa bibliográfica, levantaram-se os parâmetros que melhor representassem as condições das operações agrícolas brasileiras. As equações para a operação de semeadura, para as máquinas semeadora-adubadora e semeadora são especificadas nos itens subsequentes 3.2.4 e 3.2.5. Posteriormente, considerando a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, a força requerida pela máquina/implemento na barra de tração e o fator relação de potência entre a tomada de potência e a barra de tração, em função do tipo de rodado e condição da superfície de tração, calcula-se a potência requerida (eq. 7) na tomada de potência (ASABE, 2011a).

$$PR_{TDP} = \frac{FR_{BT} * S}{C_{DBPTO} * 1000} \quad (7)$$

Em que: PR_{TDP} = Potência requerida na TDP (kW); FR_{BT} = força requerida na barra de tração (N); C_{DBPTO} = fator relação de potência entre a tomada de potência e a barra de tração (ASABE, 2011a) (decimal); S = velocidade de deslocamento (m s^{-1}), 1000 = constante para transformar W em kW (adimensional).

O fator relação de potência disponível entre a tomada de potência e a barra de tração pode ser obtido considerando-se as condições de rodagem (Figura 11).

Figura 11 – Relação de potência entre a tomada de potência e a barra de tração em função da condição da superfície de tracionamento e tipo de rodado. Adaptado de (ASABE, 2011a)

A predição da potência líquida requerida no motor (eq. 8) é estimada segundo ASABE (2011a).

$$PR_{Mot} = \frac{PR_{TDP}}{0,90} \quad (8)$$

Em que: PR_{Mot} = potência líquida requerida no motor (kW); PR_{TDP} = potência requerida na tomada de potência (kW); 0,90 = fator de ajuste (ASABE, 2011a).

Para os pulverizadores e colhedoras autopropelidas, optou-se por não estimar a potência requerida para o acionamento das referidas máquinas, uma vez que esse dimensionamento é realizado pelos fabricantes.

3.2.4 Semeadora-adubadora para plantio direto

Para a semeadora-adubadora, formou-se um banco de dados com 40 amostras, com velocidades de operação variando entre $0,97 \text{ m s}^{-1}$ ($3,50 \text{ km h}^{-1}$) e $2,36 \text{ m s}^{-1}$ ($8,50 \text{ km h}^{-1}$), realizadas em sistema de semeadura direta (Tabela 3).

Tabela 3 – Velocidades de deslocamento utilizadas em trabalhos de pesquisa com semeadora-adubadora.

Referência	Solo	Cultura	–Velocidade (km h ⁻¹)–			
(ALMEIDA; SILVA; SILVA, 2010)	Latossolo	Soja	5,97	6,14	4,66	4,81
(BORTOLOTTI; NETO; BORTOLOTTI, 2006)	Latossolo	Soja	4,70	5,40	6,50	7,20
(FURLANI; LOPES; SILVA, 2005)	Latossolo	Milho	7,40			
(FURLANI et al., 2007)	Latossolo	Soja	4,00	5,00	6,00	
(FURLANI et al., 2008)	Latossolo	Milho	4,74			
(GROTTA et al., 2009)	Latossolo	Milho	4,10	4,10		
(MAHL; GAMERO; BENEZ, 2007)	Nitossolo	Milho	4,40	6,10	8,10	
(MERCANTE et al., 2005)	Latossolo	Milho	5,20	8,40	5,20	8,40
(MODOLO et al., 2004)	Latossolo	Milho	5,20	8,40	5,20	8,40
(SANTOS; VOLPATO; TOURINO, 2008)	Latossolo	Milho	4,97	6,48	7,99	
(SILVEIRA et al., 2011)	Latossolo	Milho	3,50	4,00	5,50	7,00
(SILVEIRA et al., 2013)	Latossolo	Milho	3,50	4,00	5,50	7,00
(TRINTIN; NETO; BORTOLOTTI, 2005)	Latossolo	Soja	4,20	5,20	6,50	

A partir desses dados, realizou-se uma análise utilizando-se da estatística descritiva da força exigida por fileira de semeadura e posteriormente verificou-se o intervalo de maior ocorrência por meio de histograma. A equação para predição da força demandada na barra de tração, foi ajustada de tal forma que a mesma atendesse o intervalo de maior frequência absoluta da força requerida por fileira nas operações com semeadoras-adubadoras.

3.2.5 Semeadora para semeadura direta

Para esse caso, a máquina semeadora considerada difere da semeadora-adubadora por não realizar adubação na fileira de cultivo. Devido a falta de trabalhos que especifiquem a demanda energética de semeadoras, optou-se por não estimar a força de tração pela equação 6.

Para estimar a potência requerida para o acionamento das referidas máquinas, um banco de dados (Anexo B) composto por 23 modelos de semeadoras de diferentes fabricantes foi organizado. A partir do banco de dados, obteve-se a média da potência mínima requerida no motor para acionamento das semeadoras. A potência requerida na tomada de potência foi calculada por (ASABE, 2011a) (eq. 9).

$$PR_{TDP} = PR_{Mot} * 0,90 \quad (9)$$

Em que: PR_{TDP} = Potência requerida na TDP (kW fileira^{-1}); PRM = Potência requerida no motor (kW fileira^{-1}), 0,90 = fator conversão potência no motor para potência na tomada de potência (adimensional)(ASABE, 2011a).

3.2.6 Distribuidores de Corretivos e Fertilizantes e pulverizadores tracionados

Para máquinas tracionadas, que tem por função realizar a pulverização e distribuição de corretivos e fertilizantes, a norma ASABE (2011a) não especifica parâmetros para estimar a força de tração requerida. Dessa forma, optou-se por não realizar a predição.

3.2.7 Colhedora de grãos (soja e milho)

Para a colheita da cultura da soja e do milho, a potência requerida foi obtida pelo método proposto por ASABE (2011b), (eq. 10).

$$PR = a + (c * F) \quad (10)$$

Em que: PR = potência requerida (kW); F = taxa de alimentação do material colhido (Mg h^{-1}); $a; c$ = parâmetros específicos da cultura (ASAE, 2003); soja: $a = 5,00$; $c = 1,80$; milho: $a = 30,00$; $c = 1,20$.

A taxa de alimentação do material é estimada em função da velocidade de deslocamento da colhedora, da largura da plataforma de corte, da produtividade da cultura e da proporção entre a massa da parte aérea colhida e a massa de grãos da planta no momento da colheita. Apesar de Cruz, Peixoto e Martins (2010) e Ferreira et al. (2007) não vincularem a produtividade da cultura da soja com a proporção de massa de grãos e massa seca da parte aérea, os autores encontraram valores entre 37,70 a 45,10% para a massa de grãos e 62,23 a 55,15% para a massa da parte aérea. A partir desses valores, para a cultura da soja, adotou-se que para o total do material colhido, 45,00% é composto por grãos e 55,00% por demais partes constituintes da parte aérea da planta. Com tal proporção e considerando-se que a produtividade média no estado de Mato Grosso, que

nos últimos 10 anos foi de aproximadamente 2,99 Mg ha⁻¹ CONAB (2012), estima-se a taxa de alimentação (eq. 11).

$$F = \frac{W * S * 6,64}{10000} \quad (11)$$

Em que: F = taxa de alimentação (Mg s⁻¹); W = largura de trabalho (m); S = velocidade de deslocamento (m s⁻¹); 6,64 = produtividade de grãos e parte aérea da planta (Mg ha⁻¹); 10000 = fator de conversão para m².

Resultados obtidos por Mello (2006), Cortez, Furlani e Silva (2009) e Grotta et al. (2006), indicam que para a cultura do milho, o material colhido por uma colhedora autopropelida, é composto de 74,40 a 78,80% por grãos e 21,70 a 25,60% de outros materiais (sabugo, palha). Tomando como base esses valores, definiu-se uma proporção de 75,0 e 25,0% para grãos e outros materiais, respectivamente. Sendo que a produtividade média do milho de segunda safra dos últimos 10 anos, no estado de Mato Grosso, é 4,40 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2014b) estima-se a taxa de alimentação (eq. 12).

$$F = \frac{W * S * 5,87}{10000} \quad (12)$$

Em que: F = taxa de alimentação (Mg s⁻¹); W = largura de trabalho (m); S = velocidade de deslocamento (m s⁻¹); 5,87 = produtividade de grãos e parte aérea da planta (Mg ha⁻¹); 10000 = fator de conversão para m².

3.2.8 Predição do consumo de combustível

A predição de consumo de combustível foi realizada para operações que utilizem semeadoras, semeadoras-adubadoras, pulverizadores, distribuidores de insumos tracionados ou autopropelidos e colhedoras. Para os casos que o consumo de combustível da máquina para realização da operação for conhecido, o mesmo pode ser inserido no modelo. Caso a opção seja estimar o consumo, o mesmo pode ser estimado segundo os métodos indicados a seguir.

No caso das semeadoras-adubadoras, para decidir qual modelo a ser utilizado, realizou-se um estudo sobre os métodos Milan (1992) e ASABE (2011b), por apresentarem praticidade em seu uso. Além desses, também foram comparados com os

métodos , ASAE (2003) e ASABE (2011a), pois são os métodos sugeridos pela American Society of Agricultural and Biological Engineers. Entende-se que o método ASABE (2011a) seria um aprimoramento do método ASAE (2003), mas como o último tem utilização relativamente mais simples, optou-se em verificar seu desempenho, com o intuito de constatar se é interessante, ou não, sua substituição. O método proposto por Milan (1992) consiste na predição do consumo específico de combustível de um trator, em função da razão da potência disponível e máxima na tomada de potência (TDP) (eq. 13).

$$SFC = 0,288 + \frac{0,0847}{Pr} \quad (13)$$

Em que: SFC = consumo específico de combustível ($L \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$); Pr = relação potência na TDP e máxima na TDP (adimensional).

Para Molin e Milan (2002), como a rotação e esforço solicitado do trator podem variar em função da operação e variações do solo, a predição do consumo de combustível de um trator pode ser realizada baseando-se em dados médios, utilizando o método ASABE (2011b) (eq. 14).

$$CH = 0,198 * PM \quad (14)$$

Em que: CH= consumo de combustível ($L \text{ h}^{-1}$); PM = potência líquida do motor (kW); 0,198 = fator de consumo ($L \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

Segundo ASAE (2003), o consumo específico de combustível para motores diesel, pode ser obtido pela relação entre a potência requerida e disponível na TDP (eq. 15).

$$SFC = 2,64 * RRA_{TDP} + 3,91 - 0,203 * \sqrt{738 * RRA_{TDP} + 173} \quad (15)$$

Em que: SFC = consumo específico de combustível ($L \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$); RRATDP = relação potência requerida e máxima na TDP (adimensional); 2,64; 3,91; 0,203; 738 e 173 = parâmetros de ajustes da equação.

O método proposto por ASABE (2011a) é o que solicita o maior número de variáveis, sendo assim, o menos prático e o que requer maior detalhamento de dados, (eq.

16), (eq. 17), (eq. 18), (eq. 19).

$$SFC = (0,22 + \frac{0,096}{X}) * PTM \quad (16)$$

Em que: SFC = consumo específico de combustível ($L \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$); X = relação potência requerida e disponível na TDP (adimensional); PTM = aceleração parcial (adimensional).

$$X = \frac{PR_{TDP}}{PA_{TDP}} \quad (17)$$

Em que: X = relação entre potência requerida e disponível na TDP; PR_{TDP} = potência requerida na TDP; PA_{TDP} = potência nominal disponível na TDP.

$$PTM = 1 - (N - 1) * (0,45 * X - 0,877) \quad (18)$$

Em que: PTM = aceleração parcial (adimensional); N = relação entre rotação utilizada na operação e rotação máxima do motor (adimensional); X = relação potência requerida e disponível na TDP (adimensional).

$$N = \frac{N_{PT}}{N_{FT}} \quad (19)$$

Em que: N = relação entre a rotação utilizada na operação e a rotação máxima do motor (adimensional); N_{PT} = rotação utilizada na operação (rpm); N_{FT} = rotação máxima do motor (rpm).

Sendo assim, obtém-se o consumo horário pela equação 20:

$$CHs = SFC * PR_{TDP} \quad (20)$$

Em que: CHs = consumo horário ($L \text{ h}^{-1}$); SFC = Consumo específico ($L \text{ kW}^{-1}$); PR_{TDP} = Potência requerida na TDP (kW).

Caso os dados de potência disponível na tomada de potência e rotação de trabalho não sejam inseridos, os mesmos são estimados utilizando o valor de 0,90 da potência do motor (ASABE, 2011a) e 2200 rpm, respectivamente. O valor de 2200 rpm foi adotado por ser próximo dos valores de rotação nominal indicados pelos fabricantes.

A rotação nominal é a rotação para trabalhos contínuos em plena carga (OECD, 2012).

O desempenho dos métodos de predição de combustível foi verificado pelo somatório dos quadrados dos erros (ZIMMERMANN, 2004), assumindo como variável observada o consumo de combustível mensurado e como variável estimada a resposta de cada método.

Os valores mensurados e variáveis utilizadas na predição do consumo de combustível são oriundos do trabalho de Silveira (2008). O referido autor realizou um estudo sobre a demanda energética de uma semeadora-adubadora, variando velocidades de deslocamento (0,97; 1,11; 1,52; e 1,94 m s⁻¹) e rotações do motor (1500 rpm, 1900 rpm; 2100 rpm). No referido experimento, foi utilizado um trator (4 x 2 TDA) com potência de 75,8 kW (103 cv). A semeadora-adubadora de arrasto composta de seis fileiras de semeadura, dotada de disco de corte para palhada de 457 mm (18") de diâmetro, haste sulcadora para adubo com 27 mm de espessura da ponteira e ângulo de ataque de 20° e mecanismos sulcadores para sementes compostos por discos duplos de 381 mm (15") de diâmetro.

Para um estudo mais detalhado, as variáveis foram comparadas em função da rotação para cada velocidade testada. A diferença entre as variáveis observadas e preditas foi verificada pelo coeficiente determinístico. Para processamento e análises dos dados foi utilizado o programa computacional R (R Core Team, 2012) e (WICKHAM, H, 2009).

Em relação a predição do consumo de combustível nas operações que envolvam pulverizadores e distribuidores de insumos tracionados ou autopropelidos, foi utilizada a relação entre a potência líquida no motor e o consumo específico (eq. 21), proposta por ASABE (2011b).

$$CHp = 0,198 * PR_M \quad (21)$$

Em que: CHp = consumo médio de combustível (L h⁻¹); PR_M = potência líquida no motor (kW); 0,198 = consumo específico (L kW⁻¹ h⁻¹);

Na predição do consumo de combustível das colhedoras autopropelidas, utilizou-se o método (ASAE, 2003). O consumo de combustível foi estimado pela equação 15.

3.2.9 Custos das operações mecanizadas

O custo das máquinas agrícolas foi dividido em custos fixos e custos variáveis, conforme a definição de (HUNT, 2001). Os referidos custos serão formados pelos seguintes itens:

- custo fixo horário - depreciação, juros, seguro e taxas de alojamento;
- custo variável horário – consumo de combustível, reparo e manutenção (consumo óleo lubrificante do motor e transmissão, consumo de óleo hidráulico; consumo de graxa, consumo de pneus; consumo de filtros do motor, ar e hidráulico) e mão de obra.

Para determinação dos custos utilizou-se o método proposto pela ASABE (2011b), que fornece índices relativos aos custos a serem determinados. O custo com depreciação, foi determinado pelo método linear simples (ASABE, 2011a), (eq. 23).

$$D = \frac{PC - PV}{n} \quad (22)$$

Em que: D = Custo anual com depreciação (R\$ ano⁻¹); PC = preço de compra (R\$); PV = preço de venda no final do período (R\$); n = período (anos).

O custo relativo à taxa de juros refere-se a encargos financeiros do capital imobilizado na compra do produto, mesmo que a compra seja realizada a vista (eq. 23).

$$JA = \frac{PC + PV}{2} * TJA \quad (23)$$

Em que: JA = Custo anual com juros (R\$ ano⁻¹); PC = preço de compra (R\$); PV = Preço de venda (R\$); TJA = taxa anual de juros (decimal).

O custo com alojamento representa os investimentos em instalações que tem o intuito de abrigar a maquinaria agrícola. O referido custo representa o valor anual para preservação, depreciação e juros sobre o capital investido nas estruturas (eq.24).

$$ALO = PC * TA \quad (24)$$

Em que: ALO = Custo anual com alojamento ($R\$ \text{ ano}^{-1}$); PC = preço de tabela da máquina nova ($R\$$); TA = taxa anual de alojamento (decimal).

Para cobrir possíveis danos ou até mesmo furtos das máquinas e implementos agrícolas, torna-se necessário realizar a aquisição de um seguro, gerando um custo anual. Caso opte-se por não obter um seguro, esse custo pode ser contabilizado como um fundo de reserva, que tem por finalidade ressarcir os possíveis sinistros (eq. 25).

$$SEG = PC * TS \quad (25)$$

Em que: SEG = Custo anual com seguro ($R\$ \text{ ano}^{-1}$); PC = preço de tabela da máquina nova ($R\$$); TS = taxa anual de seguro (decimal).

Por meio dos custos fixos, obtém-se o custo fixo total (eq. 26).

$$CFTA = D + JA + ALO + SEG \quad (26)$$

Em que: $CFTA$ = custo fixo total ano ($R\$ \text{ ano}^{-1}$); D = Custo anual com depreciação ($R\$ \text{ ano}^{-1}$); JA = Custo anual com juros ($R\$ \text{ ano}^{-1}$); ALO = Custo anual com alojamento ($R\$ \text{ ano}^{-1}$); SEG = Custo anual com seguro ($R\$ \text{ ano}^{-1}$).

Os custos fixos são todos estimados para o período de um ano, sendo assim, o custo fixo horário depende das horas em que a maquinaria é utilizada durante o ano (eq. 27).

$$CFTH = \frac{CFTA}{HUA} \quad (27)$$

Em que: $CFTH$ = custo fixo horário ($R\$ \text{ h}^{-1}$); $CFTA$ = custo fixo ao ano; HUA = Horas utilizadas ao ano (h).

O custo com reparo e manutenção da maquinaria agrícola compreende os custos com a manutenção preventiva e corretiva. Como a equação da ASABE (2011a) apresenta o custo acumulado em função da utilização da máquina, optou-se em estimar o custo dos reparos e manutenção proporcional ao tempo de uso por ano e vida útil esperada (eq. 28).

$$CRM = \begin{cases} \left[\frac{RF1 * PC * \left[\frac{HUA * VUA}{1000} \right]^{RF2}}{HUA * VUA} \right] & \text{se } HUA * VUA \leq VUH \\ \left[\frac{RF1 * PC * \left[\frac{HUA * \frac{VUH}{HUA}}{1000} \right]^{RF2}}{HUA * \frac{VUH}{HUA}} \right] & \text{se } HUA * VUA > VUH \end{cases} \quad (28)$$

Em que: CRM = custo reparo em manutenção (R\$ h⁻¹); RF1 e RF2 = fatores de reparo e manutenção ASABE (2011a); PC = preço de tabela da máquina (R\$); HUA = tempo utilizado (h ano⁻¹); VUA = vida útil (ano); VUH = vida útil (h) (ASABE, 2011a).

O custo oriundo do consumo de combustível foi calculado pelo consumo horário durante a operação e o preço de comercialização do combustível (eq. 29).

$$CF = CH * PF \quad (29)$$

Em que: CF = Custo combustível (R\$ h⁻¹); CH = consumo horário (L h⁻¹); PF = preço combustível (R\$ L⁻¹).

