Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Avaliação econômica e energética da colheita de forragem para alimentação suplementar bovina

Carlos Amaury Zanelli de Souza

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba
2012

Carlos Amaury Zanelli de Souza
Engenheiro Agrônomo

Avaliação econômica e energética da colheita de forragem para alimentação suplementar bovina

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba
2012

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

Souza, Carlos Amaury Zanelli de
Avaliação econômica e energética da colheita de forragem para alimentação suplementar bovina / Carlos Amaury Zanelli de Souza.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.
78 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Balanço de energia 2. Cana-de-açúcar 3. Custo econômico 4. Milho 5. Mecanização agrícola 6. Silagem 7. Suplementos alimentares para animais I. Título

CDD 631.35
S729a

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

À
Meus pais
Carlos Ferreira de Souza e
Maria Cristina Zanelli de Souza,
Pela formação de caráter, pelos ensinamentos,
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

A Minha família, pelo apoio incondicional e por me guiarem sempre pelo melhor caminho.

A minha companheira, amiga e namorada **Nayara Tavares Ferreira** por estar ao meu lado durante a realização desse curso.

A **Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"** da Universidade de São Paulo, através do Programa de Pós-Graduação em Máquinas Agrícolas, pela oportunidade de realização desse curso de Mestrado.

Ao amigo e orientador **Prof. Dr. Thiago Libório Romanelli**, pela orientação, confiança e prontidão.

A **CAPES**, pela bolsa concedida, que permitiu o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Máquinas Agrícolas, **Marcos Milan, José Paulo Molin, Tomaz Caetano Cannavan Ripoli e Walter Francisco Molina Júnior** pela convivência e conhecimento adquirido.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, na pessoa da Sra. **Davilmar Aparecida Domingues Collevatti, Ângela Márcia Derigi Silva, Francisco de Oliveira, Juarez Renó do Amaral, Áureo Santana de Oliveira e Luiz Afonso da Costa,** pela agradável convivência.

Aos colegas de curso: **André Fernando Ferreira, Carla Andréia Germano**, **Edmilson José Mantoan**, **Flávio Luiz dos Santos Teixeira**, **Luciano Libório Romanelli**, **Eloy Hungaro Karam**, **Nelson C. Franco Júnior, Cilene de Oliveira**, **Raniére Rodrigues Vieira**, **Evandro Chaves dos Santos**, **Milton Pyles de Oliveira**, **Franz Arthur Pavlu** e **Antonio Morelli Arruda Junior**, pela agradável convivência, respeito e amizade.

Ao **Banco Original do Agronegócio** pela confiança.

A **Fundação ABC** e todos seus funcionários.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO 9

ABSTRACT 11

LISTA DE FIGURAS 13

LISTA DE TABELAS 15

1 INTRODUÇÃO 17

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21

2.1 Cálculo do custo da colheita de forragens 24

2.2 Demanda energética para colheita de forragens 26

2.3 Alimentação Suplementar 31

2.4 Milho 32

2.5 Cana-de-açúcar 33

3 MATERIAL E MÉTODOS 35

3.1 Caracterização dos conjuntos motomecanizados avaliados 36

3.2 Estimativa do custo da colheita 41

3.3 Estimativa da demanda energética 46

3.4 Análise de sensibilidade 48

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 49

4.1 Custo da colheita de forragens 51

4.2 Demanda energética para colheita de forragens 60

5 CONCLUSÕES 65

REFERÊNCIAS 67

RESUMO

Avaliação econômica e energética da colheita de forragem para alimentação suplementar bovina