Devido a quantidade de impostos e encargos (fundo de garantia, contribuição confederativa, taxa do Instituto Nacional de Seguridade Social, etc.), e a variação de alguns nas unidades federativas, os mesmos não foram inseridos individualmente no modelo. Se for desejado contabilizá-los na predição dos custos, deve-se inserir a soma do salário e impostos desejados no valor do salário (eq. 30).

$$CMO = \frac{SAL}{JM} \quad (30)$$

Em que: CMO = Custo mão de obra (R\$ h⁻¹); SAL = valor do salário mensal (R\$); JM = jornada mensal (h).

O custo variável total é obtido pela equação 31.

$$CVT = CRM + CF + CMO \quad (31)$$

Em que: CVT = custo variável total (R\$ h⁻¹); CRM = custo reparo e manutenção (R\$ h⁻¹); CF = Custo combustível (R\$ h⁻¹); CMO = Custo mão de obra (R\$ h⁻¹);

Segundo Hunt (2001), o custo operacional é a relação entre o custo horário e a capacidade de campo da máquina agrícola, considerando seu desempenho (eq. 32).

$$CO = \frac{CFTH + CVT}{CcO} \quad (32)$$

Em que: CO = custo operacional (R\$ ha⁻¹), CFTH = custo fixo horário (R\$ h⁻¹); CVT = custo variável total (R\$h⁻¹); CcO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹).

3.2.10 Fluxo de Material

Para a determinação do fluxo de material, utilizou-se o método proposto por Romanelli e Milan (2010). Para o cálculo do custo energético com as operações agrícolas, foram contabilizadas as entradas indiretas: depreciação do maquinário e combustível.

O fluxo de energia de entrada é obtido pelo somatório do produto da quantidade de insumo utilizado e seus respectivos índices energéticos (eq. 33).

$$I_e = \sum_1^n QM_n * CE_n \quad (33)$$

Em que: I_e = energia de entrada (MJ); QM_n = quantidade de material por hectare do n-ésimo insumo utilizado no sistema (unidade ha⁻¹); CE_n = conteúdo energético do n-ésimo insumo (MJ unidade⁻¹).

A depreciação energética da maquinaria agrícola é determinada em função da sua respectiva massa, vida útil e capacidade operacional (eq. 34). Associada com a demanda energética de 14,6 MJ kg⁻¹, obtém-se a energia consumida pela depreciação energética (DOERING III, 1980).

$$DM = \frac{M * SDE}{n * HUA * CcO} \quad (34)$$

Em que: DM = energia consumida pela depreciação energética da maquinaria agrícola (MJ ha⁻¹); M = massa (kg); SDE = demanda energética específica da

maquinaria agrícola (MJ kg^{-1}); n = vida útil (anos); HUA= tempo utilizado por ano (h); CcO=capacidade operacional (ha h^{-1}).

Para prever a massa de tratores agrícolas, utilizou-se os resultados encontrados por Francetto et al. (2011), onde foi determinada a relação massa potência de 145 modelos, divididos em classes de potência. As referidas relações são especificadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Relação peso/potência para tratores agrícolas

*Classe	Potência (kW)	**Relação massa/potência (kg kW^{-1})
I	Até 36,9 kW	67,61
II	Entre 37 e 73,9 kW	50,65
III	Entre 74 e 146,9 kW	55,73
IV	Maior ou igual 147 kW	60,36

Fonte: Francetto et al. (2011) *Segundo Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2012); ** Média para tratores com tração dianteira auxiliar, sem lastro.

No caso das semeadoras-adubadoras, para prever a massa das mesmas, optou-se por ajustar uma equação que estime em função do número de fileiras a referida característica ponderal. Para tal, foi elaborado um banco de dados composto por 85 modelos. A partir desses dados, calculou-se a média da massa para cada número de fileiras. Posteriormente realizou-se a análise estatística descritiva, teste de normalidade e homogeneidade. Na sequência, por meio de regressão ajustou-se uma equação para representação dos dados. Para a equação foi realizada análise de variância, calculado o coeficiente determinístico e os parâmetros foram testados pelo teste-t a 5,00% de probabilidade.

Para predição da massa dos pulverizadores, distribuidores de corretivos e fertilizantes e das colhedoras autopropelidas, por meio de informações obtidas em catálogos, foi montado um banco de dados totalizando 18 pulverizadores, cinco distribuidores de corretivos e fertilizantes e 30 colhedoras. Essas informações foram processadas de tal modo, que se obtivesse a relação entre a massa total e a potência de cada máquina por meio de regressão, para os modelos ajustados foi realizada análise de variância, calculado o coeficiente determinístico e verificação dos parâmetros ajustados pelo teste-t a 5,0% de probabilidade.

Em relação às máquinas tracionadas, para prever a massa das mesmas, optou-se em relacionar a massa total com a capacidade volumétrica do reservatório, pois as mesmas podem ser tracionadas por tratores de diferentes potências, inviabilizando uma

relação entre a massa da máquina tracionada e potência requerida. Dessa forma, por meio de catálogos de fabricantes, foram coletadas informações sobre as máquinas em questão e formou-se um banco de dados composto por 10 pulverizadores e 11 distribuidores de corretivos e fertilizantes. As informações foram estratificadas de modo que se obtivesse a relação entre a massa total e a capacidade volumétrica de cada máquina por meio de regressão. Posteriormente para o modelo ajustado, foi realizada análise de variância, calculado o coeficiente determinístico e os parâmetros foram testados pelo teste-t a 5,00% de probabilidade.

O consumo energético de combustível foi determinado em função do consumo horário de combustível da máquina e sua respectiva capacidade operacional (eq. 35). Como usualmente a maquinaria agrícola utiliza o diesel como combustível, utilizou-se a energia incorporada do referido combustível, que é de 45,7 MJ L⁻¹ (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979).

$$EC = \frac{CH * 45,70}{CcO} \quad (35)$$

Em que: EC = custo energético do combustível (MJ ha⁻¹); CH = consumo horário (L h⁻¹); CcO = capacidade operacional (ha h⁻¹).

3.2.11 Algoritmo

Para a implementação do algoritmo e desenvolvimento de uma interface do sistema, foi utilizado uma linguagem de programação orientada ao objeto, de uso livre, denominada Lazarus (versão 1.1.8), (LAZARUS PROJECT, 1999).

O modelo computacional é composto por seis módulos, sendo eles: operação de semeadura-direta (trator com semeadora-adubadora ou semeadora), pulverização (trator com pulverizador de arrasto ou pulverizador autopropelido), distribuidor de fertilizantes autopropelido e colhedora de grãos autopropelida. Para cada módulo foi desenvolvido o seu respectivo algoritmo, que são divididos em duas sequências lógicas, sendo uma para o dimensionamento operacional e outra para custo financeiro e demanda energia. Os algoritmos dos módulos trator com semeadora-adubadora e trator com semeadora são semelhantes, tendo como diferença os parâmetros para predição de força na tomada de potência. Dessa forma, optou-se apresentar um único fluxograma para os referidos

módulos (Figura 12).

Figura 12 – Fluxograma do dimensionamento operacional para os módulos trator com semeadora-adubadora e trator com semeadora.

O algoritmo tem início (1)¹ pela solicitação de informações do sistema de produção, que serão referentes ao processo a ser realizado. São solicitadas informações sobre tamanho da área e tempo disponível (2), velocidade de descolamento (3), número e espaçamento entre fileiras e eficiência operacional (4). Essas informações são utilizadas para a predição do ritmo operacional (10), capacidade operacional (12), que são usadas para o cálculo (13) do número de conjuntos (15). As informações textura e superfície do solo (5), velocidade de deslocamento (3) e número de fileiras (4), são utilizadas para a predição da força e potência na barra de tração (11), que por sua vez, são utilizadas para calcular (14) a potência do motor e da tomada de potência (16). Posteriormente há opção de inserir os dados: rotação de trabalho do motor (7), potência disponível na tomada de potência (8) e consumo de combustível (9). Caso os referidos valores de (7) e (8) não sejam inseridos, o algoritmo identifica (17) e realiza um cálculo (18) para estimá-los. Essas informações, assim como a potência e rotação máxima (6) e potência requerida na

¹Números entre parênteses se referem à Figura 12

TDP (16), são utilizadas para estimar o consumo de combustível (19), que caso não seja informado o consumo de combustível (9), o algoritmo faz a identificação (20) e apresenta o resultado do consumo de combustível (21).

Os módulos trator com pulverizador de arrasto, pulverizador autopropelido, distribuidor de fertilizantes autopropelido e colhedora de grãos autopropelida, possuem lógica de programação e informações de entrada semelhantes, sendo assim optou-se por apresentar apenas um fluxograma do dimensionamento operacional para esses módulos (Figura 13).

Figura 13 – Fluxograma do dimensionamento operacional para os módulos trator com pulverizador de arrasto, pulverizador autopropelido, distribuidor de fertilizantes autopropelido e colhedora de grãos autopropelida.

O algoritmo tem início (1)² pela solicitação do tamanho da área e tempo disponível para executar a operação (2), eficiência operacional (3), velocidade de deslocamento e largura de trabalho (4) e por último, potência da máquina (5). Na informação de entrada (4), o termo largura de trabalho, refere-se à largura da faixa de aplicação dos pulverizadores (arrasto e autopropelido) e distribuidor de fertilizantes, no caso das colhedoras refere-se à largura da plataforma de corte. Na informação (6), válida somente para colhedoras, para realizar a predição do consumo de combustível deve-se selecionar a cultura a ser colhida (soja ou milho). Caso o consumo de combustível de qualquer operação seja conhecido, é possível inseri-lo (7). A informação de entrada (5) refere-se a potência da máquina, que é utilizada para o cálculo do consumo de combustível (9),

²Números entre parênteses se referem à Figura 13

caso o algoritmo identifique (8) que consumo de combustível (7) não foi informado. O algoritmo retorna como resposta, o ritmo operacional (11), capacidade operacional (12) e calcula (13) o número de conjuntos (14).

O terceiro fluxograma representa a sequência lógica da predição do custo operacional, assim como, a da demanda de energia, dos seis módulos que compõe o modelo computacional (Figura 14).

Figura 14 – Fluxograma do custo operacional e demanda de energia para os módulos do programa computacional.

A predição do custo econômico tem início (1)³ pela solicitação das informações referentes ao preço da máquina nova e do possível preço de revenda (2) após o período de utilização da máquina, que é especificado na vida útil (3), esses valores são utilizados para determinar a depreciação (10). As taxas de juro, seguro e alojamento (3) completam as informações de entrada para o cálculo dos demais custos fixos, juros e alojamento e seguro (10). As informações de entrada tempo uso ano, tempo de troca ao ano e horas adicionais (4) são usadas para cálculo dos custos com reparos e manutenção (11). O salário e jornada mensal (5) são usados para estimar o custo com mão-de-obra (11). O preço do combustível (6) e consumo de combustível (7), definem o custo horário

³Números entre parênteses se referem à Figura 14

com combustível (11). As informações consumo de combustível (7), potência e CcO (8), índice energético e massa da máquina (9), são usadas para o cálculo (15), que refere-se ao custo financeiro e demanda energética (16). O custo da terceirizado de uma operação (14), juntamente com custo horário total (13) e CcO (8), são utilizadas para o cálculo (15) da análise financeira (16).

3.2.12 Validação do modelo

A validação foi dividida em três grupos de variáveis preditas: potência na barra de tração, consumo de combustível e custos. Para o primeiro grupo, optou-se em utilizar a potência na barra de tração pelo fato de que a mesma é mensurada indiretamente pela força e velocidade de deslocamento. Dessa forma, foi possível verificar se o modelo interpreta de forma correta duas variáveis de entrada e não apenas uma, caso fosse utilizado apenas a força de tração. Para as semeadoras-adubadoras, informações sobre velocidade, textura do solo e número de fileiras, foram extraídas dos trabalhos de Almeida, Silva e Silva (2010), Bortolotto, Neto e Bortolotto (2006), Furlani, Lopes e Silva (2005), Mercante et al. (2005), Santos, Volpato e Tourino (2008), Silveira et al. (2011). As informações foram inseridas no modelo e os valores estimados foram comparados aos resultados encontrados pelos autores. Para quantificar a representatividade das informações geradas pelo modelo foi utilizado o coeficiente determinístico.

Para as semeadoras (semeadura direta sem adubação na fileira), não foi realizada a comparação entre valores observados e preditos de força de tração, pois não foram encontrados trabalhos científicos sobre as referidas máquinas.

Para a validação da predição de consumo de combustível, na operação de semeadura direta com semeadora-adubadora, os trabalhos de Almeida, Silva e Silva (2010), Bortolotto, Neto e Bortolotto (2006), Furlani et al. (2007), Mahl et al. (2004), Santos, Volpato e Tourino (2008) e Silveira et al. (2011) foram utilizados. Desses foram extraídas as informações número de fileiras, velocidade de deslocamento, potência do motor, rotação do motor (quando disponível), textura do solo e consumo horário de combustível. Essas informações foram inseridas no modelo e os valores estimados foram comparados aos resultados encontrados nos trabalhos supracitados. Para quantificar a representatividade das informações geradas pelo modelo, foi utilizado o coeficiente determinístico.

Para os conjuntos e máquinas autopropelidas que realizam pulverização e

distribuição de adubos, as informações referentes a consumo de combustível, inclusive em normas da ASABE (2011a), são escassas. Dessa forma, não foi realizada validação para as referidas máquinas.

Para as operações de colheita de soja, o consumo de combustível predito, foi comparado aos resultados encontrados por (MAZETTO; LANÇAS, 2009) e (CHIODEROLI et al., 2012). Para as operações de colheita da cultura do milho, utilizou-se para comparação resultados oriundos do trabalho de (SHINNERS et al., 2009).

Para a validação dos custos horários estimados pelo modelo, utilizaram-se valores de FNP (2013), que são referentes ao custo horário de máquinas e apenas o preço de compra de cada máquina é informado. Na predição dos valores de custo horário, para os tratores, colhedoras e pulverizadores autopropelidos, adotou-se vida útil de 10 anos e valor de sucata igual a 35,0% do preço da máquina nova. Para as semeadoras-adubadoras e pulverizadores de arrasto, o valor de sucata foi de 30,00% do valor da máquina nova. O preço do combustível utilizado foi igual 2,10 R\$ L⁻¹, referente a agosto de 2012, que é a data de atualização dos dados fornecidos por (ANP, 2013). A taxa de juro de 5,50% ao ano, foi baseada no Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras (MODERFROTA). Adotou-se uma taxa de seguro de 2,00% ao ano e taxa de alojamento de 0,50% ao ano. Não foi contabilizado custo com mão de obra, pois os mesmos são contabilizados individualmente pelas fontes de dados. As informações referentes aos custos de cada máquina, tempo de utilização anual para efeito do cálculo do custo horário, entre outras, estão disponíveis no Anexo A.

3.3 Fração de número de conjuntos viável para terceirização

A definição da fração de conjuntos para uma operação agrícola, em que é viável optar pela terceirização, ou possuir máquina(s) própria(s), foi obtida pela comparação do custo operacional para diferentes tempos de uso ao ano (200, 400, 600, 800 e 1000 h), com o custo de terceirização informado pela empresa prestadora de serviços. As máquinas agrícolas utilizadas para simulação dos custos estão detalhadas no Apêndice C. Os custos dos serviços inclusos na terceirização foram inseridos na simulação dos custos simulados (Tabela 5)

Tabela 5 – Serviços incluídos na terceirização e os respectivos custos inseridos nas simulações

Operação	Componentes	Custo (R\$ h ⁻¹)
Semeadura	Máquina p/ abastecimento	7,76
	Mão de obra do operador	15,00
	Auxiliar do operador	10,00
	Total	32,76
Pulverização	Máquina p/ abastecimento	7,45
	Mão de obra do operador	15,00
	Auxiliar do operador	10,00
	Total	32,45
Colheita	Mão de obra do operador	15,00
	Auxiliar do operador	10,00
	Total	25,00

na terceirização, o custo com mão de obra já está embutido, com base no custo de mão de obra da propriedade de estudo, adicionou-se um valor de 15,00 R\$ h⁻¹ no custo com mão de obra nas operações analisadas (semeadura-direta, pulverização terrestre e colheita).

3.4 Custo operacional e viabilidade da terceirização na propriedade

O custo operacional da propriedade foi comparado com um custo operacional simulado e com o custo de terceirização das operações agrícolas. A área cultivada e as respectivas operações realizadas estão detalhadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Área e tempo de uso anual no custo operacional

Operação	Área (ha)		Tempo (h ano ⁻¹)		Tempo total (h)
	Soja	Milho	Soja	Milho	
Semeadura	6.900	3.500	252,75	128,26	381,01
Pulverização	41.400	7.000	300,00	50,72	350,72
Colheita	6.900	3.500	222,79	183,92	406,71

No cálculo do custo operacional da propriedade, foram utilizadas informações de consumo de combustível e de reparo e manutenção, oriundas da propriedade avaliada (safra 2012/13). Para as máquinas de mesmo modelo, foram adotados os mesmos valores dos custos com reparo e manutenção, consumo de combustível e depreciação, pois no memorial de custo, não havia especificação exata do rateio dos custos para máquinas de mesmo modelo. As taxas de juros, seguro e alojamento, foram as mesmas utilizadas na validação do custo horário. Para o cálculo da depreciação, adotou-se como valor de

aquisição, o preço de tabela (2013) de uma máquina nova e 35,00% desse valor, como valor de sucata. O custo do combustível adotado foi de 2,10 R\$ L⁻¹, (ANP, 2013). Também foi contabilizado o custo de mão de obra (operador), assumindo um valor de 15,00 R\$ h⁻¹. Posteriormente, com o intuito de verificar o patamar dos custos da propriedade, em relação aos custos estimados para o ano corrente da safra, comparou-se os resultados obtidos com os custos disponibilizados por (FNP, 2013), (IMEA, 2012a), (RICHETTI, 2012), (FAEG, 2013), (AGROBANCO, 2013) e (AGROBYTE, 2014). Informações detalhadas estão descritas no Apêndice B.

No cálculo do custo simulado, utilizou-se o mesmo número de máquinas da propriedade, sendo sete conjuntos para operação de semeadura, cinco pulverizadores autopropelidos para pulverização e onze colhedoras para operação de colheita. Os tratores, semeadoras-adubadoras, pulverizadores e colhedoras utilizados na simulação são identificados pela legenda “B”, “C”, “B” e “A”, respectivamente (ANEXO A). Selecionou-se essas máquinas por possuírem características similares às máquinas da propriedade.

Na verificação da viabilidade da terceirização das operações, no custo operacional simulado e no custo das operações na propriedade, foram inclusos os gastos com os processos de apoio inerentes à cada operação, afim de que houvesse uma equiparação das atividades realizadas pelo terceirizador (Tabela 7).

Tabela 7 – Custo das operações na propriedade e valores cobrados pela empresa prestadora de serviços

Operação	Componentes	CcO (ha h ⁻¹)	--Custo (R\$ ha ⁻¹)--	
			Propriedade	Terceirização
Semeadura	Conjunto mecanizado	3,90	58,55	
	Máquina p/ abastecimento		1,99	
	Mão de obra do operador		3,85	
	Auxiliar do operador		2,56	
	Total		66,96	77,43
Pulverização	Conjunto mecanizado	27,60	16,96	
	Máquina p/ abastecimento		0,27	
	Mão de obra do operador		0,54	
	Auxiliar do operador		0,36	
	Total		18,13	15,56
Colheita	Colhedora	2,71	77,76	
	Mão de obra do operador		5,54	
	Auxiliar do operador		3,69	
	Total		86,99	165,80

Em relação a formação do custo das operações descritas na Tabela 7,

destaca-se que na operação de semeadura direta os custos com tratamento de sementes não foram contabilizados, pois nas condições estabelecidas a empresa contratada para terceirização não realiza o tratamento de sementes. Quanto ao custo com preparo da calda para operação de pulverização, o mesmo não foi contabilizado, pois o prestador de serviço deve receber a calda pronta para aplicação. Na operação de colheita, além do custo com a máquina e operador, foi contabilizado o custo de um auxiliar para descarregamento do produto colhido. Para obter-se um único custo para colheita de soja e milho safrinha, como as máquinas apresentam CcO de 5,54 (soja) e 2,72 (milho) ha h^{-1} , optou-se em utilizar uma CcO proporcional ao tempo de uso em cada cultura (Tabela 6), resultando em uma CcO de 2,71 ha h^{-1} . O custo de terceirização da colheita também foi calculado proporcionalmente a área colhida de cada cultura.

A partir da simulação, para os custos na propriedade e da terceirização foi calculado o índice financeiro. Posteriormente, para verificar a viabilidade da terceirização na propriedade, foi comparado o custo operacional das operações na propriedade, com os valores cobrados pela empresa prestadora de serviços

3.5 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade tem como objetivo verificar a influência de cada variável na demanda econômica financeira e energética do sistema (MARSHALL, 2009). Sendo assim, no sentido de verificar as variáveis que tem maior influência na redução dos custos, foi estabelecida a alteração de +10,00% nas variáveis: tempo de uso da máquina ao ano (vida útil de 10 anos) e eficiência operacional. Nas variáveis valor de compra e consumo de combustível, aplicou-se -10,00%, pois a intenção é verificar o impacto na redução do custo e não no acréscimo. Como cenário básico das operações de semeadura direta, pulverização e colheita, estimou-se o custo das máquinas descritas no Apêndice D.

3.6 Simulação de cenários

Com o objetivo de verificar a influência do porte da maquinaria, no custo das operações de semeadura direta, pulverização e colheita, cenários compostos por sete estratos de área (500, 1000 e 2000, 4000, 6000, 8000 e 10000 ha) e três categorias de máquinas (Apêndice E) foram simulados. Para cada tamanho de área, calculou-se o custo operacional e demanda de energia das combinações, tendo como restrição, o ritmo

operacional exigido nas operações (Tabela 8).

Tabela 8 – Operações e ritmo operacional utilizados na simulação dos cenários

Operação	Tempo (h)	Área (ha)						
		500	1000	2000	4000	6000	8000	10000
Semeadura	252	2,00	4,00	7,90	15,90	23,80	31,70	39,70
Pulverização (6 x)	182	16,50	33,00	65,90	131,90	197,80	263,70	329,70
Colheita	300	1,70	3,30	6,70	13,30	20,00	26,70	33,30

Para definição dos conjuntos que compõe cada combinação, foi desenvolvido um algoritmo utilizando o programa computacional (R Core Team, 2012), Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma para geração de combinações e seus respectivos custos operacionais e demanda energética.

Como informações de entrada (1)⁴, o algoritmo solicita o ritmo operacional (2), a menor CcO entre as três máquinas disponíveis (3) e dados financeiros e energéticos das máquinas (Apêndice E). Com as informações (2) e (3) calcula-se o número máximo de máquinas que pode conter em uma combinação (5). Posteriormente, as combinações possíveis são definidas e armazenadas internamente (6), com as respectivas informações (4) de cada máquina que compõe a combinação. A seguir, baseando-se na condição requerida (7), são excluídas as combinações não desejadas (8), armazenando somente as que

⁴Número entre parênteses se referem a Figura 15

satisfazem (9). Na sequência, calcula-se o tempo (10) demandado por cada combinação para concluir a operação agrícola. Dessa forma, os custos fixos horários e os custos com reparo e manutenção, para um mesmo conjunto mecanizado, podem variar de acordo com a combinação em que o mesmo se encontra. Com o tempo de cada combinação e as características da maquinaria agrícola, calcula-se o custo financeiro e energético de cada conjunto, em sua respectiva combinação, que por consequência, proporciona os custos das combinações (11). Os valores de aquisição das máquinas são referentes ao mês de agosto de 2012, obtidos em (FNP, 2013). A vida útil das máquinas foi igual a 10 anos, com valor de sucata de 30,00% e 35,00% do valor de aquisição, para as máquinas tracionadas e autopropelida, respectivamente. O preço do combustível para o referido período foi de 2,10 R\$ L⁻¹ (ANP, 2013). As taxas de juros, seguro e alojamento foram de 5,50; 2,00 e 0,50% ao ano, respectivamente. Para cálculo do custo energético, contabilizou-se somente a demanda de combustível.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse item foi dividido em quatro partes, onde inicialmente foi apresentado as equações para o cálculo da demanda de força e potência para semeadoras-adubadoras, demanda de potência para semeadoras e as respectivas validações. Na sequência foi apresentado o desempenho dos métodos estudados para predição de consumo de combustível e a validação dos métodos utilizados para as operações de semeadura direta e colheita. Assim como, a validação da predição dos custos operacionais das operações de semeadura, pulverização e colheita. A terceira parte abrange as equações para determinação da demanda de energia nas operações agrícolas. A quarta parte compreende o planejamento de operações agrícolas, englobando os custos operacionais da propriedade estudada e uma análise de sensibilidade sobre fatores de formação dos custos financeiros. Complementando o planejamento de operações agrícolas, foi apresentada a demanda de energia das operações. Por fim, foi demonstrada uma simulação de cenários formados por áreas variando dentre 500 e 10000 ha e combinações formadas por três categorias de máquinas, sendo as mesmas de pequeno, intermediário e grande porte, visando mostrar a influência do porte das máquinas no custo financeiro e demanda energia das combinações para diferentes tamanhos de áreas.

4.1 Demanda de força e potência para semeadora-adubadora

No caso das semeadoras-adubadoras para semeadura direta, de acordo com os dados obtidos obtido em referência bibliográficas (Tabela 3), para cada fileira é exigida uma força média 2,70 kN, com coeficiente de variação igual a 33,60% e mediana igual a 2,47 kN. Os ensaios demonstraram que essa força varia em um gradiente entre 1,00 e 5,00 kN, com maior ocorrência de dados entre 2,00 e 2,50 kN (Figura 16).

Figura 16 – Histograma da frequência absoluta da força requerida por fileira para operação de semeadura utilizando semeadora-adubadora

Diversos fatores podem interferir na força exigida na barra de tração, uma vez que são influenciados pela textura, estrutura e umidade do solo, geometria dos elementos ativos da máquina, entre outros. Devido a isso, os parâmetros utilizados pelo método ASABE (2011a) podem sofrer uma variação de até $\pm 25,00\%$.

Para a máquina em questão, o método ASABE (2011a) solicita apenas a inserção de parâmetros do solo F_i (referente à textura do solo) e de parâmetros da máquina, uma vez que o método assume o valor da profundidade igual a 1 (um), tornando o mesmo neutro na equação. O parâmetro “A” tem valor sugerido de 3400 (adimensional).

Como a maior frequência absoluta da força demandada por fileira encontra-se no intervalo entre 2,00 e 2,50 kN (Figura 16) e o valor do parâmetro A sugerido pelo método ASABE (2011a) é 3400, para que o referido parâmetro estime valores dentro desse intervalo (2,00 e 2,50 kN), subtraiu-se um fator de ajuste de 27,35%, resultando em um parâmetro A igual a 2470 (eq. 36). Utilizou-se o fator de 27,35% por igualar o parâmetro A com a mediana e garantir que os valores preditos pertençam ao intervalo de maior frequência.

$$FR_{BT} = F_i = [2470] * Nl \quad (36)$$

Em que: FR_{BT} = força (N) requerida na barra de tração; F_i = fator adimensional para ajuste do parâmetro textura do solo sendo 1,00 para textura argilosa, 0,96 para textura siltosa e 0,92 para textura arenosa; Nl = número de fileiras.

4.2 Demanda de força e potência para semeadora

Os dados levantados resultaram na formação de um banco de dados composto por 23 modelos de semeadoras. O número de fileiras encontrados variaram entre 8 e 48, sendo que o espaçamento foi constante (0,45 m). A estatística descritiva das variáveis que compõem o banco de dados é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Estatística descritiva das variáveis quantificadas no banco de dados das semeadoras para semeadura direta

Medidas	Número de fileiras	Espaçam. entre fileira (m)	Massa (Mg)	Potência (kW)	Potência (kW fileira ⁻¹)
Máximo	48	0,45	20,50	335,00	7,00
Mediana	29	0,45	15,70	232,00	5,80
Mínimo	8	0,45	8,50	75,00	5,10
Média	26,6	0,45	15,42	158,50	5,90
CV (%)			25,26	28,30	9,70

Os resultados indicam que independente do porte da semeadora, as mesmas exigem uma potência similar para o acionamento de cada fileira, em relação a média. Ainda indicam, que a maioria dos modelos avaliados possuem um número de fileiras superior a 20, demonstrando que usualmente sua utilização é em áreas com relevo plano e que disponham de tratores com potência acima de 120,00 kW. É importante ressaltar, que não se pretende classificar essa máquina, ou o sistema de cultivo (adubação a lanço), para um grupo específico de propriedades agrícolas, mas sim, apresentar o reflexo dos produtos disponíveis no mercado. A potência requerida na TDP foi obtida pela média da potência requerida no motor (5,98 kW fileira⁻¹) e a relação da potência do motor e da TDP, conforme especificado por ASABE (2011a), que é de 0,9 (eq. 37).

$$PR_{TDP} = 5,38Nl \quad (37)$$

Em que: PR_{TDP} = potência requerida na TDP (kW); 5,38 = potência requerida por fileira no motor (kW fileira⁻¹); Nl = número de fileiras.

A desvantagem de usar a relação de potência do motor por fileira de semeadura, é a restrição no modelo de variar a potência em função da velocidade, fazendo com que a predição do consumo de combustível para essa máquina, independa da velocidade de trabalho.

4.2.1 Validação

Para a máquina semeadora-adubadora, nas seis situações em que o modelo foi testado, o coeficiente determinístico indica que o modelo representa pelo menos em 94,00% o comportamento da potência observada nos trabalhos utilizado como cenários,

exceto na situação A com, com 91,00% (Figura 17).

Figura 17 – Valores preditos e observados da potência na barra de tração na operação de semeadura e adubação. A = Almeida, Silva e Silva (2010) B = Bortolotto, Neto e Bortolotto (2006), C = Furlani et al. (2007), D = Mercante et al. (2005), E = Santos, Volpato e Tourino (2008), F = Silveira et al. (2011)

Com exceção do trabalho de Santos, Volpato e Tourino (2008), (Figura 17), os coeficientes angulares de cada equação foram próximos a 1, e coeficientes lineares próximos a zero, demonstrando que os valores observados e preditos são semelhantes. Nota-se que para o referido trabalho, o modelo subestimou os valores de potência, pois apesar do coeficiente angular ser próximo a 1,0 o coeficiente linear demonstra que para cada unidade da potência observada, há necessidade da adição de aproximadamente 10,0 unidades na potência predita. Isso ocorre devido ao fato de que, o valor médio da força de tração por fileira no trabalho de Santos, Volpato e Tourino (2008) é superior aos dos demais trabalhos e está acima da amplitude de maior ocorrência de força média por fileira dos dados analisados 16. Os autores avaliaram três semeadoras com diferentes sistemas de abertura de sulco e a força de tração média por fileira foi de 3,90 kN, contudo não foram indicadas as condições do solo referentes a umidade, densidade ou resistência a penetração, o que poderia justificar ou auxiliar na compreensão desse valor. Os valores encontrados por Almeida, Silva e Silva (2010), Bortolotto, Neto e Bortolotto (2006), Furlani et al. (2007), Mercante et al. (2005) e Silveira et al. (2011) foram 2,30; 2,40; 2,80; 2,20; e 2,50 kN por fileira, respectivamente. Esses, se encontram na amplitude de 2,0 e 3,0 kN por fileira, lembrando que a equação para predição da força na barra de tração, foi ajustada para prever valores entre 2,00 e 2,50 kN.

Os trabalhos citados representam as diversas situações que ocorrem na operação de semeadura, uma vez que os valores preditos pelo modelo representam os fenômenos ocorridos no campo de forma satisfatória, assume-se que o mesmo está apto para ser utilizado na predição da força exigida na barra de tração, na operação de semeadura com adubação na fileira.

4.3 Predição do consumo de combustível

Os tratamentos testados por Silveira (2008) indicaram um consumo médio de combustível igual a 11,06 L h⁻¹, com diferença significativa ($p \leq 0,05$) quando é alterada a rotação de trabalho do motor. O referido autor também constatou aumento do consumo horário de combustível, quando há incremento da rotação do motor para uma mesma velocidade de operação (Figura 18).

Figura 18 – Consumo horário de combustível em função da potência na barra de tração em diferentes velocidades de deslocamento e rotação do motor, com as repetições dos tratamentos realizados por Silveira (2008) e valores preditos.

Para a maioria dos tratamentos testados, os valores de consumo de com-

bustível preditos pelos métodos ASAE (2003), Milan (1992) e ASABE (2011b) foram superiores aos valores observados, indicando que os referidos métodos tendem a superestimar a predição (Figura 18). Para o fator de consumo ASABE (2011b), tal situação é reduzida a partir dos tratamentos que solicitam potência na barra de tração superior a aproximadamente 22 kW. O método ASABE (2011a) apresentou em todos os tratamentos, valores estimados inferiores ou próximos aos valores observados por Silveira (2008), indicando que o método tende a subestimar os valores preditos. A Figura 18 indica que o método ASABE (2011a) é o que proporciona de modo mais similar o comportamento dos valores estimados em relação aos observados. A confirmação das melhores predições do método ASABE (2011a) é observada no somatório do quadrado da diferença, que para os métodos Milan (1992), ASABE (2011b), ASAE (2003) e ASABE (2011a) foram 346,65, 998,38, 889,36, e 89,96 $L^2 h^{-2}$, respectivamente.

A soma do quadrado da diferença demonstra que o método ASABE (2011a) proporciona resultados mais próximos dos observados, seguido pelo método Milan (1992), ASAE (2003) e ASABE (2011b). Contudo, não é possível identificar em qual situação cada método proporciona melhores respostas. Dessa forma, comparou-se os valores observados e estimados por cada método, isolando para cada velocidade de deslocamento o comportamento do consumo de combustível em função da rotação no motor (Figura 19).

Figura 19 – Comportamento entre variável predita e estimada pelos métodos para velocidades de operação ajustadas.

Os valores preditos pelo método ASAE (2003) foram os que apresentaram maior diferença em relação aos valores observados. Esse método foi desenvolvido para tratores e colhedoras que trabalham com carga superior a 20,00%, da capacidade total,

tendo como variáveis de entrada a potência requerida e a disponível na tomada de potência do trator ASAE (2003). Ainda é informado que os resultados são superestimados em 15,00% em relação aos testes de performance realizados no Laboratório de Testes de Tratores de Nebraska. Ao fazer essa correção nos resultados, a somatória do quadrado da diferença para o referido método foi de $255,75 \text{ L}^2 \text{ h}^{-2}$, passando a ter segundo esse critério de avaliação a segunda melhor performance. Essa correção foi facilmente identificada, quando se fez uma nova comparação com os valores observados (Figura 20).

Figura 20 – Comportamento entre variável predita e estimada pelos métodos para velocidades de operação ajustadas, para método ASAE (2003) reduzido em 15,0%

No método ASAE (2003) com e sem correção, assim como, no método Milan (1992), percebe-se que o coeficientes angulares da reta possuem comportamento similar, tendo como maior diferença o intercepto no eixo das ordenadas (Figura 19 e Figura 20). Justifica-se a semelhança do ângulo de inclinação da reta do método Milan (1992), com o ASAE (2003), pelo fato de que ambos além de usar as mesmas variáveis de entrada, usam a mesma relação entre as mesmas. Tendo como diferença os coeficientes ajustados que compõem cada método. Salienta-se que os dados utilizados por ASAE (2003) são oriundos do Laboratório de Testes de Tratores de Nebraska e os dados de (MILAN, 1992) são provenientes do CENEA (Centro Nacional de Engenharia Agrícola) extinto em 1989.

O comportamento dos dados (Figura 20) indica que o método ASABE (2011a) estima de maneira mais próxima os valores observados. O referido método utiliza as mesmas variáveis dos métodos Milan (1992) e ASAE (2003), contudo efetua uma relação entre a rotação máxima do motor da máquina e sua rotação de operação. Haja vista que o método em questão compreende a rotação de trabalho do motor da máquina,

sua sensibilidade ao identificar o consumo de combustível, tende a ser melhor em operações de baixa rotação, quando comparado aos demais métodos. Os coeficientes determinísticos calculados sustentaram os indicativos da análise gráfica (Tabela 8).

Tabela 10 – Regressão linear entre valores observados e estimados pelos modelos para as velocidades de operação testadas.

Velocidade (km h ⁻¹)	Método	Coeficiente angular	Coeficiente linear	R ²
3,50	Milan (1992)	0,04	*10,21	0,04
	ASABE (2011b)	0,00	*15,01	NA
	ASAE (2003)	0,03	*8,97	0,04
	ASABE (2011a)	*0,54	*3,10	0,98
4,00	Milan (1992)	*-0,53	*16,69	0,57
	ASABE (2011b)	0,00	*15,01	NA
	ASAE (2003)	*-0,62	*19,81	0,55
	ASABE (2011a)	*0,44	*4,58	0,82
5,50	Milan (1992)	0,05	*13,45	0,03
	ASABE (2011b)	0,00	*15,01	NA
	ASAE (2003)	0,03	*15,74	0,03
	ASABE (2011a)	*0,56	*3,78	0,92
7,00	Milan (1992)	*0,19	*13,27	0,86
	ASABE (2011b)	0,00	*15,01	NA
	ASAE (2003)	*0,14	*15,66	0,87
	ASABE (2011a)	*0,66	*2,87	0,87

*significativo ao teste t de Student a 5,0%. NA = não estimado.

Ao observar os resultados dos ajustes dos métodos Milan (1992) e ASAE (2003), apenas nas velocidades 4,0 e 7,0 km h⁻¹ percebe-se que os mesmos apresentam representatividade (coeficiente determinístico) superior a 0,50. Isso se justifica devido à dependência da relação entre potência requerida e máxima disponível na tomada de potência (RRA), em ambos os métodos. Nas velocidades 3,50 e 5,50 km h⁻¹, entre a rotação 1500 e 1900 rpm, a RRA é decrescente e de 1900 até 2100 rpm é crescente (Figura 21a). Como o consumo de combustível aumenta com o acréscimo da rotação (Figura 21b), os métodos em questão, tendem a estimar valores não satisfatórios, pois geram resultados com o mesmo comportamento da RRA (Figura 21d e 21e).

Figura 21 – a) Relação da potência requerida e disponível na TDP em função da rotação nas velocidades de operação. b) Consumo de combustível observado em função da rotação nas velocidades de operação. c) Consumo de combustível predito pelo fator Molin e Milan (2002) em função da rotação nas velocidades de operação. d) Consumo de combustível predito pelo método Milan (1992) em função da rotação nas velocidades de operação. e) Consumo de combustível predito pelo método ASAE (2003) em função da rotação nas velocidades de operação. f) Consumo de combustível predito pelo método ASAE (2011a) em função da rotação nas velocidades de operação.

O método ASABE (2011a), foi o único que apresentou valores satisfatórios de coeficiente determinístico em todas as condições avaliadas (Tabela 7). Uma justificativa desse fato é que além de utilizar a RRA para a predição do consumo de combustível, o referido método também considera a rotação do motor da máquina. Dessa forma, apesar da descontinuidade da RRA em determinadas situações, como nas velocidades 3,50; 4,00; e 5,50 km h^{-1} (Figura 21a), o referido método suaviza esse efeito na predição dos valores (Figura 21f), estimando comportamento mais similar ao dos valores mensurados (Figura 21f), em relação aos demais métodos.

De acordo com as situações avaliadas, o método mais indicado para predição de combustível é o (ASABE, 2011a), (eq. 16). Contudo, para situações que a RRA é superior a 0,50 os métodos Milan (1992) e ASAE (2003) também são indicados.