O Brasil possui atualmente o maior rebanho comercial bovino do mundo com aproximadamente 205 milhões de animais, o setor apresenta grande importância econômica no Brasil, representando 6,73% do PIB, além da sua importância nas exportações e na geração de empregos. Entretanto, uma das dificuldades enfrentadas são a sazonalidade das forrageiras, devido à fenologia das plantas e as condições de clima no decorrer do ano, a produção de forragens nas áreas de pastagens é estacional, tal fato leva a necessidade de se conservar alimento para suprir a demanda do rebanho. A silagem é uma das alternativas na conservação de forrageiras e sua qualidade depende, entre outros fatores, do processo de colheita, onde eficiência e agilidade são proporcionadas pela mecanização. Nesse aspecto, o planejamento e conhecimento do sistema de colheita das culturas destinadas à silagem ou fornecimento *in natura* tornam-se indispensável para o sistema de pecuária bovina. Esta busca por menores custos e obtenção de melhorias ao sistema produtivo, pode ser alcançada pela de gestão e à administração empresarial. A avaliação no âmbito econômico e energética se torna importante, para o sucesso da atividade. Devido aos altos custos dos sistemas produtivos agrícolas, as operações mecanizadas representam um ponto estratégico para o desenvolvimento de técnicas de otimização econômica e redução do gasto energético. O presente estudo foi conduzido nos municípios de Piracicaba-SP e Castro-PR em áreas de produção de milho e cana-de-açúcar, com o objetivo de: avaliar o desempenho econômico e energético de quatro conjuntos mecanizados; o primeiro conjunto mecanizado avaliado foi um trator com potência de 55,2 kW e uma colhedora de forragens de arrasto com capacidade de colher uma fileira, o segundo avaliou um trator com potência de 62,5 kW e uma colhedora com capacidade de colher duas fileiras, o terceiro cenário foi avaliado uma colhedora autopropelida com potência de 334,6 kW e plataforma com 6 metros de comprimento o quarto conjunto avaliado para a colheita de cana-de-açúcar e utilizou-se um trator com potência de 91,4 kW e uma colhedora com capacidade de colher 1 fileira da cultura. Calcularam-se parâmetros de ordem econômica como; o custo horário, operacional e o custo de biomassa colhida, assim como determinaram-se a demanda energética para a colheita dessas forrageiras. Em relação à composição do custo para as máquinas tracionadas, o combustível foi o componente com maior participação, seguido pela mão-de-obra, já para a máquina autopropelida houve uma inversão, pois a depreciação foi o maior componente do custo horário. O custo da tonelada de biomassa colhida pela colhedora autopropelida apresentou menor custo em relação a todas as outras. O componente com maior participação na demanda energética, para os quatro conjuntos mecânicos avaliados foram em ordem; combustível seguido pela depreciação e mão de obra.

Palavras-chave: Mecanização; Silagem; Milho; Cana-de-açúcar; Custo; Balanço energético

ABSTRACT

Economic and energy evaluation of forage harvesting for cattle supplentary feeding

Brazil has currently the largest commercial cattle herd in the world with approximately 205 million animals. This sector has great economic importance in Brazil, representing 6.73% of GDP, besides its importance in exports and job creation. However, the forage presents seasonal behavior due to its phenology and climate conditions, during the year. Thus, its production in pasturelands is concentrated in the rainy period, and this fact leads to the necessity of forage conservation in order to supply the herd consumption demand. Silage is an alternative for the forage preservation and its quality depends, among other factors, on the harvesting process, for which field efficiency and work speed are provided by mechanization. So, planning and knowing about harvesting system either for silage or for supplying it *in natura* are essential for meat production. The search for lower costs and for improvements in the production system can be fulfilled through management. The assessment in the economic and energy terms becomes important for the success of the activity, due to the high costs of agricultural production systems; mechanized operations, representing a strategic point for adopting optimization techniques to reduce the economic and energy expenditure. This study was conducted in areas of maize and sugarcane, in order to: assess the economic and energy performance of four mechanized sets, the first mechanized set was assessed 1) tractor with power of 55.2 kW and a forage harvester trawl ability to harvest a row, 2) tractor with a rated power of 62.5 kW and a harvester capable of harvesting two rows, 3) self-harvester propelled with an output of 334.6 kW and platform with 6 feet long rated,and 4) tractor with a power of 91.4 kW and a harvester for one row of sugarcane. Economical parameters such as: the hourly and operational costs and cost of biomass harvested; besides the energy demand for harvesting forage. Regarding the composition of the cost of the tensile machine, fuel is the component with higher contribution, followed by maintenance, except for self-propelled machine, which presented depreciation as the main cost component. The cost per harvested biomass of self-propelled harvester was lowest one. For energy demand, the main demanding items were fuel, depreciation and labor, for all evaluated sets.