4.3.1 Validação do consumo de combustível

Na predição de consumo de combustível utilizando o método ASABE (2011a), nas operações em que se utilizou o conjunto mecanizado trator e semeadora-adubadora, com exceção do trabalho de Almeida, Silva e Silva (2010), os coeficientes determinísticos foram superiores a 0,9, demonstrando que as equações ajustadas representam satisfatoriamente, o comportamento valores preditos em função dos observados (Figura 22).

Figura 22 – Valores preditos e mensurados do consumo horário de combustível na operação de semeadura e adubação. A = Almeida; Silva; Silva (2010), B = Bortolotto; Pinheiro Neto; Bortolotto (2006), C = Furlani et al. (2007), D = Mahl; Gamero; Benez (2005), E = Santos; Volpato; Tourino (2008), F = Silveira et al., (2011)

O coeficiente determinístico encontrado nas comparações com os valores em Almeida, Silva e Silva (2010) demonstra que a equação ajustada representa 54,00% as alterações dos valores preditos, em função dos observados, indicando que o modelo de predição para as condições realizadas por Almeida, Silva e Silva (2010) apresentou sensibilidade inferior no cálculo de consumo de combustível, em relações aos demais trabalhos comparados. Isso ocorreu devido aos tratamentos realizados por Almeida, Silva e Silva (2010), resultarem em velocidades de deslocamento semelhantes para rotações distintas, 1500 (5^a), 1900 (5^a), 2200 (4^a) e 1500 rpm (6^a marcha), com velocidades de 4,80;

6,10; 4,60; e 6,00 km h⁻¹, respectivamente. Apesar do modelo de predição de solicitar a rotação de trabalho do motor, em determinadas condições a exatidão pode ser comprometida, tomando como exemplo o tratamento (1500 rpm; 6ª marcha), que teve como consumo observado 8,50 e estimado de 10,61 L h⁻¹. Ainda, analisando os resultados em Almeida, Silva e Silva (2010), o coeficiente angular e linear foram próximos de 1,00 e 2,00, respectivamente, demonstrando que para os valores analisados, o modelo tendeu a superestimar os valores na predição em 2,00 L h⁻¹ aproximadamente.

Em relação ao coeficiente determinístico das demais situações (Figura 22), os valores foram superiores a 0,9 para todas as situações avaliadas, contudo os valores estimados de consumo horário de combustível foram superestimados (Figura 22). As diferenças entre os valores preditos e mensurados para os valores extraídos dos trabalhos Almeida, Silva e Silva (2010), Bortolotto, Neto e Bortolotto (2006), Furlani et al. (2007), Mahl, Gamero e Benez (2007), Santos, Volpato e Tourino (2008) e Silveira et al. (2011) foram quantificados e divididos em classes (Figura 23).

Figura 23 – Histograma para diferença entre consumo predito e estimado

A variação da diferença entre os valores preditos e mensurados ocorre entre -5,00 e 35,00%, com maior classe de ocorrência entre 20,00 e 25,00%. A distribuição dos dados indica que há maior probabilidade dos valores serem superestimados do que subestimados. Caso o modelo seja usado para auxiliar na compra de óleo diesel, deve-se atentar que há tendência de ocorrer sobra de combustível ao final do período planejado para o uso. O mesmo ocorre na predição dos custos com combustível para essa operação, pois o custo horário com diesel também tende a ser superestimado.

ASAE (2003) há uma observação que as predições realizadas são 15,0% superiores aos resultados dos ensaios realizados, esse incremento de consumo segundo a

norma, justifica-se para compensar as perdas de eficiência devido às condições de campo. ASABE (2011a) não cita sobre a referida compensação, caso houvesse, as diferenças entre valores preditos e mensurados seriam inferiores. Outra suposição para os valores superestimados, seria que a rotação do motor usada para predição, seja superior à que realmente foi utilizada na realização dos experimentos em cada tratamento. Com exceção do trabalho de Silveira et al. (2013) e Almeida, Silva e Silva (2010), os demais autores apresentam a rotação do motor que é visualizada no painel do trator e não descrevem métodos de mensuração dessa variável, que tem influência direta no modelo (ASABE, 2011a). Além disso, variáveis que não são consideradas pelo modelo, também influenciam no consumo de combustível, Lopes et al. (2003) constatou diferenças de até 41,00% avaliando tratores alterando a lastragem e o estado de conservação dos pneus. Resultados demonstrados por Spagnolo et al. (2012) demonstram até 27,00% de diferença no consumo específico de combustível, quando altera-se a pressão dos pneus e a lastragem do trator. Alternando a velocidade de deslocamento e a superfície de cobertura, Gabriel Filho et al. (2010) encontraram diferenças de até 41,00% no consumo específico de combustível do trator. As diferenças entre os valores preditos e mensurados, não apresentam variações constantes, mesmo com informações obtidas na mesma pesquisa (Figura 24).

Figura 24 – Diferenças entre os valores preditos e mensurados (SILVEIRA, 2008) do consumo horário de combustível na operação de semedura e adubação. A = Almeida; Silva; Silva (2010), B = Bortolotto; Pinheiro Neto; Bortolotto (2006), C = Furlani et al. (2007), D = Mahl; Gamero; Benez (2005), E = Santos; Volpato; Tourino (2008), F = Silveira et al., (2011).

Para o trabalho de Almeida, Silva e Silva (2010), 50,00% dos resultados apresentam diferença entre 2,50 e 18,00% aproximadamente. No trabalho de Santos, Volpato e Tourino (2008), o intervalo de metade dos resultados fica entre 8,00 e 11,00%. As demais pesquisas apresentam intervalos diferentes, dessa forma não há como especificar um padrão para o comportamento desses intervalos.

Com os resultados apresentados no histograma (Figura 23) e das diferenças entre valores (Figura 24), é possível concluir que a utilização do modelo para predição de consumo de combustível em operações de semeadura direta é viável, com valores variando entre -5,00 e 30,00%, com maior tendência entre 5,00 e 25,00%.

Para as colhedoras, as predições de consumo de combustível dependem taxa de alimentação do material colhido. Essa por sua vez, tem um valor máximo para cada modelo de máquina, que é resultante do tipo material colhido e das características da colhedora (potência, sistema de trilha, plataforma, velocidade de operação, etc.). Dessa forma, uma mesma colhedora realizando a operação em culturas distintas, para uma mesma taxa de alimentação, pode apresentar valores diferentes de consumo Figura 25.

Figura 25 – Consumo de combustível predito em função da taxa de alimentação de uma colhedora com potência nominal de 278,0 kW na cultura da Soja(a) e Milho (b)

A comparação dos valores de consumo de combustível preditos e observados, para colheita da soja é expressa na Figura 26.

Figura 26 – Valores mensurados e preditos do consumo horário de combustível na operação de colheita da soja. A = B = C = Mazetto e Lanças (2009) , D = Chioderoli et al. (2012)

No trabalho de Mazetto e Lanças (2009), a produtividade média foi de 4,40 $Mg ha^{-1}$ e as velocidades de operação foram em “A”, “B” e “C” foram 1,60; 1,30 e

1,40 m s⁻¹, respectivamente. O fluxo de material estimado pelo modelo para as referidas situações foram: 12,10 10⁻³, 9,52 10⁻³ e 9,30 10⁻³ Mg s⁻¹. No trabalho de Chioderoli et al. (2012), a velocidade de operação foi de e 1,9 m s⁻¹ com produtividade média de 3,40 Mg ha⁻¹, o fluxo de material gerado pelo modelo foi de 13,90 10⁻³ Mg s⁻¹. A partir dos referidos valores de fluxo de material, foram estimados os consumos horários de combustível para as situações “A”, “B”, “C” e “D”, que apresentaram diferenças de 15,60; 31,20; -6,50 e -13,70%, respectivamente, em relação aos valores mensurados. Essas diferenças podem ser oriundas de fatores como a umidade da planta no momento da colheita, regulagens do sistema de trilha e separação da colhedora, entre outras, que não são consideradas pelo modelo. Dessa forma, pelos resultados apresentados, a utilização do modelo para predição do consumo horário de combustível é aceitável.

Na validação dos valores preditos do consumo de combustível de colhedoras, para a cultura do milho, três situações foram comparadas, (Figura 27).

Figura 27 – Consumo horário de combustível na operação de colheita do milho, mensurados por Shinnars et al. (2009). A = 4,5 km h⁻¹, B = 5,8 km h⁻¹, C = 7,2 km h⁻¹

Os valores mensurados por Shinnars et al. (2009) são oriundos de parcelas experimentais com dimensões de 250,00 por 4,60 m (seis fileiras), com produtividade de aproximadamente 13,00 Mg. Nas velocidades “A”, “B” e “C”, o referido autor obteve os fluxos de materiais (grão e palha) 10,80 10⁻³; 14,20 10⁻³ e 17,40 10⁻³ Mg s⁻¹, que por sua vez resultaram em consumo de 42,10; 43,10 e 49,30 L h⁻¹. Os valores estimados de fluxo de material foram aproximadamente 10,00% inferiores aos mensurados em campo e a diferença entre o consumo predito e estimado para as velocidades A, B e C foram respectivamente: 10,20; 6,20 e 12,70%. Nas três situações comparadas, o modelo apresentou sensibilidade para detectar a alteração de velocidade e consequentemente, de fluxo de material, com relativa exatidão em relação aos valores medidos.

Devido à ausência de mais trabalhos que mensurem o consumo de combustível nas operações de colheita, comparou-se apenas um trabalho e com alteração somente da velocidade de deslocamento. Haja vista tal circunstância, aceitou-se a utilização do modelo para predição de consumo de combustível na operação de colheita de milho, e ainda, destaca-se a necessidade da realização de trabalhos sobre a eficiência energética de colhedoras.

4.4 Validação da predição do custo nas operações agrícolas

Na comparação dos custos preditos pelo modelo e observados (FNP, 2013) (Anexo A), em diferentes horas de uso ao ano, para as máquinas trator, semeadora-adubadora, pulverizador de arrasto, pulverizador autopropelido, distribuidor de fertilizante autopropelido e colhedora, constatou-se a redução do custo horário à medida que se aumenta as horas de uso ao ano. O que promove a redução do custo horário, com o aumento do tempo de uso ao ano, é a diluição dos custos fixos. Quanto maior for o tempo de uso para um mesmo valor de custos fixos, menor tende a ser o custo horário.

Na predição do custo horário dos tratores (Figura 28), no tempo de 200 h, a diferença média entre os valores observados e preditos, para os três conjuntos foi de 31,50%. Para os tempos de 400, 600, 800 e 1000 h, as diferenças foram de 24,40; 20,40; 22,10 e 24,70%. Nota-se que entre os tempos 200, 400 e 600 h, ocorre aproximação entre os valores preditos e observados. Para os valores de 800 e 1000 h, a diferença entre os valores tende a aumentar.

Figura 28 – Custo predito e observado de tratores (Anexo A).

Na predição dos custos horários da semeadora-adubadora (Figura 29), ao

contrário do ocorrido na predição dos custos horários dos tratores, o valor observado para as semeadoras-adubadoras no tempo de 100 h, é superior ao predito. As médias das diferenças entre os valores observados e preditos, para o tempo de 100, 200, 300, 500 e 1000 h por ano, são 32,00; 12,80; 3,80; 8,60 e 55,30%, respectivamente. As diferenças tendem a diminuir até o tempo de 300 h e a partir de 500 h, ocorre uma tendência de aumento.

Figura 29 – Custo predito e observado de semeadoras-adubadoras (Anexo A).

Em relação ao custo horário dos pulverizadores de arrasto (Figura 30), o comportamento dos valores preditos, foi semelhante ao das semeadoras-adubadoras. Os valores observados são superiores aos preditos, para o tempo de utilização 100 e 200 h. A partir de 300 h, os valores preditos tendem a serem maiores que os observados. As médias das diferenças para o tempo de 100, 200, 300, 500 e 1000 h por ano, são 16,60; 3,40; 7,10; 18,60 e 38,80%.

Figura 30 – Custo predito e observado de Pulverizadores de arrasto (Anexo A).

Na predição dos valores do custo horário, para os pulverizadores autopropelidos, as médias das diferenças foram de 6,50; 12,90 e 5,00%, para os tempos de 500, 1000 e 1500 h de uso ao ano, respectivamente. Assim como, nas demais máquinas, o custo horário diminuiu com o aumento do uso anual, contudo, os valores preditos foram superiores aos observados, em todas as situações comparadas (Figura 32).

Figura 31 – Custo predito e observado de Pulverizadores autopropelidos (Anexo A).

No caso das colhedoras autopropelidas, os valores observados do custo horário, para todos os tempos de uso avaliados, foram superiores aos preditos. Contudo, percebe-se que com o aumento do tempo de uso, a diferença entre o valor observado e predito, tende a diminuir. Justifica-se essa aproximação, com o aumento do custo de reparo e manutenção, que compõe o valor predito. As médias das diferenças para os tempos de 200, 400, 600, 800 e 1000 h, são respectivamente, 30,10; 25,30; 21,60; 17,70 e 11,80%, (Figura 32)

Figura 32 – Custo predito e observado de Colhedoras (Anexo A).

Entre os fatores que influenciam no comportamento dos resultados, tem-se a vida útil, o valor de sucata do equipamento, o método de depreciação e/ou ainda, diferentes métodos de cálculo do custo de reparo e manutenção, além das possíveis diferenças das demais taxas (juros, alojamento). Para as máquinas autopropelidas, o método de predição de consumo de combustível, também afeta o comportamento dos resultados.

Segundo Cosentino (2004), a complexidade em definir apenas o tempo de vida útil da máquina, e ainda, o desconhecimento dos demais valores usados por FNP (2013), conclui-se que a utilização do modelo para geração dos custos horários é válida, uma vez que prediz valores consistentes e com diferenças aceitáveis.

4.5 Demanda de energia

A demanda de energia nas operações agrícolas é compreendida pela depreciação do maquinário, consumo de combustível e mão de obra. Segundo Boustead e Hancock (1979) e Mourad e Arnaldo (2011), a participação do trabalho humano nos sistemas de produção não necessita ser contabilizada para fins de análise energética, pois seu valor não é representativo. Em relação a demanda energética do combustível, sua quantificação é em função do consumo horário, dessa forma utiliza-se um fator de conversão para obtenção do mesmo. Por fim, no cálculo da depreciação energética do maquinário, entre outras características da máquina, como vida útil, tipo de material, etc., é necessário ter conhecimento da massa. Sendo assim, a seguir são apresentados os resultados das equações para a predição da massa das máquinas abordadas nesse estudo.

4.5.1 Predição da massa de semeadora-adubadora de precisão

As amostras apresentaram uma média de $0,40 \text{ Mg fileira}^{-1}$, com coeficiente de variação igual a 22,30%. Optou-se por uma equação de segundo grau para representação dos dados, pois a mesma foi a que apresentou simplicidade e coeficiente determinístico satisfatório (Figura 33).

Figura 33 – Massa por fileira para semeadora-adubadora em função do número de fileiras

Os dados analisados apresentaram normalidade e homogeneidade. O modelo ajustado (eq. 38) apresentou coeficiente determinístico de 0,54, com todos os parâmetros significativos pelo menos a 5,00% pelo teste-t. A análise de variância foi significativa a 5,00% pelo teste F, indicando que pelo menos um dos números de fileiras estudados, apresenta diferença significativa quando comparada com os demais.

$$f(x) = (-0.011354 * X^2 + 0.730346 * X - 1.558429) Nl \quad (38)$$

Em que: $f(x)$ = massa total da semeadora-adubadora (Mg); X = número de fileiras (adimensional); Nl = número de fileiras; *significativo a 5,00% pelo teste-t.

Para as semeadoras-adubadoras estudadas, a curva ajustada que representa a massa por fileira apresenta o ponto de máximo para o número de 17 fileiras, indicando que há aumento de massa por fileira até a fileira 17. Após esse valor, a massa por fileira tende a diminuir, pois a taxa de aumento de massa da estrutura passa ser inferior a taxa de aumento do número de fileiras.

4.5.2 Predição da massa de semeadora de precisão

A média da massa das semeadoras de precisão avaliadas foi igual a 0,5 Mg fileira⁻¹. Esses valores se encontram entre 0,4 e 0,6 Mg fileira⁻¹ (Figura 34), com coeficiente de variação igual a 8,10%, indicando pouca variação quando comparado às semeadoras-adubadoras (Figura 33). Esse indicativo pode ser confirmado pela análise de

variância, que não apresentou diferença ($p < 0,05$).

Figura 34 – Massa por fileira para semeadora em função do número de fileiras

Conforme observado na Figura 34, a massa total das semeadoras avaliadas variou entre 4,4 e 20,5 Mg. O modelo linear foi o que melhor representou os referidos dados, com coeficiente determinístico de 0,94 (eq. 39).

$$f(x) = (-0.47328 * X + 0.55194) \quad (39)$$

Em que: $f(x)$ = massa total da semeadora (Mg); X = número de fileiras (adimensional); *significativo a 5,00% pelo teste-t.

Para a massa total em função do número de fileiras, a análise de variância foi significativa, demonstrando que há diferença estatística entre a massa total das semeadoras avaliadas.

4.5.3 Predição da massa de distribuidores de fertilizantes e corretivos autopropelidos

A ideia inicial de relacionar a massa dos distribuidores de fertilizantes e corretivos autopropelidos com a largura da faixa de aplicação, não apresentou resultados satisfatórios. Pois para essa categoria de máquina, a variação dos valores de largura da faixa de aplicação não foi suficiente para distinguir a massa das máquinas. Como exemplo do banco de dados formado, cita-se duas máquinas com faixas de aplicação com diferença inferior a 3,00, mas com massas apresentando diferença superior a 1,00 Mg. Além disso, largura da faixa de aplicação pode variar de acordo com o produto a ser aplicado, como exemplo, cita-se aplicação de calcário e fertilizante granulado. Dessa forma optou-se por

relacionar a massa total com a potência das máquinas autopropelidas. Os modelos dos distribuidores de corretivos e fertilizantes autopropelidos, que dispunham de informação necessária para avaliação, apresentam massa total variando entre 6,00 e 16,00 Mg, com potência entre 100,00 e 250,00 kW (Figura 35).

Figura 35 – Massa total dos distribuidores de fertilizantes e corretivos autopropelidos em função da potência

A relação média entre a massa total e potência foi de 0,06 Mg kW⁻¹, com coeficiente de variação igual a 16,70%. Foi utilizado um modelo linear para ajuste da equação, com coeficiente determinístico de aproximadamente 0,90 (eq. 40).

$$f(x) = 0.0428 * X + 3.2265^* \quad (40)$$

Em que: $f(x)$ = massa total dos distribuidores de fertilizantes e corretivos autopropelidos (Mg); X = potência da máquina (kW); *significativo a 5,00% pelo teste-t.

A análise de variância foi significativa ($p < 0,05$) e a taxa de variação entre a massa total e a potência apresenta-se constante.

4.5.4 Predição da massa de distribuidores de fertilizantes e corretivos traçados

Para estimar a massa dos distribuidores de fertilizantes e corretivos traçados, optou-se relacionar a massa total com a capacidade do reservatório, uma vez que a estrutura da máquina depende da quantidade máxima de produto a ser transportado. Seria possível relacionar outras variáveis para essa predição (número de rodas, material do reservatório, etc), contudo, essa ação poderia dificultar a utilização do modelo. Nota-

se que para a faixa de capacidade do reservatório entre 4.000,00 e 6.000,00 L, é possível encontrar máquinas que possuem massa com mais de 50,00% de diferença (Figura 36).

Figura 36 – Massa total dos distribuidores de corretivos e fertilizantes tracionados em função da capacidade do reservatório

A média da massa para cada unidade de volume do reservatório das máquinas avaliadas, foi de aproximadamente $0,50 \cdot 10^{-3} \text{ Mg L}^{-1}$, com coeficiente de variação de 32,90%. A massa variou entre 1,00 e 6,00 Mg e a capacidade do reservatório entre 1.500,00 e 8.000,00 L (Figura 36). Para ajuste da equação que representa o conjunto de dados, utilizou-se um modelo linear, que apresentou coeficiente determinístico de aproximadamente 0,50 (eq. 41).

$$f(x) = 0.0005 \cdot X + 0,24 \quad (41)$$

Em que: $f(x)$ = massa total dos distribuidores de fertilizantes e corretivos tracionados (Mg); X = capacidade do reservatório (L); * significativo a 5,00% pelo teste-t.

O modelo ajustado para essa situação, quando comparada aos demais modelos das máquinas avaliadas, apresenta baixa representatividade, vide seu coeficiente determinístico. Isso se deve a variação das características de projeto e dos materiais que compõem as máquinas avaliadas.

4.5.5 Predição da massa de pulverizadores autopropelidos

Os pulverizadores autopropelidos avaliados possuem motores com potência entre 90,00 e 200,00 kW e massa total variando entre 6,50 e 10,65 Mg. A média da massa para por unidade de potência é de aproximadamente $0,05 \text{ Mg kW}^{-1}$ e coeficiente

de variação de 45,60% (Figura 37).

Figura 37 – Massa total dos pulverizadores autopropelidos em função da potência

Valores similares da razão peso e potência foram encontrados por Baumhardt et al. (2010), atribuindo as principais diferenças de peso ao sistema de tração, tamanho de barras e suspensão. A equação foi ajustada por um modelo linear e apresentou coeficiente determinístico de aproximadamente 0,70 (eq. 42).

$$f(X) = 0.036124 * X + 3.704088 * \quad (42)$$

Em que: $f(X)$ = massa total dos pulverizadores autopropelidos (Mg); X = potência (kW); *significativo a 5,00% pelo teste-t.

A análise de variância demonstra que há diferença estatística ($p < 0,05$) entre as massas dos equipamentos.

4.5.6 Predição da massa de pulverizadores tracionados

A média da massa para cada unidade de volume do reservatório das máquinas avaliadas, foi de aproximadamente $0,70 \cdot 10^{-3} \text{ Mg L}^{-1}$, com coeficiente de variação de 18,50%. A massa variou entre 1,00 e 3,50 Mg e a capacidade do reservatório entre 1.500,00 e 3.500,00 L (Figura 38).

Figura 38 – Massa total dos pulverizadores tracionados em função da capacidade do reservatório

A equação que representa a massa total do pulverizador tracionado, em função da capacidade do reservatório, foi ajustada por meio de um modelo linear e apresentou um coeficiente determinístico de aproximadamente 0,60 (eq. 43).

$$f(X) = 0.000948 * X - 0,41 \quad (43)$$

Em que: $f(X)$ = massa total dos pulverizadores tracionados (Mg); X = capacidade volumétrica do reservatório (L); *significativo a 5,00% pelo teste-t.

A análise de variância foi significativa, demonstrando que há diferença estatística significativa entre as massas dos equipamentos.

4.5.7 Predição da massa de colhedoras

As colhedoras avaliadas possuem potência entre 50,00 e 350,00 kW e massa entre 5,00 e 25,00 Mg, com média da relação peso potência de $0,06 \text{ Mg kW}^{-1}$, com coeficiente de variação de aproximadamente 13,80% (Figura 39).

Figura 39 – Massa total das colhedoras em função da potência

O modelo quadrático foi o que apresentou melhor ajuste para representar a relação massa total e potência, com coeficiente determinístico de aproximadamente 0,80 (eq. 44).

$$f(X) = 0.000161 \cdot X^2 + 0.1153 \cdot X \quad (44)$$

Em que: $f(X)$ = massa total das colhedoras autopropelidas (Mg); X = potência (kW);
*significativo a 5,00% pelo teste-t.

A análise de variância apresentou diferença estatística significativa, confirmando que há diferença entre os dados. A equação ajustada possui ponto de máximo para potência igual a 351,07 kW, que estima uma massa de 16,60 Mg. A partir desse valor, a equação tende a gerar valores de massa cada vez menores. Contudo, os dados indicam que na realidade há uma tendência crescente da massa das colhedoras, a medida que se aumenta a potência. Apesar dessa discrepância, optou-se em permanecer com esse modelo, pois além da taxa de variação média em módulo ser inferior a $1,61 \text{ kg kW}^{-1}$, a utilização de um modelo linear implicaria em um coeficiente determinístico inferior, reduzindo a representatividade do comportamento das amostras.

4.5.8 Validação da demanda de energia

Nesse estudo, a demanda de energia composta de três itens, mão de obra, depreciação da maquinaria e consumo de combustível. A demanda energética, referente a mão de obra, não foi contabilizada, pois sua representatividade pode ser desconsiderada, (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979), (CAVALETT; ORTEGA, 2010) e (MOURAD;

ARNALDO, 2011). Abrange o cálculo da depreciação de máquinas agrícolas, índice(s) de demanda energética, a vida útil, a capacidade operacional e a massa da maquinaria que é utilizado nas operações. Entre os fatores listados, individualizar a massa dos materiais, que constituem uma máquina e seu respectivo conteúdo energético, exige uma metodologia complexa. Pois, como exemplo, cita-se a inserção de materiais como o alumínio, polímeros e fibra de vidro, com intenção de substituir o aço na fabricação das máquinas, que por sua vez promove um aumento da energia incorporada da mesma (MIKKOLA; AHOKAS, 2010). Dessa forma, tem-se uma variabilidade do conteúdo energético, para uma mesma categoria de máquina, em função dos materiais utilizados pelo fabricante.

Nos trabalhos desenvolvidos por Jasper et al. (2010), Hetz e Barrios (1997), Rathke et al. (2007) e Mantoam et al. (2014), na determinação da depreciação energética, é possível evidenciar a variação dos índices energéticos. Dessa forma, conclui-se uma imprecisão na determinação da demanda energética dos materiais utilizados de forma indireta, corroborando com (DOERING III, 1980). Haja vista, a ocorrência da referida imprecisão, adotou-se um único índice para todas as máquinas. Pelo exposto, não foi realizada uma comparação de resultados e a representatividade de cada equação, para o cálculo da massa de cada máquina, pode ser observado nos respectivos coeficientes determinísticos. Na demanda energética de combustível, o índice energético do combustível é constante. Sendo assim, como a predição do consumo de combustível foi validada, assume-se que a mesma, atenda a validação da demanda energética de combustível.

4.6 Custo e viabilidade de terceirização das operações mecanizadas na propriedade

Para a operação de semeadura, os conjuntos da propriedade apresentaram custo operacional médio de 62,40 R\$ ha^{-1} , com coeficiente de variação de 7,10%. Os valores das outras referências, apresentaram média de 50,40 R\$ ha^{-1} e coeficiente de variação igual a 42,60%, indicando uma não similaridade entre os mesmos, (Figura 40).

Figura 40 – Custo operacional de semeadura na propriedade estudada e outros valores estimados de custos. A = B = C = conjuntos mecanizado da propriedade; D = D' = FNP (2013); E = AGROBANCO (2013); F = AGROBYTE (2014); G = FAEG (2013); H = IMEA (2012a); I = RICHETTI (2012).

Entre os valores das outras referências, nota-se que o valor “D” é 25,90 R\$ ha⁻¹ (CcO de 5,00 ha h⁻¹), não representando 50,00% da média do custo operacional da propriedade. Utilizando outros dados da mesma referência, contudo, selecionando um trator com 88 kW e uma semeadora-adubadora de 12 fileiras, assumindo uma CcO de 3,90 R\$ ha⁻¹ (velocidade de 8,50 km h⁻¹ e 85,00% de eficiência operacional), obtém-se um custo de 36,68 R\$ ha⁻¹ (D'), que é 41,60% superior a “D”, demonstrando divergência entre valores de uma mesma referência. Haja vista os resultados apresentados, sugere-se que ao utilizar informações referentes aos custos operacionais, atente-se em sua utilização, pois as mesmas podem não representar o custo total.

O valor da referência “H” é similar aos valores das referências “D” e “D'”, mas como a CcO não é informada, não é possível realizar uma análise crítica. Entre as referências “E”, “F”, “G” e “I”, somente a referência “E”, não apresentou a CcO, as demais são 1,50; 2,00 e 2,50 ha h⁻¹, respectivamente. Nota-se que mesmo para CcO inferiores à da propriedade, a diferença do custo operacional das mesmas, em relação a média do custo operacional da propriedade, oscila entre de -14,70 e 32,80%. Assumindo que os custos são para diferentes localidades, os resultados indicam que o custo da propriedade está em um patamar aceitável.

Na simulação do custo da operação de semeadura, que engloba um total de 10.400 ha, o número teórico de conjuntos mecanizados foi igual a 6,90. Dessa forma, seria utilizado 98,60% da CcO total da frota, resultando em um custo simulado de 55,71 R\$ ha⁻¹ (Figura 41).

Figura 41 – Simulação do custo e viabilidade da terceirização para operação para operação de Semeadura

Para a área de 8.916,0 ha, que corresponde ao uso de 85,70% do uso dos conjuntos, o custo é de 58,97 R\$ ha⁻¹. Esse valor pode ser reduzido em até 5,54%, atingindo 100,00% do uso dos conjuntos para a situação simulada, gerando um custo operacional de 55,70 R\$ ha⁻¹. Nota-se na Figura 41, que o custo médio com semeadura na propriedade é de 66,96 R\$ ha⁻¹ (incluindo operações e serviço de apoio), resulta em um índice financeiro de -2,44, indicando que a frota pode estar subutilizada, ou ainda, que os conjuntos já tenham ultrapassado a viabilidade econômica de uso. A terceirização para a operação de semeadura na propriedade é inviável, pois o custo de terceirização é 15,63% superior. Os resultados da simulação indicam que a terceirização é viável para o intervalo de área entre 1486,00 e 1492,50, e para áreas inferiores a 746,00 ha.

Em relação a operação de aplicação de defensivos, o custo médio na propriedade foi de aproximadamente 18,13 R\$ ha⁻¹ (Figura 42).

Figura 42 – Custo operacional de aplicação de defensivos na propriedade estudada e outros valores estimados de custos. A = B = C = máquinas da propriedade; D = FNP (2013); E = AGROBANCO (2013); F = AGROBYTE (2014); G = FAEG (2013); H = IMEA (2012a); I = RICHETTI (2012).

A máquina “D” é a que possui maior custo operacional, alcançando até 192,00% de diferença. De acordo com a referência dessa máquina, trata-se de uma máquina autopropelida, com custo de 161,20 R\$ ha⁻¹ e CcO igual a 4,20 ha h⁻¹. O custo apresentado indica uma máquina autopropelida, contudo, a CcO é baixa para a máquina em questão, justificando o custo operacional superior. Desconsiderando as máquinas “B” e “D”, os demais custos de produção possuem valores próximos entre si, indicando que os custos da propriedade estão em patamar aceitável.

Na propriedade de estudo, contabilizando a área de soja (6.900 ha), milho safrinha (3500 ha) e o número de aplicações de defensivos, sendo seis e duas, respectivamente, a área total de aplicação é de 48.400 ha. O custo operacional simulado para a área total foi de 11,81 R\$ ha⁻¹ (Figura 43).

Figura 43 – Simulação do custo e viabilidade da terceirização para operação de Pulverização

Conforme Figura 43, nota-se que o custo médio na propriedade (incluindo operações e serviço de apoio) é aproximadamente 53,51% superior ao simulado, resultando em um índice financeiro igual a -8,42. Assim como na operação de semeadura, o índice financeiro indica que há subutilização da frota, ou conjuntos que já tenham ultrapassado a viabilidade econômica de uso. Entre os conjuntos da propriedade, o conjunto mecanizado “B”, apresenta um custo 41,20% superior à média. Analisando individualmente a referida máquina, o custo superior da mesma é justificado pelo desgaste (fabricação 2000) e tempo de uso, tendo como consequência, maior custo de reparo e manutenção (Apêndice A).

Para a situação encontrada na propriedade estudada, a terceirização para a aplicação de defensivos seria viável economicamente, pois possibilita a redução do custo da propriedade em 14,17% (Figura 43). Além disso, a terceirização se apresenta viável para

situações em que a área de aplicação é inferior a 4977 ha. Essas situações representam capacidade de uso inferior a 49,40% da capacidade total de um conjunto.

Na operação de colheita realizada na propriedade, o custo operacional médio foi de 83,30 R\$ ha⁻¹, com diferença de aproximadamente 28,20% entre o menor e maior custo (Figura 44).

Figura 44 – Custo operacional da colheita mecanizada na propriedade estudada e outros valores estimados de custos. A = B = C = máquinas da propriedade; D = FNP (2013); E = AGROBANCO (2013); F = AGROBYTE (2014); G = FAEG (2013); H = IMEA (2012a); I = RICHETTI (2012).

Nota-se que mesmo apresentando o maior tempo de uso (Apêndice A), que promove maior diluição dos custos fixos, a máquina “A” (Figura 44) teve um custo 26,30% superior às demais, devido ao custo com reparo e manutenção. Com exceção do custo da máquina “H”, os demais valores estão próximos da média geral que é 86,20 R\$ ha⁻¹. Indicando que as máquinas da propriedade, inclusive a máquina “A”, apresentam custos operacionais dentro de um patamar aceitável.

Na simulação da operação de colheita, assumindo a área total de 10.400 ha (soja e milho safrinha), o custo foi de 85,64 R\$ ha⁻¹, com uso de 96,13% da capacidade total de colheita dos 11 conjuntos necessários (Figura 45).

Figura 45 – Simulação do custo e viabilidade da terceirização para operação de Colheita.

O custo médio na propriedade para operação de colheita apresenta um índice financeiro de 0,54, indicando que o custo na propriedade está entre o custo operacional máximo e mínimo simulado. No que tange a terceirização da colheita na propriedade, nota-se que a mesma é inviável (Figura 45), pois apresenta um custo superior de 90,59% em relação ao custo na propriedade. A simulação indica que para as condições estabelecidas, a terceirização é viável para áreas inferiores a 306 ha.

A utilização do índice financeiro auxilia a parametrização do custo nas operações agrícolas em questão, pois demonstra com base em uma simulação, se o custo de uma determinada operação pertence a um intervalo de custo simulado, ou o quão distante está. Contudo, deve-se atentar em alguns critérios no uso do índice financeiro, cita-se as características das máquinas (capacidade operacional, potência, custo de aquisição, etc.), assim como, o tempo para realização da operação, visto que o ritmo operacional exigido definirá o número de conjuntos e o tempo de uso das máquinas, que por sua vez formará o custo operacional. Outro detalhe é o tamanho da área, pois a medida que ocorre aumento da área, para cada unidade de conjunto mecanizado adicionada, há uma redução entre o gradiente do custo máximo e mínimo, reduzindo o intervalo do custo simulado que um determinado custo possa pertencer. Dessa forma, torna-se possível utilizar o índice na simulação, para verificar se uma frota tem custo próximo às condições simuladas, ou ainda, verificar a viabilidade de substituição de frotas por máquinas de diferentes portes.

Quanto a terceirização das operações agrícolas, o estudo realizado indica que sua aplicação está inserida em situações específicas, sendo essas, em locais com área insuficiente para diluição dos custos fixos, ou circunstâncias que exijam a realização das operações em um curto espaço de tempo. Portanto, a viabilidade do uso de máquinas

próprias, terceirizadas, ou ainda, uma mescla entre as opções citadas, depende de uma análise individual de cada situação, não sendo possível definir uma regra que englobe todos os casos.

Entre os parâmetros que auxiliam no estudo da viabilidade de uso de uma máquina, cita-se a capacidade de campo teórica, efetiva e operacional, que segundo ASABE (2005), são os parâmetros primários para avaliar a performance da maquinaria agrícola. Segundo ASABE (2005), a capacidade de campo teórica é o período em que a máquina realiza uma operação em 100,00% do tempo disponível, com uma determinada velocidade de deslocamento e uso integral da largura teórica. A capacidade de campo efetiva utilizada em ensaios de máquinas, segundo ASABE (2005), é razão entre a área ou produto processado em um determinado intervalo de tempo. Para Mialhe (1974), a capacidade de campo operacional é a razão entre a área trabalhada e os tempos de produção, preparo e interrupção em uma operação agrícola. Segundo Molin et al. (2006), informações sobre a capacidade campo operacional colaboram nas tomadas de decisões, tornando-se uma referência no planejamento e gerenciamento dos sistemas mecanizados. Com o advento do sistema de posicionamento global e o avanço tecnológico na mecanização agrícola, a eficiência operacional pode ser determinada com maior exatidão e particularidade (ADAMCHUK; GRISSO; KOCHER, 2011). Dessa forma, quando a capacidade de campo teórica de uma máquina é associada ao seu custo horário de utilização, obtém-se o parâmetro custo teórico de operação. Porém, quando a capacidade de campo operacional está associada ao custo, obtém-se o custo operacional, que é o principal indicador da sua viabilidade de uso.

Analisando as máquinas utilizadas nas operações agrícolas da propriedade estudada, verificou-se a participação média dos custos fixos e variáveis, que contribuem na formação do custo total (Tabela 11).

Tabela 11 – Participação dos custos fixos e variáveis na formação do custo operacional

Máquina	Depreciação (%)	Juro alojamento (%)	Seguro (%)	Combustível (%)	Reparo e manutenção (%)	Mão de obra (%)
Trator	15,20	16,20		37,50	18,90	12,00
Semeadora	39,00	46,40		0,00	14,50	0,00
Pulverizador autopropelido	25,30	20,90		10,40	40,40	2,70
Colhedora	28,20	27,40		22,80	17,30	4,10

Para os tratores utilizados na propriedade, o componente mais representativo do custo total, foi o custo variável consumo de combustível (37,50%), seguido por reparo e manutenção (18,90%), taxa de juro, seguro e alojamento (16,20%), depreciação (15,20%) e mão de obra (12,00%). Para Hunt (2001), o custo de um trator agrícola, para os componentes: consumo de combustível (12,50%), depreciação (21,50%), JSA (taxa de juro, seguro e alojamento) (14,00%), mão de obra (41,00%) e reparos e manutenção (11,00%). Simões, Silva e Fenner (2011), avaliando o custo de um trator na operação de subsolagem, constataram que o consumo de combustível representou 39,00%, depreciação (16,00%), JSA (14,00%), mão de obra (18,00%) e reparos e manutenção (13,00%).

Nos trabalhos apresentados, com exceção do trabalho de (HUNT, 2001), nota-se que o consumo de combustível é o maior formador de custo. No trabalho do referido autor, essa disparidade é possivelmente justificada pela diferença do custo da mão de obra e do diesel, entre os países em questão (Brasil e Estados Unidos da América). Os resultados apresentados na Tabela 11 (Trator) são semelhantes aos encontrados por Simões, Silva e Fenner (2011). Devido as variações nos componentes que formam o custo de tratores, não é possível generalizar a proporção de cada componente, para todos os sistemas de produção.

Nota-se na Tabela 9 e nos trabalhos Simões, Silva e Fenner (2011) e Simões e Silva (2012), que o consumo de combustível é o componente com maior participação na formação dos custos. Esse fato pode ser justificado pelo próprio consumo de combustível das máquinas utilizadas, ou ainda, pelo valor pago na aquisição do mesmo.

Para as semeadoras, o maior custo constatado foi com JSA (46,40%), seguido por depreciação (39,00%) e reparos e manutenção (14,50%). Salienta-se que a máquina em questão possui acionamento mecânico e não possui dispositivos eletrônicos. Não foi contabilizado o custo com mão de obra e combustível, pois a referida máquina depende de uma fonte de potência para seu funcionamento, que no caso, já contabiliza o custo com combustível e do operador. No mercado atual, o custo com semeadoras é variável, segundo Casao Júnior e Siqueira (2004), é possível encontrar semeadoras com o mesmo número de fileiras, com diferenças de até 41,00% no preço de aquisição. Sendo assim, dependendo da tecnologia embarcada na máquina, o custo com reparo e manutenção pode oscilar, promovendo consequente alteração nos demais componentes formadores custos.