Keywords: Mechanization; Silage; Maize; Sugarcane; Cost; Energy balance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do sistema de produção de alimentação suplementar. 35
Figura 2 – Fotos das máquinas avaliadas.. 37
Figura 3 – Composição do custo horário para colhedora tracionada de forragem de uma fileira de milho. 57
Figura 4 – Composição do custo horário para colhedora tracionada de forragem de duas fileiras de milho. 58
Figura 5 – composiçao do custo horário para colhedora autopropelida de forragem de milho. 58
Figura 6 – Composição do custo horário para colhedora tracionada de forragem de uma fileira de cana-de-açúcar.. 59
Figura 7 – Análise de sensibilidade para os conjuntos motomecanizados avaliados 59
Figura 8 – Análise de sensibilidade da demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas. 37
Tabela 2 – Valor de aquisição das máquinas motoras e colhedoras 38
Tabela 3 – Parâmetros utilizados para o cálculo da capacidade de campo teórica. 40
Tabela 4 – Fatores de reparo e manutenção 44
Tabela 5 – Características técnicas das colhedoras avaliadas. 49
Tabela 6 – Produção de biomassa e matéria seca 50
Tabela 7 – Horas trabalhadas dia e consumo de combustível. 50
Tabela 8 – Parâmetros operacionais das colhedoras de forragens 50
Tabela 9 – Custos de colheita 52
Tabela 10 – Composição do custo horário para os conjuntos motomecanizados avaliados 53
Tabela 11 – Composição do custo operacional para os conjuntos motomecanizados avaliados 54
Tabela 12 – Composição do custo por massa de forrageira colhida para os conjuntos motomecanizados avaliados 55
Tabela 13 – Participação dos componentes no custo para os conjuntos motomecanizados avaliados 56
Tabela 14 – Demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados 60
Tabela 15 – Demanda energética por massa de forrageira colhida para os conjuntos motomecanizados avaliadas. 61
Tabela 16 – Demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados 62
Tabela 17 – Composição da demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados 62

1 INTRODUÇÃO

Em 2050, a população mundial deve atingir nove bilhões de habitantes representando um crescimento de 2,3 bilhões de pessoas, desde 2009. Esse aumento populacional resultará em uma maior demanda na produção de alimentos, sendo que a oferta mundial de carnes deverá ser elevada de 200 milhões de toneladas, em 2009, para 470 milhões de toneladas, em 2050 (FAO, 2009). As projeções de aumento na produção de carne bovina no Brasil indicam que o setor deve incrementar nos próximos anos, um crescimento da produção e o consumo de carne bovina de 2,15% e 1,94% ao ano, respectivamente, até o ano de 2020 (BRASIL, 2010). O rebanho bovino brasileiro possui aproximadamente 205 milhões de animais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE, 2009). Segundo FNP (2011), a terminação[1] de bovinos para corte no Brasil, ainda é predominantemente realizada em pastagens. Aproximadamente três milhões dos 42 milhões de animais abatidos anualmente são terminados em confinamento. Entre 1996 a 2006, houve uma redução nas áreas de pastagens do país, de 177,7 para 158,7 milhões de hectares. Essa redução de área disponibilizam terras para outras atividades e diminui a pressão para novos desmatamentos e consequentemente, reduzem-se as emissões de gases do efeito estufa (GEE) provenientes da atividade pecuária (FAO, 2006). Segundo a Associação Nacional dos Confinadores - ASSOCON (2012) o Brasil ocupa o posto de segundo maior confinador do mundo com cerca de 3 milhões de animais confinados, atrás apenas dos EUA, a mesma instituição estimativa crescimento de 15% no número de animais confinados para 2012.