Em relação aos pulverizadores autopropelidos, o componente com maior participação na formação do custo, é o reparo em manutenção, com 40,40%. Posteriormente, tem-se o custo com depreciação (25,30%), JSA (20,90%), consumo de combustível (10,40%) e mão de obra (2,70%). De acordo com os resultados de Baio et al. (2004), que ao desenvolver um modelo para seleção de pulverizadores, constataram que o custo com reparos e manutenção, seguido da depreciação, é fator que mais afeta a formação do custo horário.

As colhedoras analisadas apresentaram como maior custo a depreciação (28,20%), seguido por JSA (27,40%), consumo de combustível (22,80%), reparo e manutenção (17,30%) e mão de obra (4,10%). Valores estimados por EPAGRI (2013) indicam que o custo de uma colhedora média, é composto por uma depreciação de 30,00%, JSA igual a 15,00%, reparos e manutenção 41,00%, consumo de combustível 9,00% e mão de obra de 5,00%. Usualmente, colhedoras de grãos, quando comparadas a um trator de mesma potência, apresentam maior consumo horário de combustível. Neste estudo a diferença é da ordem de aproximadamente 70,00%. Apesar do consumo de combustível ser superior, as colhedoras nesse caso, tem um valor de aquisição superior, fazendo com que os custos com depreciação e JSA reduzam a participação do consumo de combustível no custo total. Dessa forma, pode-se adotar como estratégia para redução do custo das colhedoras, assim como, para as demais máquinas, a obtenção de descontos no preço de aquisição e técnicas para redução do consumo de combustível.

4.7 Análise de sensibilidade no custo financeiro

Comparando os cenários simulados -Cc (redução de consumo de combustível), -Pc (redução do preço de compra), +Ef (aumento da eficiência operacional) e +T (aumento do tempo anual), com o cenário P (padrão), nota-se a influência das referidas variações em cada componente formador de custo (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise de sensibilidade para os cenários simulados

Operação	Cenário	Depreciação (%)	JSA (%)	CC (%)	RM (%)	MO (%)	CT (%)
Semeadura	+T	-9,10	-9,10	0,00	11,00	0,00	-1,20
	+Ef	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10
	-Pc	-5,70	-5,90	0,00	0,00	0,00	-2,40
	-Cc	0,00	0,00	-10,00	0,00	0,00	-2,90
Pulverização AP	+T	-9,10	-9,10	0,00	10,00	0,00	-0,70
	+Ef	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10
	-Pc	-5,20	-6,00	0,00	0,00	0,00	-2,60
	-Cc	0,00	0,00	-10,00	0,00	0,00	-1,40
Pulverização	+T	-9,10	-9,10	0,00	3,40	0,00	-3,80
	+Ef	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10
	-Pc	-5,90	-5,90	0,00	0,00	0,00	-3,00
	-Cc	0,00	0,00	-10,00	0,00	0,00	-1,80
Adubação lanço	+T	-9,10	-9,10	0,00	10,00	0,00	-2,60
	+Ef	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10
	-Pc	-5,20	-6,00	0,00	0,00	0,00	-2,90
	-Cc	0,00	0,00	-10,00	0,00	0,00	-2,10
Colheita	+T	-9,10	-9,10	0,00	11,10	0,00	-2,40
	+Ef	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10	-9,10
	-Pc	-5,20	-6,00	0,00	0,00	0,00	-2,70
	-Cc	0,00	0,00	-10,00	0,00	0,00	-2,90

JSA = juro + seguro + alojamento; MO = mão de obra; RM= reparo e manutenção; CC = consumo de combustível.

O cenário -Cc promoveu alteração somente para o componente de custo consumo de combustível, conseqüentemente, reduzindo o custo total. As maiores reduções do custo total foram para as operações de semeadura e colheita, onde o consumo de combustível tem maior participação na formação de custos. O cenário -Pc reduziu custos nos componentes depreciação e JSA, impactando no custo total um decréscimo entre -2,40 e -2,90% na operações. Salienta-se para o referido cenário, que a redução de 10,00% no preço de compra, não incide sobre o custo de seguro da máquina, pois para o cálculo do seguro se utiliza valores de mercado. Isso se deve ao fato de que, caso ocorra algum sinistro, o segurado tem a intenção de receber um valor que lhe permita comprar ou reparar uma máquina, com valor similar a que foi danificada. O cenário -Pc, demonstra que a redução do preço de aquisição reduz aproximadamente em 5,10% o custo com depreciação. Segundo Baio et al. (2004), a taxa de depreciação é um dos fatores que mais afeta o custo horário. Dessa forma, negociações que implicam em descontos no momento da aquisição da máquina, são estratégias que propiciam a redução do custo operacional.

Entre todos os cenários, o cenário +Ef foi o que gerou redução de custo em todos os componentes, tornando-o o cenário com maior redução do custo operacional total (9,10%). A lucratividade de qualquer propriedade agrícola ou de determinada cultura, depende da capacidade de trabalho da máquina, da eficiência de campo e dos requisitos de potência, que por sua vez, são fatores fundamentais no gerenciamento da utilização da maquinaria agrícola (SILVEIRA; YANAI; KURACHI, 2006). De acordo com Sogaard e Sorensen (2004), Sorensen et al. (2010), especialmente para máquinas de grande porte, a eficiência operacional deve ser gerenciada por meio de sistemas de informação, reduzindo assim, possíveis perdas do potencial de produção. Devido ao impacto da eficiência operacional na formação dos custos de produção e seu respectivo reflexo na qualidade da gestão de um sistema, a eficiência operacional deve ser utilizada como índice de apoio na tomada de decisão, nas situações em que se pretende ampliar o número de máquinas ou contratar serviços de terceiros.

Em relação ao cenário +T, conforme apresentado na Tabela 12, nota-se que ao mesmo tempo em que ocorre a redução de custo com depreciação (9,00%) e JSA (9,00%), também há um incremento de 10,90; 10,00; 3,30; 10,00 e 11,00% no custo com reparo e manutenção, nas operações de semeadura, pulverização com pulverizador auto-propelido, pulverização, adubação a lanço e colheita, respectivamente. Sendo assim, há um intervalo temporal do uso da máquina, que faz com que o custo horário total seja decrescente. A partir de um determinado instante, o incremento do custo com reparo e manutenção é superior ao custo horário da depreciação mais JSA, fazendo com que custo horário total seja crescente, (Figura 46).

Figura 46 – Comportamento dos custos de uma colhedora em função do tempo de uso.

Para Balastreire (1995), a partir de um determinado instante de uso, a máquina agrícola torna-se inviável economicamente, indicando que a mesma deve ser substituída. Entre os custos operacionais, Oliveira e Milan (2001), constataram que as despesas com reparo e manutenção são as mais críticas, e que tratores com altas horas de trabalho acumuladas, podem tornar o uso da máquina antieconômico. De acordo com Rohani, Abbaspour-Fard e Abdolahpour (2011), os custos com reparo e manutenção são importantes componentes na composição dos custos de máquinas agrícolas, a diluição dos custos fixos ao longo do tempo, concomitantemente com o aumento do custo das operações, indicam uma estimativa da vida econômica. Pelo exposto, os custos com reparos e manutenção, vinculados ao tempo de uso, são as principais fontes de informação, na tomada de decisão da substituição de uma máquina.

4.8 Fração de número de conjuntos viável para terceirização

O custo da terceirização das operações agrícolas está vinculado a uma série de fatores específicos. Usualmente o valor cobrado independe do total da área a ser cultivada, e sim, das particularidades de cada operação. Cita-se por exemplo, método de aplicação de adubo na semeadura, distâncias entre os pontos de reabastecimentos dos insumos (sementes, fertilizantes, calda, etc.), se o fornecimento do combustível é por conta do contratante ou contratado, entre outras. Os detalhes da contratação dos serviços são definidos por meio de contrato.

No planejamento das operações agrícolas, a definição da fração de conjuntos de uma operação em que é viável optar pela terceirização, ou possuir maquinário próprio, depende de fatores como preço de aquisição das máquinas, que por sua vez está ligado a tecnologia embarcada, além de outros fatores, como CcO, tempo de uso, consumo de combustível, etc. Dessa forma, a comparação do custo cobrado por uma empresa de terceirização, com a simulação dos custos do maquinário descrito no Apêndice C, permitiu verificar a fração de conjuntos em que é viável terceirizar (Figura 47).

Figura 47 – Custo operacional de máquinas agrícolas para diferentes tempos de uso ao ano e os respectivos custos de terceirização. Semeadora = conjunto mecanizado trator e semeadora-adubadora para semeadura direta. Colhedora = máquina autopropelida para colheita (soja). Pulverizador = conjunto mecanizado trator e pulverizador de arrasto. Pulverizador (AP) = máquina autopropelida para aplicação de defensivos agrícolas.

De acordo com resultados apresentados na Figura 47, o conjunto mecanizado para semeadura direta possui custo superior à terceirização para o tempo de uso anual de 100, 200 e 400 h, fazendo com que a terceirização seja viável independentemente do tamanho de área. Para o tempo de 600 e 800 h, a terceirização torna-se inviável quando atinge-se 80,00 e 62,00% respectivamente, da capacidade de produção dos conjuntos (Tabela 13).

Em relação a operação de colheita (Figura 47), que trata-se da colheita da cultura da soja, a viabilidade de terceirização ocorre em situações em que a taxa de utilização seja inferior a 72,00% para o uso anual de 100,00 h. Para os tempos de uso anual 200, 400, 600 e 800 h, as taxas de uso devem ser inferiores a 72,00, 44,00, 30,00 e

27,00% respectivamente, para que ocorra viabilidade de terceirização.

Ainda na Figura 47, o conjunto mecanizado para pulverização é composto por um pulverizador com alta tecnologia embarcada (controlador automático de seções, barra de luz), elevando o custo operacional do conjunto. Dessa forma, para essa categoria de maquinário a terceirização torna-se viável em situações em que o uso anual seja de até 200 h. Para tempos superiores há situações que limitam a terceirização da referida operação. Na pulverização com a máquina autopropelida, a terceirização apresenta-se viável para o uso de 100 h por ano. Para os demais tempos de uso, as situações de viabilidade da terceirização são reduzidas. Com intuito de disponibilizar uma referência da viabilidade da terceirização, os resultados apresentados na Figura 47, foram sintetizados na Tabela 13.

Tabela 13 – Frações viáveis dos conjuntos mecanizados para terceirização para a região de Sorriso - MT

Máquina	Uso anual (h)	Fração de conjuntos com viabilidade de terceirização								
		Número inteiro de conjuntos								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Semeadora	100	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	200	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	400	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	600	< 0,80	<1,60	< 2,40	< 3,20	I	I	I	I	I
	800	< 0,62	<1,24	I	I	I	I	I	I	I
Pulverizador	100	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	200	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	400	< 0,91	< 1,82	< 2,73	< 3,64	< 4,55	< 5,47	I	I	I
	600	< 0,66	< 1,31	I	I	I	I	I	I	I
	800	< 0,53	< 1,06	I	I	I	I	I	I	I
Pulverizador (AP)	100	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	200	< 0,63	< 1,27	I	I	I	I	I	I	I
	400	< 0,42	I	I	I	I	I	I	I	I
	600	< 0,36	I	I	I	I	I	I	I	I
	800	< 0,31	I	I	I	I	I	I	I	I
Colhedora	100	< 0,72	< 1,45	< 2,17	I	I	I	I	I	I
	200	< 0,44	I	I	I	I	I	I	I	I
	400	< 0,30	I	I	I	I	I	I	I	I
	600	< 0,27	I	I	I	I	I	I	I	I
	800	< 0,22	I	I	I	I	I	I	I	I

I = inviável para qualquer fração de conjuntos. V = viável para qualquer fração de conjuntos.

A análise horizontal da Tabela 13 indica que a medida que ocorre o aumento do número de conjuntos para um mesmo tempo de uso, há uma redução da viabilidade da terceirização. Isso se explica pela tendência de aumento da taxa de uso dos conjuntos

e consequente redução do custo operacional. O mesmo ocorre em uma análise vertical, contudo a redução da oportunidade de terceirização é justificada pelo aumento do tempo de uso. Sendo que as frações que limitam a viabilidade da terceirização não são constantes, pois dependem do custo operacional do maquinário e do valor cobrado pela empresa de terceirização, a simulação de novos valores para as frações torna-se necessária a cada nova alteração dos valores.

4.9 Demanda de energia das operações agrícolas na propriedade

Após o desenvolvimento do fluxo de material (Apêndice F) constatou-se que entre as operações do sistema de produção estudado, soja e milho safrinha, a operação de colheita foi a que apresentou maior demanda, seguida pela semeadura e pulverização, (Figura 48).

Figura 48 – Demanda de energias das operações mecanizadas para a cultura do milho e da soja. AL = adubação a lanço; C = colheita; P = pulverização com máquina autopropelida; S = semeadura.

A operação de colheita representou 44,90 e 63,60% da demanda energética total, para a cultura da soja e do milho, respectivamente. Justifica-se essa diferença pela CcO inferior da colhedora para realização da colheita do milho, uma vez que o consumo de combustível informado é inferior na colheita do milho. A demanda de energia para a semeadura de ambas as culturas foi a mesma, pois em ambas operações é utilizado o mesmo maquinário. Quanto à operação de pulverização, a diferença é resultante do número de aplicações efetuadas nos tratos culturais, uma vez que utilizam as mesmas máquinas. Salienta-se que nos resultados apresentados, foram contabilizadas duas operações de pulverização na cultura do milho e seis para a cultura da soja, o que proporcionou uma diferença de 300,00%. Dessa forma, no manejo empregado no controle

de pragas e doenças, que define o uso de máquinas para aplicação de produtos, deve se preconizar a redução do número de aplicações, para que se obtenha um sistema mais eficiente do ponto de vista energético. Entre os componentes formadores do custo energético, o custo com combustível (diesel), foi o que teve maior representatividade em todas as operações, (Figura 49).

Figura 49 – Demanda de energia da depreciação do maquinário e do diesel nas operações mecanizadas na cultura da soja e do milho. AL = adubação a lanço; C = colheita; P = pulverização com máquina autopropelida; S = semeadura.

Resultados encontrados por Pimentel e Patzek (2005), Pradhan et al. (2008) e Stubbs (2013), sobre a demanda energética das culturas da soja e milho nos Estados Unidos da América, demonstram que os custos com depreciação variam entre 747,30 e 1.506,20 MJ ha⁻¹, e os custos com diesel entre 1612,1 e 1849,30 MJ ha⁻¹. Segundo resultados obtidos por Ulbanere e Ferreira (1989), Cavalett e Ortega (2010), Romanelli, Nardi e Saad (2012), ANDREA et al. (2014), o custo energético para as referidas culturas com depreciação de máquinas varia entre 75,80 e 200,00 MJ ha⁻¹, o custo com diesel varia entre 2102,30 e 2894,00 MJ ha⁻¹.

Os intervalos de custo energético supracitados englobam sistemas de produção, com diferentes composições de processos (aração, semeadura, adubação, transporte, etc.). Mesmo com essa variação, nota-se que os sistemas de produção do Brasil tendem a demandar menor energia na depreciação de máquinas e maior demanda por combustível. Essa diferença pode ser explicada pelas técnicas de cultivo utilizadas em cada país. Nos Estados Unidos é utilizado o sistema convencional ou reduzido de cultivo, que exigem maior quantidade de maquinário em relação à semeadura direta utilizada no Brasil. Outro processo que influencia na maior demanda de combustível no sistema de

produção nacional é o transporte de grãos. Segundo Correa e Ramos (2010), o transporte da safra brasileira concentra-se em rodovias, enquanto que nos Estados Unidos da América o transporte é realizado por malhas ferroviárias ou fluviais, resultando em menor consumo de combustível. Comparando resultados das operações agrícolas dos Estados Unidos da América e do Brasil, nota-se o maior custo energético com transporte no sistema de produção nacional, (Figura 50).

Figura 50 – Consumo de combustível médio das operações na cultura da soja e do milho.

*Adaptado de Stubbs (2013).

Na figura 50 não foi contabilizado o consumo com pulverização, pois dados sobre a referida operação não foram apresentados pela fonte. Nota-se que para o estado de Illinois, o consumo de diesel com transporte somente é inferior ao consumo da colheita e do preparo de solo. Enquanto que para o estado de Mato Grosso, o consumo de diesel no transporte é próximo ao total gasto com semeadura e colheita. Pelo exposto, confirma-se a importância do diesel no enfoque energético dos sistemas agrícolas de produção (DIAS DE OLIVEIRA; VAUGHAN; RYKIEL, 2013). Principalmente na cultura da soja, onde o diesel tem maior representatividade por requerer menor quantidade da aplicação de fertilizante nitrogenado (RATHKE et al., 2007).

4.10 Cenários

Para as operações estudadas, houve incremento do número de combinações, com a ampliação do tamanho da área. Nota-se que na operação de semeadura, em todas

as áreas, o número de combinações foi superior às demais, pois a CcO das máquinas para a operação de semeadura e diferenças entre elas, são inferiores em relação às das outras operações.

Ao analisar o comportamento do custo operacional em todas as operações, para as áreas simuladas, nota-se que com o incremento do tamanho da área, ocorreu uma redução do custo. Além da redução do custo operacional para áreas de maiores dimensões, em relação às menores, o incremento de área promoveu uma redução da diferença entre o custo operacional de cada combinação, para um mesmo tamanho de área, nas operações de semeadura (Figura 51), pulverização (Figura 52) e colheita (Figura 53).

Figura 51 – Combinações com os menores custos operacionais dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Semeadura. T = tempo de uso ao ano.

Figura 52 – Combinações com os menores custos operacionais dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Pulverização. T = tempo de uso ao ano.

Figura 53 – Combinações com os menores custos operacionais dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Colheita. T = tempo de uso ao ano.

Nota-se que para a área de 500 ha, nas operações de semeadura e colheita, as diferenças entre o menor e maior custo, foram de 22,10 e 94,80%, respectivamente. Fazendo a mesma comparação para as áreas de 4000 e 10000 ha, obtiveram-se diferenças de 1,30 e 0,20% na operação de semeadura e de 5,30 e 2,20% na operação de colheita. As referidas reduções supracitadas são justificadas pelo aumento do tamanho da área, que tem por consequência, o incremento do tempo de uso da maquinaria agrícola, que por sua vez propicia uma redução dos custos fixos horários das máquinas que compõe cada combinação. Na operação de pulverização, a diferença do custo operacional, nas cinco combinações com os menores custos financeiros entre as máquinas, é inferior as demais operações. Nota-se que mesmo a máquina com o maior custo de aquisição, em relação as demais máquinas, apresenta uma diferença de custo inferior a 8,00%, mesmo em uma condição de menor tempo de uso anual (área de 500 ha), essa diferença é justificada pela

superioridade da CcO.

Ainda nas Figuras 51, 52 e 53, percebe-se que o uso das máquinas com maior CcO, no que tange os custos operacionais, passa a ser uma melhor opção de uso, na medida que há incremento do tamanho das áreas. Dessa forma, assumindo o custo e a capacidade de campo operacional das máquinas avaliadas, há um indicativo de que, uma frota com máquinas de menor porte e em maior quantidade, tende a apresentar menor custo, em relação a uma frota com máquinas de grande porte em menor quantidade, até que se atinja um tempo de utilização da maquinaria agrícola, que minimize essa diferença, ou ainda, viabilize o uso de máquinas de grande porte.

Em relação ao custo energético das cinco melhores combinações, para as operações de semeadura, pulverização e colheita, as médias foram 598,6; 259,7 e 459,3 MJ ha⁻¹, respectivamente, (Figuras 54, 55 e 56).

Figura 54 – Combinações com as menores demandas de energia dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Semeadura. T = tempo de uso ao ano.

Figura 55 – Combinações com as menores demandas de energia dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Pulverização. T = tempo de uso ao ano.

Figura 56 – Combinações com as menores demandas de energia dos cenários simulados e seus respectivos tempos de execução para a operação de Colheita. T = tempo de uso ao ano.

Conforme apresentado nas Figuras 54, 55 e 56, a diferença entre os custos energéticos das combinações, para um mesmo tamanho de área, diminui com o aumento dessa última. Nas operações de semeadura, pulverização e colheita, as diferenças variam entre 0,50 e 5,50%, 0,10 e 168,20%, 1,51 e 6,80%, respectivamente. O incremento do uso das máquinas com maior CcO, proporciona a redução do custo energético operacional. Pois para o caso em questão, as máquinas de maior CcO, possuem consumo operacional de combustível inferior, quando comparadas a de menor CcO. Salienta-se que nessa simulação, o custo energético não depende do tempo de utilização das máquinas, pois foi contabilizado apenas o consumo de combustível.

Comparando os resultados de consumo energético (Figuras 54, 55 e 56) com os financeiros (Figuras 51, 52 e 53), nota-se que há combinações coincidentes, em cada tamanho de área simulado, que estão entre as cinco combinações mais econômicas, no que

tange o viés econômico e energético. Como exemplo, na operação de semeadura, é possível identificar a combinação 5, para a área de 4000 ha. As combinações tem desempenho diferente no que tange o custo operacional e energético, isso significa que, a combinação com o menor custo econômico não terá necessariamente, o menor custo energético. Usualmente, a tomada de decisão para compra de uma máquina é baseada no custo operacional. Sendo assim, quando os resultados econômicos das soluções apresentarem custos operacionais semelhantes, a demanda de energia pode ser usada como um fator adicional na tomada de decisão, (Figuras 57, 58 e 59).

Figura 57 – Combinações com os menores custos operacionais e suas respectivas demandas de energia para operação de Semeadura.

Figura 58 – Combinações com os menores custos operacionais e suas respectivas demandas de energia para operação de Pulverização.

Figura 59 – Combinações com os menores custos operacionais e suas respectivas demandas de energia para operação de Colheita.

Nos cenários simulados, os custos econômicos das combinações possuem diferença de até 22,10% entre as áreas de 500 e 4000 ha. Evidenciando assim, do ponto de vista econômico, a tomada de decisão para definir o conjunto a ser utilizado. Por outro lado, a partir de 6000 ha essa diferença não passa de 1,50%. De acordo com Cavalcanti (2012), o desenvolvimento sustentável (responsável), baseia-se na minimização do uso de matéria e energia, redução dos impactos (lançamento de dejetos) ambientais, maximização do bem-estar social, sem ameaça de retrocessos e eficiência máxima no uso dos recursos. Sendo assim, a tomada de decisão para as situações dos cenários produzidos, deve ser amparada na demanda de energia.

5 CONCLUSÃO

O método mais indicado para predição de combustível é o ASABE (2011a). Contudo, para situações que a relação entre potência requerida e máxima disponível na tomada de potência é superior a 0,50, os métodos propostos por Milan (1992) e ASAE (2003) também são indicados.

O modelo desenvolvido apresentou-se consistente para predição de demanda de potência, consumo de combustível e custos para as operações de semeadura, pulverização e colheita das culturas de soja e milho.

A utilização do índice financeiro auxilia a parametrização do custo das operações agrícolas em questão, pois demonstra com base em uma simulação, se o custo de uma determinada operação pertence a um intervalo de custo simulado, ou o quão distante está.

No cenário simulado envolvendo portes de máquinas e áreas distintas, não houve relação entre o custo operacional e demanda de energia para determinação dos conjuntos mais econômicos, demonstrando a importância de determinar ambos quando se busca a eficiência energética.

REFERÊNCIAS

ADAMCHUK, V.I.; GRISSO, R.; KOCHER, M.F. Spatial variability of field machinery use and efficiency. In: CLAY, D.E.; SHANAHAN, J.F. (Ed.). **GIS Applications in Agriculture**. Boca Raton: CRS Press, 2011. v. 2, p. 136–146.

AGROBANCO. **Custo lavoura de soja 2013**. Passo Fundo, 2013. 70 p.

AGROBYTE. **Quando custa para produzir**. [S.l.], 2014. Custo de produção da soja. Disponível em: <http://www.agrobyte.com.br/custo_de_producao.htm>. Acesso em: 10/02/2014.

ALENCAR, G.V.d.; MENDONÇA, E.d.S.; OLIVEIRA, T.S.d.; JUCKSCH, I.; CECON, P.R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na chapada da ibiapaba, ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Ceará, v. 51, p. 217–236, 2013.

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

ALVAREZ, V.H.; M., A. G. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 297–310, 2003.

ANDREA, M.; TIEPPO, R.; GIMENEZ, L.; POVH, F.; KATSMAN, T.; ROMANELLI, T. Energy demand in agricultural biomass production in parana state, brazil. **CIGR Journal**, Beijing, v. 1, p. 42–51, 2014.

ANP. **Boletim anual de preços 2013: preços do petróleo, gás natural e combustível nos mercados nacional e internacional**. Rio de Janeiro, 2013.

ASABE. Uniform terminology for agricultural machinery management: S495. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 2005, St. Joseph. **ASABE standards**. [S.l.]: ASABE, 2005. p. 341–343.

_____. Agricultural machinery management data: D497.7. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 2011, St. Joseph. **ASABE standards**. [S.l.]: ASABE, 2011a. p. 1–8.

_____. Agricultural machinery management: Ep496.3. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 2011, St. Joseph. **ASABE standards**. [S.l.]: ASABE, 2011b. p. 367–372.

ASAE. Agricultural machinery management data: D497.4. In: AMERICAN SOCIETY

OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 2003, St. Joseph. **ASAE standards**. [S.l.]: ASAE, 2003. p. 372–380.

AUBERT, B.A.; RIVARD, S.; PATRY, M. A transaction cost model of it outsourcing. **Information & Management**, Harrisburg, v. 41, n. 7, p. 921–932, 2004.

BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI, U.R.; BALASTREIRE, L.A.; CAIXETA FILHO, J.V. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 355–363, 2004.

BALASTREIRE, L.A. Determinação do ponto de renovação de frotas mecanizadas. **STAB Açúcar, Alcool e Produtos**, Piracicaba, v. 14, n. 2, p. 5, 1995.

BARBOSA, G.J.; COUTO, E.P. Evolução das políticas agrícolas e o incentivo à iniciativa privada na agricultura brasileira. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, XLVI., 2008, Rio Branco. **Proceedings**. Anais, 2008. p. 20. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/896.pdf>>. Acesso em: 12/04/2012.

BAUMHARDT, U.B.; ALONÇO, A.S.; BEDIN, P.R.; DIAS, V.O. Menu completo. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 1, n. 98, p. 3, 2010.

BIAGGIONI, M.A.M.; BOVOLenta, F.C. Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 587–599, 2010.

BORGES, I.O.; MACIEL, A.J.S.; MILAN, M. Programa computacional para o dimensionamento de colhedoras considerando a pontualidade na colheita de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 131–141, 2006.

BORTOLOTTTO, V.C.; NETO, R. P.; BORTOLOTTTO, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 122–130, 2006.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. Book. **Handbook of industrial energy analysis**. New York: Halsted Press, 1979. 422 p.

BRANDÃO, A.S.P.; REZENDE, G.C.d.; MARQUES, R.W.d.C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 10, p. 249–266, 2006.

BRASIL. **Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013**. Rio de Janeiro, 2014. 285 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 14/10/2014.

BUBLITZ, U. **Evolução do sistema de plantio direto no Paraná**. Curitiba, 2014.

Documento elaborado pela EMATER-PR e cedido a FEBRAPDP. Disponível em: <<http://febrapdp.org.br/download>>. Acesso em: 10/09/2014.

CASAO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em guaíra (pr) - resultados de avaliação. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 83, 2004.

CAVALCANTI, C. Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? uma abordagem ecológico-econômica. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, p. 35–50, 2012.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Emergy and fair trade assessment of soybean production and processing in brazil. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, Bingley, v. 18, n. 6, p. 657–668, 2007.

_____. Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 55–70, 2010.

CEPIK, C.T.C.; TREIN, C.R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 447–457, 2005.

CHIODEROLI, C.A.; SILVA, R.P.d.; NORONHA, R.H.d.F.; CASSIA, M.T.; SANTOS, E.P.d. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p. 112–121, 2012.

COLVIN, S.; MCCONNELL, K.; CATUS, B. “terms”: a computer model for field simulation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 2, p. 6, 1989.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Soja – Brasil**. Brasília,, 2014a. Série histórica 1976/77 a 2010/14. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 18/10/2014.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira: Milho 1^a e 2^a Safra – Brasil**. Brasília,, 2014b. Série histórica 1976/77 a 2010/14. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 18/10/2014.

CONFORTI, P.; GIAMPIETRO, M. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 65, n. 3, p. 231–243, 1997.

CORREA, V.H.C.; RAMOS, P. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do centro-oeste: situação e perspectivas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, p. 447–472, 2010.

CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.d. Sistemas de adubação e consórcio

de culturas intercalares e seus efeitos nas variáveis de colheita da cultura do milho.

Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, p. 277–287, 2009.

COSENTINO, R.M.A. **Modelo empírico de depreciação para tratores agrícolas de rodas**. 80 p. Tese (Mestrado em Agronomia) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

COSTA, A.A.V.M.R. Agricultura sustentável i: Conceitos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 33, p. 61–74, 2010.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527–535, 2003.

COUTO, R.F.; CUNHA, J.P.B.; REIS, E.F. Modelo de programação linear par seleção de diferentes formas de pulverização agrícola para cana-de-açúcar. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 6, p. 8, 2012.

CRAMER, G.L.; JENSEN, C.W.; SOUTHGATE, D.D. Book. **Agricultural economics and agribusiness**. 8th ed. New York: John Wiley, 2001. 519 p.

CRUZ, J.C.; ALVARENGA, R.C.; NOVOTNY, E.H.; FILHO, I.A. P.; SANTANA, D.P.; PEREIRA, F.T.F.; HERNAN, L.C. **Cultivo do milho**. Brasília,, 2006. Manejo de solos. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 18/09/2012.

CRUZ, T.V.; PEIXOTO, C.P.; MARTINS, M. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da bahia. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 10, 2010.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. Development and current status of no-till adoption in the world. In: TRIENNIAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 18., 2009, Izmir. **Proceedings**. [S.l.]: ISTRO, 2009. p. 13.

DIAS DE OLIVEIRA, M.; VAUGHAN, B.; RYKIEL, E. Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. **BioScience**, Washington, v. 55, n. 7, p. 593 – 602, 2013.

DOERING III, O.C. Accounting for energy farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 1, p. 6.

DURKOVIC, R.E.; DAMJANOVIC, M. Regression models of fuel specific consumption curve and characteristics of economic operation of internal combustion engines. **Mechanical Engineering**, New York, v. 4, n. 1, p. 10, 2006.

EDWARDS, W.; BOEHLJE, M. Machinery selection considering timeliness losses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 6, 1980.

EKMAN, S. Tillage system selection: a mathematical programming model incorporating weather variability. **J. Agr. Eng. Res.**, London, v. 77, n. 3, p. 267–276, 2000.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

EPAGRI. **Custo da mecanização agrícola - colheitadeira média**. [S.l.], 2013. 1 p. Disponível em: <http://cepa.epagri.sc.gov.br/agroindicadores/custos/custo13/Ago_13/colhetadeira.xls>. Acesso em: 10/12/2013.

FAEG. **Estimativa do custo de produção**. Rio Verde, 2013. Disponível em: <<http://sistemafaeg.com.br/custo-de-producao-soja>>. Acesso em: 17/02/2014.

FERNANDES, H.C.; SILVEIRA, J.C.M.d.; RINALDI, P.C.N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1582–1587, 2008.

FERREIRA FILHO, J.B.d.S.; FELIPE, F.I. Crescimento da produção agrícola e o consumo de tratores de rodas no Brasil entre 1996 - 2005. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, XLV., 2007, Londrina. **Anais**. SOBER, 2007. p. 1–7. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Sober_2007.pdf>. Acesso em: 20/02/2012.

FERREIRA, I.C.; SILVA, R.; LOPES, A.; FURLANI, C.E.A. Perdas quantitativas na colheita de soja em função da velocidade de deslocamento e regulagens no sistema de trilha. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 10, 2007.

FLORIT, L.F. **A reinvenção social do natural: natureza e agricultura no mundo contemporâneo**. 171 p. Tese (Doutorado em Sociologia) — UFRGS, Porto Alegre, 2002.

FNP. **Agrianual 2013 - Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, 2013. 358 p.

FRANCETTO, T.R.; DAGIOS, R.F.; PRADÉ, R.; RUSSINI, A. Avaliação da relação peso/potência de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (tda) conforme as suas respectivas classes de potência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2001, Cuiabá. **Anais**. [S.l.]: SBEA, 2011. p. 4.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P.d. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 458–464, 2005.

FURLANI, C.E.A.; PAVAN JÚNIOR, A.; LOPES, A.; SILVA, R.P.; GROTTA, D.C.;

CORTEZ, J.W. Desempenho operacional de semeadura-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 456–462, 2007.

FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.d.; FILHO, A. C.; CORTEZ, J.W.; GROTTA, D.C.C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 345–352, 2008.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LEITE, F.; ACOSTA, J.J.B.; JESUINO, P.R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 333–339, 2010.

GARCIA, B.P.; GRUNDLING, R.D.P.; LEITE, J.G.D.B.; BRANDÃO, F.S.; SILVA, T.N.d. O setor de máquinas agrícolas brasileiro e o comércio internacional. **Estudos do CEPE**, Santa Cruz, n. 27, p. 24, 2008.

GARCIA, H.M.D.; RIVERA, J.R.; SALAZAR, H.C. Tendencias de la mecanización agrícola en al estado de san luis potosí, méxico. **Interciencia**, Caracas, v. 26, n. 6, p. 1–8, 2002.

GRISSE, R.D.; VAUGHAN, D.H.; ROBERSON, G.T. Fuel prediction for specific tractor models. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 24, n. 4, 2008.

GROTTA, D.C.C.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.d.; LOPES, A.; REIS, G.N.d. Seeder-fertilizer machine: energetic demand as a function of vegetal covering handling and manure deposition shank depth in no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p. 241–248, 2009.

GROTTA, D.C.C.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.S.; CORTEZ, J.W. Cultura do milho em diferentes profundidades de deposição de adubo sobre duas culturas de cobertura. **Revista de biologia e ciências da terra**, João Pessoa, v. 6, n. 2, p. 7, 2006.

HARRIGAN, T.; BICKERT, W.; ROTZ, C. Simulation of dairy manure management and cropping systems. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 12, n. 5, p. 12, 1996.

HETZ, E.; BARRIOS, A.I. Costo energetico de las operaciones agricolas mecanizadas mas comunes en chile. **Agro sur**, Valdivia, v. 25, n. 2, p. 16, 1997.

HETZ, E.; GOLD, A.; REESE, L.E. Computer prediction of suitable workdays for mechanized winter wheat operations in chile. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa e Latin America**, Tokyo, v. 14, n. 3, p. 5, 1983.

HUNT, D. Book. **Farm Power and Machinery Management**. 10 ed. Long Grove,

IL: Iowa State University Press, 2001. 368 p.

IBGE. **Área Territorial Brasileira**. Rio de Janeiro, 2013. 15 p. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_territorial/areas_e_limites/areas.2013_xls.zip>. Acesso em: 18/06/2013.

IGATA, M.; HENDRIKSEN, A.; HEIJMAN, W.J.M. Agricultural outsourcing: A comparison between the netherlands and japan. **APSTRACT: Applied Studies in Agribusiness and Commerce**, Budapest, v. 2, p. 29–33, 2008.

IMEA. **Custo de Produção Soja**. Cuiabá, 2012a. Safra 12/13. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/2012_06_CPSoja.pdf>. Acesso em: 18/10/2012.

_____. **Custo da produção de milho**. Cuiabá, 2012b. Safra 12/13. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R410_2012_Milho.pdf>. Acesso em: 18/10/2012.

ISIK, A.; SABANCI, A. A computer model to select optimum sizes of farm machinery and power for mechanization planning. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 24, n. 3, p. 5, 1993.

JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, P.R.A.; SEKI, A.S.; BUENO, O.C. Análise energética da cultura do crambe (*crambe abyssinica hochst*) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 395–403, 2010.

KAKABADSE, N.; KAKABADSE, A. Critical review – outsourcing: a paradigm shift. **Journal of Management Development**, Bradford, v. 19, n. 8, p. 59, 2000.

KIM, S.C.; KIM, K.U.; KIM, D.C. Prediction of fuel consumption of agricultural tractors. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 27, n. 5, 2011.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, p. 97–104, 2000.

LACOUR, S.; BURGUN, C.; PERILHON, C.; DESCOMBES, G.; DOYEN, V. A model to assess tractor operational efficiency from bench test data. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 54, n. 0, p. 1–18, 2014.

LANDERS, J. How and why the brazilian zero tillage explosion occurred. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION IN COOPERATION WITH THE USDA AND PURDUE UNIVERSITY, 10., 2001, West Lafayette. **Sustaining the global farm: Proceedings**. ISCO, 2001. p. 29–39. Disponível em: <<http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb-old/isco99/pdf/ISCOdisc/SustainingTheGlobalFarm/P037-Landers.pdf>>. Acesso

em: 10/01/2013.

LAZARUS PROJECT. **Lazarus**. [S.l.], 1999. The professional Free Pascal RAD IDE. Disponível em: <<http://www.lazarus-ide.org>>. Acesso em: 12/06/2012.

LEGNARO, A. Terceirização - É necessário discutir novas formas de organização e gestão da mão-de-obra rural. **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, v. 7, n. 71, p. 9, 2008.

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; NETO, M.R. H.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em latossolo sob plantio direto no cerrado do piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 1273–1280, 2010.

LEONE, G.S. Book. **Custos: planejamento, implantação e controle**. São Paulo: Atlas, 1991. 512 p.

LOPES, A.; LANÇAS, K.P.; FURLANI, C.E.A.; NAGAOKA, A.K.; NETO, P. C.; GROTTA, D.C.C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, p. 382–386, 2003.

LOPES, J.D.S.; MANTOVANI, E.V.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M. Desenvolvimento de um programa computacional para selecionar economicamente um sistema de mecanização agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 6, 1995.

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Demanda energética de semeadora-adubadora de plantio direto em função de elementos de corte, velocidade e tipo de solo. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 22, 2007.

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, A.R.B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, p. 150–157, 2004.

MANTOAM, E.J.; MILAN, M.; GIMENEZ, L.M.; ROMANELLI, T.L. Embodied energy of sugarcane harvesters. **Biosystems Engineering**, London, v. 118, n. 0, p. 156–166, 2014.

MARSHALL, H.E. Sensitivity analysis. In: DORF, R.C. (Ed.). **Technology management handbook**. Boca Raton: CRC Press, 2009. p. 59–63.

MATA, J.; SILVA, R.R.; CHAGAS, J.; FREITAS, G.; FARIAS, V. Produção, decomposição e meia-vida da palhada de coquetéis de gramíneas sob diferentes níveis de adubação para sistema de plantio direto no cerrado. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 96–115, 2011.

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, p. 493–501, 2006.

MAZETTO, F.R.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos desempenhos operacional e energético de colhedoras na cultura da soja. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 13, 2009.

MELLO, A.J.R. **Produtividade e perdas na colheita de dois cultivares híbridos de milho em função da velocidade de semeadura**. Tese (Mestrado em Energia na Agricultura) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2006.

MELO, H.M.d.M.; NAGAOKA, A.K.; VIEIRA, F.C. Influência do crédito agrícola e das novas tendências tecnológicas na comercialização de tratores de rodas no Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 11, n. 1, 2012.