O Brasil possui alto potencial para a produção de carne bovina, em razão de sua extensão territorial e disponibilidade de pastagens, tais características conferiram ao nosso país a segunda posição mundial na produção de carne e desde 2005 a primeira na exportação de carne bovina (ESTADOS UNIDOS, 2009).

Devido à fenologia das forrageiras tropicais e das condições de clima no decorrer do ano, a produção de forragens nas áreas de pastagens é estacional, o que resulta na sazonalidade da produção animal (SANTOS et al., 2009a). Carvalho Júnior et al. (2009) citam que devido a essa sazonalidade da produção das forrageiras, ocorre maior demanda de fornecimento de outros alimentos, a fim de contrabalancear a deficiência das pastagens, já que

[1] Terminação - Fase final de engorda dos animais.

as necessidades alimentares dos animais apresentam-se praticamente constante durante todo o ano.

Entre as culturas mais utilizadas para o fornecimento aos animais, o milho se destaca, principalmente, quando fornecido após o processo ensilagem. A cana-de-açúcar é tradicionalmente fornecida *in natura* (capineira), sendo a planta picada na colheita e servida diretamente aos animais. O milho tem sido a forrageira mais indicada para a ensilagem, por conter grande teor de energia, alta produtividade, menor necessidade de ocupação de solo, proporcionando uma maior eficiência na utilização da área, além do fato de ter seu manejo conhecido (NUSSIO, 1999).

A cana-de-açúcar é uma opção para a alimentação animal na época da seca, seja na forma de forragem in natura ou silagem suas vantagens são: alta produtividade e coincidência do seu ponto de maturação (maiores teores de açúcar na matéria seca) com a época de menor produtividade das pastagens. Contudo, fatores como excesso de produção ou disponibilidade de mão-de-obra e máquinas para o seu corte diário, pode favorecer uma decisão pela ensilagem da cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2002).

A mecanização nos sistemas de produção agropecuários é fundamental para a intensificação e modernização da cadeia de produção pecuária, entretanto ainda é uma área carente de estudos. A tendência desde a revolução verde, de intensificação dos sistemas produtivos, exige desse sistema altos níveis de produtividade qualidade. A utilização de máquinas adequadas para as operações relacionadas à pecuária permite que o trabalho se desenvolva de maneira dinâmica e economicamente mais atrativo ao produtor. A mecanização dos sistemas favorece a intensificação da cadeia de produção da pecuária. Entretanto fatores como custo da mecanização e energia dispendida em sistema mecanizado, são pouco explorados.

No Brasil, existe falta de informação a respeito do custo assim como a demanda energética para utilização das colhedoras de plantas forrageiras. Diversos estudos avaliaram pelas abordagens energéticas e econômicas. Leonel et al. (2009) relatam que é cada vez maior o interesse dos consumidores de produtos de origem animal, em relação à responsabilidade social e ambiental no momento de aquisição de produtos, sendo assim necessária a busca por sistemas de produção eficientes e ambientalmente sustentáveis.

A conjunção da análise energética com a análise econômica é de grande importância ao buscar compreender como se dá a relação de entrada de energia, quando relacionadas com entradas e saídas econômicas, permitindo identificar não somente quais entradas energéticas

têm maior participação no processo produtivo, mas também quantificá-las quanto à sua participação na lucratividade (ALMEIDA et al., 2010).