MERCANTE, E.; SILVA, S.d.L.; MODOLO, A.J.; SILVEIRA, J.C.M.d. Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 424–428, 2005.

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

MIKKOLA, H.J.; AHOKAS, J. Indirect energy input of agricultural machinery in bioenergy production. **Renewable Energy**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 23–28, 2010.

MILAN, M. **Improving operational management of harvest, transport and mechanization for sugar cane in Brazil**. Tese (PhD in Agricultural Engineering) — Cranfield Institute of Technology, Cranfield, 1992.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 100 p. Tese (Livre-Docência) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MODOLO, A.J.; SILVA, S.L.; SILVEIRA, J.C.M.; MERCANTE, E. Avaliação de duas semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, 2004.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 46.

MOLIN, J.P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M.G.T.; CASTRO, C.N.d.; GIMENEZ, L.M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 759–767, 2006.

MOLINA JR., W.F.; CANALE, A. Depreciação do trator agrícola no brasil: valor corrente de mercado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 1, p. 7, 1998.

MOURAD, A.L.; ARNALDO, W. The energy balance of soybean biodiesel in brazil: a case study. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v. 5, n. 2, p. 185–197, 2011.

NAVARRO, A.L. La externalizacion del trabajo agrario y las empresas de servicios a la agricultura. **Economia Agraria y Recursos Naturales**, Madri, v. 2, n. 1, p. 23, 2002.

NORONHA, J.F. Book. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica**. São Paulo: Atlas, 1981. 274 p.

NOVAIS, R.; ROMERO, E.A. Economical return us a function of the outsourcing services at the farm level. **Custos e Agronegócio**, Recife, v. 5, n. 2, p. 133–146, 2009.

OECD. **OECD standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. Paris, 2012. Code 2: Testing of Tractor Performance.

OLIVEIRA, G.C.; JUNIOR, M.S. D.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 327–336, 2004.

OLIVEIRA, M.D.M. **Custo operacional e ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota**. 150 p. Tese (Mestrado em Agronomia) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, M.D.M.; MILAN, M. Ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota. **Revista Economia Agrícola**, São Paulo, v. 48, n. 1, p. 17, 2001.

PASQUAL, C.A.; PEDROZO, E.A. Características do negócio no setor de máquinas agrícolas. **RAE eletrônica**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 22, 2007.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, New York, v. 14, n. 1, p. 65–76, 2005.

PRADHAN, H.; SHRESTHA, D.S.; GERPEN, J.V.; DUFFIED, J.A. The energy balance of soybean oil biodiesel production: a review of past studies. **Transactions of ASABE**, St. Joseph, v. 51, n. 1, p. 10, 2008.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2012. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10/05/2012.

RASHID, M.; RANJBAR, I. Modeling of repair and maintenance costs of john deere 4955 tractors in iran. **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci**, Deira, v. 9, n. 6, p. 5, 2010.

RATHKE, G.W.; WIENHOLD, B.J.; WILHELM, W.W.; DIEPENBROCK, W. Tillage and rotation effect on corn-soybean energy balances in eastern nebraska. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 60–70, 2007.

RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2012/13 em Mato Grosso do Sul**. Dourados, 2012. Safra 12/13. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/929100>>. Acesso em: 18/10/2012.

RODRIGUES, R. Agricultura e agronomia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 15, p. 289–302, 2001.

ROHANI, A.; ABBASPOUR-FARD, M.H.; ABDOLAHPOUR, S. Prediction of tractor repair and maintenance costs using artificial neural network. **Expert Systems with Applications**, New Yourk, v. 38, n. 7, p. 8999–9007, 2011.

ROMANELLI, T.L.; MILAN, M. Material flow determination through agricultural machinery management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p. 375–383, 2010.

_____. Machinery management as an a environmental tool - material embodiment in agriculture. **CIGR Journal**, Beijing, v. 14, n. 1, p. 11, 2012.

ROMANELLI, T.L.; NARDI, H.d.S.; SAAD, F.A. Material embodiment and energy flows as efficiency indicators of soybean (glycine max) production in brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 261–270, 2012.

SANTOS, A.P.; VOLPATO, C.E.S.; TOURINO, M.C.C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 540–546, 2008.

SANTOS, J.Q.d. Agricultura biológica e fertilização. **Revista de Ciências Agrárias**, Lavras, v. 35, p. 49–58, 2012.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, 2011.

SCHLOSSER, J.F.; DEBIASI, H.; WILLES, J.A.; MACHADO, O.D.d.C. Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, v. 35, p. 92–97, 2005.

SHINNERS, K.J.; BOETTCHER, G.C.; HOFFMAN, D.S.; MUNK, J.T.; MUCK, R.E.;

WEIMER, P.J. Single-pass harvest of corn grain and stover: Performance of three harvester configurations. **Transactions of the Asabe**, St. Joseph, v. 52, n. 1, p. 51–60, 2009.

SILVEIRA, G.M.d.; YANAI, K.; KURACHI, S.A.H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 220–224, 2006.

SILVEIRA, J.C.M. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora em função da velocidade e rotação no eixo motor**. 118 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVEIRA, J.C.M.d.; FERNANDES, H.C.; MODOLO, A.J.; SILVA, S.d.L.; TROGELLO, E. Profundidade de sulco, área de solo mobilizada e força de tração de uma semeadora-adubadora em razão da velocidade de deslocamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, p. 293–298, 2011.

_____. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, p. 44–52, 2013.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F.; ALVES, J.; SILVA, J.G. da. Effects of soil tillage and crop rotation systems on bulk density and soil porosity of a dystrophic red latosol. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53–U1, 2008.

SIMÕES, D.; SILVA, M.R.; FENNER, P.T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 9, 2011.

SIMÕES, D.; SILVA, M.R.d. Desempenho operacional e custos de um trator na irrigação pós-plantio de eucalipto em campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, p. 164–170, 2012.

SINGH, D.; HOLTMAN, J. An heuristic agricultural field machinery selection algorithm for multicrop farms. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 4, p. 8, 1979.

SOGAARD, H.T.; SORENSEN, C.G. A model for optimal selection of machinery sizes within the farm machinery system. **Biosystems Engineering**, London, v. 1, n. 89, p. 13–28, 2004.

SORENSEN, C. Workability and machinery sizing for combine harvesting. **CIGR E-Journal**, Beijing, v. 5, p. 19, 2003.

SORENSEN, C.G.; PESONEN, L.; FOUNTAS, S.; SUOMI, P.; BOCHTIS, D.; BILDSØE, P.; PEDERSEN, S.M. A user-centric approach for information modelling in arable farming. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 73, n. 1,

p. 44–55, 2010.

SPAGNOLO, R.T.; VOLPATO, C.E.S.; BARBOSA, J.A.; PALMA, M.A.; BARROS, M.M. Consumo de combustível em um trator em função do desgaste, da lastragem e pressão de inflação dos pneus. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 131–139, 2012.

STUBBS, B.J. **Energy usage of agricultural machinery for corn and soybean production in Brazil, India, USA and Zambia**. 85 p. Tese (Master Agricultural and Applied Economics) — University of Illinois, Urbana, 2013.

TABATABAEFAR, A.; EMAMZADEH, H.; VARNAMKHAHI, M.G.; RAHIMZADEH, R.; KARIMI, M. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. **Energy**, Oxford, v. 34, n. 1, p. 41–45, 2009.

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

ULBANERE, R.C.; FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para a produção de milho no estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 4, p. 8, 1989.

USDA. **Grain:World Markets and Trade**. Washington,, 2012. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 14/09/2014.

VALENÇA, M.C.d.A.; BARBOSA, A.C.Q. A terceirização e seus impactos: um estudo em grandes organizações de Minas Gerais. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 6, p. 163–185, 2002.

WICKHAM, H. **ggplot2 elegant graphics for data analysis**. New York, 2009. 213 p.

WITNEY, B. Book. **Choosing and using farm machinery**. Edinburgh: Land Technology, 1988. 412 p.

ZIMMERMANN, F.J.P. Book. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 1 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão, 2004. 402 p.

ZUCATTO, L.; FERASSO, M.; EVANGELISTA, M. A importância das exportações para o desenvolvimento local da fronteira noroeste do Rio Grande do Sul e do extremo-oeste de Santa Catarina. **Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 97–111, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Dados sobre as máquinas da propriedade

Máquina Autopropelida					Máquina acionada							
Descrição	VC* (R\$)	VS** (R\$)	CC*** (L h ⁻¹)	RM (R\$)	Tempo (h ano ⁻¹)	Descrição	VC* (R\$)	VS** (R\$)	RM (R\$)	Tempo (h ano ⁻¹)	CCO (ha h ⁻¹)	
Operação de semeadura direta												
A	Trator JD_6600	237.142,86	83.000,00	20,00	13.096,69	630,00	Semadora PSMC/12	77.000,00	35.000,00	23.649,28	333,21	3,90
B	Trator JD_7500	248.717,95	97.000,00	25,00	19.769,17	710,00		77.000,00	35.000,00	23.649,28	333,21	3,90
C	Trator MF650	147.058,82	75.000,00	20,00	14.434,35	660,00		77.000,00	35.000,00	23.649,28	333,21	3,90
Operação de pulverização												
A	Unip 2000_A1	336.000,00	117.600,00	25,00	46.564,53	280,00	N.D.	N.D.	N.D.	280,00	27,60	
B	JD 4700_A4	428.571,43	150.000,00	25,00	73.821,71	210,00	N.D.	N.D.	N.D.	210,00	27,60	
C	Sta Imp_A07	534.090,91	186.931,82	29,00	31.900,38	228,00	N.D.	N.D.	N.D.	228,00	38,40	
Operação de colheita												
A	JD 1175	225.000,00	90.000,00	28,00	27.283,63	360,00	N.D.	N.D.	N.D.	360,00	2,21	
B	STS 9750	602.941,18	211.029,41	43,00	24.337,48	310,00	N.D.	N.D.	N.D.	310,00	5,54	
C	STS 9670	758.823,53	265.588,24	45,00	11.468,63	320,00	N.D.	N.D.	N.D.	320,00	5,54	

VC = valor de compra; VS = valor de sucata; RM = custo anual (safra12/13) reparo e manutenção; HA = Horas trabalhadas ao ano; ** Pesquisa de preço; *** Informações da fazenda; ND = não disponível.

Fonte	Legenda	Descrição	Descrição	CcO (ha h ⁻¹)
FNPP(2013)	D	N.D.	N.D.	5,00
FNPP(2013)	D'	Trator MF297/4	PST2/12-Marchesan	3,90
AGROBANCO(2013)	E	N.D.	N.D.	N.D.
AGROBYTE(2014)	F	N.D.	Semeadora 8 linhas	1,52
FAEG(2013)	G	Trator 120 cv	Semeadora9 linhas	2,00
IMEA(2012a)	H	N.D.	N.D.	N.D.
Richetti(2012)	I	N.D.	N.D.	2,50
FNPP(2013)	D	Autopropelido	N.D.	4,17
AGROBANCO(2013)	E	N.D.	N.D.	-
FAEG(2013)	G	Trator	2000 L	2,50
IMEA(2012a)	H	N.D.	N.D.	-
Richetti(2012)	I	N.D.	N.D.	5,00
FNPP(2013)	D	240_cv	N.D.	2,00
AGROBANCO(2013)	E	N.D.	N.D.	-
FAEG(2013)	G	N.D.	N.D.	1,00
IMEA(2012a)	H	N.D.	N.D.	-
Richetti(2012)	I	N.D.	N.D.	2,00

APÊNDICE C - Máquinas utilizadas na simulação de cenários do item 3.3, para a fração de número de conjuntos viável para terceirização..

Operação	Máquina	Modelo	Pot. (kW)	VC (R\$)	CC (L h ⁻¹)	Máquina	Modelo	VC (R\$)	V (kmh ⁻¹)	L (m)	EO (%)	CcO (ha h ⁻¹)
S	Trator	MF-6300	125,00	166.000,00	34,70	Semead.- Adub.	PST DUO	104.760,00	7,5	5,40	65,00	2,63
P	Trator	6125E	89,00	116.000,00	16,91	Pulv.	Adv 2000	128.950,00	10,50	18,00	65,00	12,29
	Pulverizador AP	Parruda 3027	136,00	430.000,00	25,84	N.D.	N.D.	N.D.	18,00	27,00	65,00	31,59
C	Colhedora AP	TC5090	177,00	382.000,00	34,50	N.D.	N.D.	N.D.	7,70	6,27	70,00	3,38

S= Semeadura; P = Pulverização; C = Colheita; VC = valor de compra; CC = consumo de combustível; V = velocidade de deslocamento; L = largura de trabalho; EO = eficiência operacional; CcP = capacidade de campo operacional; ND = não disponível

APÊNDICE D - Características das máquinas utilizadas na análise de sensibilidade

Máquina	Modelo	Pot. (kW)	VU (ano)	VC (R\$)	CC (L h ⁻¹)	Máquina	Modelo	VU (ano)	VC (R\$)	V (km h ⁻¹)	L (m)	EO (%)	CcO (ha h ⁻¹)
Trator	MF-6300	125,00	10	166.000,00	34,70	Semead. Adub.	PST DUO	5	104.760	7,5	5,4	70,0	2,84
Trator	6125E	89,00	10	116.000,00	16,91	Pulverizador	Adv 2000 Vortex	5	128.950,00	10,00	18	65	11,70
Pulverizador AP	Unipor 2500r	96,00	10	408.000,00	18,24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18	24	65	28,08
Distribuidor Fert.	Hercules 5.0	132,30	10	420.000,00	25,14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18	27	70	34,02
Colhedora AP	TC5090	177,00	10	382.000,00	34,50	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7,7	6,27	70	3,38

S= Semeadura; P = Pulverização; C = Colheita; VU = vida útil; VC = valor de compra; CC = consumo de combustível; V = velocidade de deslocamento; L = largura de trabalho; EO = eficiência operacional; CcO = capacidade de campo operacional, ND = não disponível.

APÊNDICE E - Cenário com diferentes portes de máquina

Oper.	Máquina	Modelo	Pot. (kW)	VC (R\$)	CC (L h ⁻¹)	Máquina	Modelo	VC (R\$)	V (kmh ⁻¹)	L (m)	EO (%)	CcO (ha h ⁻¹)
S	Trator	6125E	89,00	116.000,00	23,60	Semead.- Adub.	PST DUO	69.840,00	7,50	3,60	65,00	1,76
	Trator	MF-6300	125,00	166.000,00	34,70	Semead.- Adub.	PST DUO	104.760,00	7,5	5,40	65,00	2,63
	Trator	MX Mag- num 220	162,00	260.000,00	47,40	Semead.- Adub.	PST TRIO	148.410,00	7,5	7,65	65,00	3,73
P	Trator	6125E	89,00	116.000,00	16,91	Pulv.	Adv 2000	128.950,00	10,50	18,00	65,00	12,29
	Pulverizador AP	Unipor 2500 star	96,00	408.000,00	18,24	N.D.	N.D.	N.D.	18,00	24,00	65,00	28,08
	Pulverizador AP	Parruda 3027	136,00	430.000,00	25,84	N.D.	N.D.	N.D.	18,00	27,00	65,00	31,59
C	Colhedora AP	TC5070	132,00	290.000,00	26,29	N.D.	N.D.	N.D.	6,50	5,61	70,00	2,55
	Colhedora AP	TC5090	177,00	382.000,00	34,50	N.D.	N.D.	N.D.	7,70	6,27	70,00	3,38
	Colhedora AP	9790	261,00	706.000,00	52,20	N.D.	N.D.	N.D.	8,50	9,10	70,00	5,41

S= Semeadura; P = Pulverização; C = Colheita; VC = valor de compra; CC = consumo de combustível; V = velocidade de deslocamento; L = largura de trabalho; EO = eficiência operacional; CcP = capacidade de campo operacional; ND = não disponível

APÊNDICE F - Fluxo de material das operações mecanizadas

Cultura	Máquina	NO	Massa (Mg)	CC (L h ⁻¹)	VU (h)	Máquina	Massa (Mg)	VU (h)	CcO (ha h ⁻¹)	D (MJ ha ⁻¹)	Diesel (MJ ha ⁻¹)	Total (MJ ha ⁻¹)
Soja	Trator	1	5,33	22,00	12.000	Semeadora	6,00	1.500	3,90	16,60	219,80	236,40
	Pulv. AP	6	10,40	26,00	3.000	ND	ND	ND	31,20	9,70	194,90	204,60
	Colhedora	1	23,38	38,00	3.000	ND	ND	ND	4,40	25,70	334,40	360,10
	Total	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	52,00	749,10	801,20
Milho	Trator	1	5,33	22,00	12.000	Semeadora	6,00	1.500	3,90	16,60	219,80	236,40
	Distrib.	1	8,10	25,10	3.000	ND	ND	ND	34,00	1,20	28,80	29,90
	AP											
	Pulv. AP	2	10,40	26,00	3.000	ND	ND	ND	31,20	3,20	65,00	68,20
Colhedora		1	23,38	32,00	3.000	ND	ND	ND	2,40	48,40	530,80	579,20
	Total	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	69,50	844,40	913,80

NO = número de operações, AP = autopropeido, VU = vida útil.

ANEXOS

ANEXO A - Máquinas utilizadas para validação dos custos e suas respectivas características.

Máquina	Legenda	Marca	Modelo	Potência (kW)	Preço Ta- bela (R\$)
Tratores	A	New Holland	TL95E	72,00	116.000,00
	B	Valtra	BH 180	132,00	170.000,00
	C	Case	MX MAGNUM 220	162,00	260.000,00
Semeadora	A	Marchesan	PST2-8	-	50.855,00
Adubadora	B	Marchesan	PST2-10	-	61.650,00
	C	Marchesan	PST2-12	-	78.296,00
Pulveizador	A	Jacto	Coral 2000 L	-	30.741,00
Arrasto	B	Jacto	Columbia 2000 L	-	71.140,00
	C	Jacto	Advance Vortex 2000 L	-	128.950,00
Pulverizador	A	Jacto	Uniport 2000 L	96,00	336.000,00
Autopropelido	B	Montana	Parruda 3027	136,00	430.000,00
	C	Jacto	Uniport 3000 L	172,00	573.000,00
Colhedora	A	New Holland	TC57	125,00	190.000,00
	B	New Holland	TC5090	177,00	382.000,00
	C	Massey Ferguson	MF9790	261,00	706.000,00

Fonte (FNP, 2013).

ANEXO B - Banco de dados de semadoras

Marca	Modelo	Número de linha linhas	Espaçamento (m)	Potência para acionamento (kW)
John Deere	2126	26	0,45	147,10
John Deere	DB850	32	0,45	191,23
John Deere	DB874	48	0,45	246,39
Jumil	08_08	8	0,45	55,16
Jumil	10_10	10	0,45	58,84
Jumil	12_12	12	0,45	66,19
Jumil	13_13	13	0,45	73,55
Jumil	15_15	15	0,45	88,26
Jumil	18_18	18	0,45	102,97
New Holland	Sol_Tower_17_seed	17	0,45	110,32
New Holland	SOL_TT_28	28	0,45	198,58
New Holland	SOL_TT_30	32	0,45	220,65
New Holland	SOL_TT_32	36	0,45	246,39
Semeato	SolTT34	34	0,45	220,65
Semeato	SolTT34	34	0,45	220,65
Stara	Absoluta_35	35	0,45	205,94
Stara	Absoluta_33	33	0,45	194,17
Stara	Absoluta_31	31	0,45	182,40
Stara	Absoluta_29	29	0,45	170,63
Stara	Absoluta_27	27	0,45	158,87
Vence_Tudo	Macanuda28000	28	0,45	144,16
Vence_Tudo	Macanuda30000	30	0,45	154,45
Vence_Tudo	Macanuda36000	36	0,45	191,23