Nesse contexto a abordagem energética e/ou a análise de fluxos de energia é uma forma de avaliação do nível de desenvolvimento de um sistema agrícola. Jacovine et al. (2009) relatam que à avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas é cada vez mais exigido sendo necessário que empresas do setor agrícola sejam ambientalmente corretas. Tal fato torna necessário adotar indicadores e metodologias próprias para a avaliação sustentabilidade (ROMANELLI; MILAN, 2010). Schroll (1994) afirma que a relação entre a energia contida nos alimentos e a energia contida nos insumos utilizados para a sua produção (combustíveis, fertilizantes, corretivos e agroquímicos) é uma das alternativas para avaliar a sustentabilidade da agricultura.

Através do conhecimento dos custos operacionais e demanda energética das colhedoras de forragens, a tomada de decisões em projetos futuros torna-se mais confiável economicamente e no âmbito da sustentabilidade, o que possibilita um planejamento adequado, que resultará na maximização operacional e minimização dos custos e demanda energética para a colheita.

Devido à escassez de estudos que apontem para a redução dos custos de colheita de forragens e, principalmente, para as adequações das condições de trabalho de cada produtor, é fundamental o desenvolvimento de estudos que abrangem esses aspectos.

O objetivo desse trabalho foi avaliar os custos envolvidos nessa operação, assim como a demanda energética para diferentes máquinas utilizadas na colheita de forragens.

Com objetivos específicos de calcular o custo horário, operacional e custo da matéria colhida, assim como calcular a demanda energética para colheita e identificar os componentes do custo e componentes energéticos que mais impactam nessa operação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A colheita mecanizada de forragens exige máquinas específicas com custos elevados, o que exige o máximo de aproveitamento das suas funções na execução das tarefas a elas atribuídas (FIELDER, 1995).

A produção de silagem é um sistema complexo que exige a utilização simultânea de várias máquinas distintas (preparo do solo, semeadura, tratos culturais, colheita, transporte e compactação no silo), atividades que consomem considerável quantidade de combustível, além da necessidade de mão-de-obra (MUELLER et al., 2001).

Schlosser et al. (2010) relatam que as colhedoras de forragens devem ser preparadas e reguladas para que o processamento das plantas seja realizado sem demanda excessiva de potência. Essas máquinas disponibilizam uma gama de regulagens que se adaptam às diversas situações de trabalho e necessidades técnicas para cada cultura a ser colhida. Esses autores citam ainda que a maioria das colhedoras de forragens não realiza o seu trabalho corretamente por operarem com regulagens inadequadas ou pela falta de acompanhamento técnico, promovendo corte desuniforme da forrageira, resultando em silagens de baixa qualidade ou de baixo rendimento alimentar para os animais.

Neumann et al. (2007) relatam que na produção de silagem, aspectos relacionados ao tamanho de partículas e à altura de corte das plantas, afetam o grau de compactação. Conforme descrito por Nussio (1995), quanto menor o tamanho da forragem picada e maior a altura de corte, favorecem o sistema de compactação, por consequência criam melhores condições de anaerobiose, que é decisiva no processo de fermentação e conservação da forrageira. Contudo, na prática, busca-se também maior rapidez no processo de colheita, o que é facilitado quando a colhedora é regulada para um maior tamanho de picagem do material e maior altura de corte.

Segundo Schlosser et al. (2010), a qualidade final da silagem está diretamente ligada ao correto planejamento e dimensionamento do sistema de colheita. As máquinas são usadas para cortar e picar o material vegetal ainda verde, visando principalmente facilitar a ingestão do alimento, aumentando a superfície de contato para ação dos agentes digestivos; facilitar o transporte do material assim como permitir maior compactação da biomassa reduzindo a presença de ar no interior dos silos, garantindo assim as condições ideais para a produção de silagem de boa qualidade (GARCIA et al., 1998).

Beauchemin et al. (1994) citam que o tamanho de partícula inferior a 20 mm favorece a disponibilidade de carboidratos solúveis, estimulando o crescimento das bactérias láticas e facilitando a compactação da silagem e o aproveitamento pelo animal. Assim, a uniformidade de partículas obtidas no corte e na trituração das forrageiras é o primeiro passo para a obtenção da chamada qualidade da forragem, expressão utilizada como referência ao valor nutritivo, resultado do processamento uniforme de boas forrageiras, correto armazenamento (ensilagem), culminando num resultado de produção de carne satisfatório (JOBIM et al., 2007). Contudo, Neumann et al. (2007b) relatam que o tamanho de partículas de silagem após processamento, deve ficar entre 2 e 6 mm, por determinar menores perdas físicas e nutricionais na desensilagem.

Outro aspecto importante na colheita de forragens é a umidade da forrageira colhida. Rodrigues et al. (1996) relatam que o estádio de maturação em que as forrageiras são colhidas e ensiladas tem sido um dos fatores que mais alteram a qualidade e o valor nutritivo da silagem. Geralmente, à medida que avança o estádio de maturação das plantas, ocorrem alterações na composição bromatológica das silagens, como aumento do teor de matéria seca (MS) e redução nos teores de proteína bruta.

Nussio e Zopollatto (2008) relatam que o ponto de maturidade para colheita do milho para silagem representa um aspecto importante de manejo, e a tomada de decisão relacionada a esse é um fator de grande relevância no sucesso da confecção desse volumoso. O ponto ideal de colheita corresponde àquele em que a planta apresenta maior produção de matéria seca digestível por hectare e teor de umidade que propicie a ocorrência de um processo de fermentação satisfatório.

Existem algumas discordâncias em relação às recomendações para o momento ideal da colheita, que refletem os diferentes objetivos, variedades ou híbridos disponíveis no mercado de sementes ou então práticas agrícolas. Segundo Nussio (1991) o ponto ideal de matéria seca para colheita estaria em torno de 33 a 37%. No entanto, Cruz (1998) afirma que o teor ideal de MS seria entre 28 a 33%. A concentração ideal de umidade é entre 65 e 70% para a ensilagem do milho, esse ponto de umidade coincide com o estágio de desenvolvimento que assegura produção máxima de nutrientes digestíveis totais, concordando com Zopollatto e Nussio (2009).

Garcia et al. (1998) relatam que grande parte das colhedoras de forragens em uso no Brasil foram desenvolvidas por tentativas e erros, sem passarem por um processo de otimização de seu projeto. Assim, vários são os pontos que merecem atenção por parte dos engenheiros projetistas, entre os quais a influência das vibrações na vida útil dessas máquinas.

Para Souza et al. (2009), grande parcela dos fabricantes de máquinas destinados a processamento de forrageiras não realizam testes suficientes em seus produtos.

No processo da colheita de forragem, há necessidade de corte, carregamento e transporte do material cortado e picado para o meio de transporte, daí a importância das facas de corte, um dos principais componentes da colhedora, devendo ser capaz de realizar o corte do material de forma uniforme e transmitir energia mecânica cinética suficiente para lançá-lo fora da máquina, com mínimo consumo de energia (BORGES et al., 2004; GARCIA et al., 1998).

As colhedoras de forragens tracionadas podem ser classificadas em dois grandes grupos: de corte grosso e de corte fino. As de corte grosso são de arrasto e acionadas pela tomada de potência do trator. Seu mecanismo ativo é formado por um eixo transversal com várias facas na periferia; o movimento circular oriundo da tomada de potência do trator é transmitido através de um eixo cardan a uma caixa de engrenagens, que por sua vez aciona o eixo rotor. As facas são presas ao eixo rotor por meio de um porta facas com bucha. Isto permite que a faca vire para o lado oposto quando encontra algum obstáculo. A rotação do eixo varia de 1000 a 1600 rpm, o que proporciona uma velocidade periférica de 35 a 50 m s^{-1}. O corte é realizado pelo impacto da faca contra a forragem em pé (SILVEIRA, 1997).

As máquinas de corte fino possuem um sistema picador baseado em um disco ou tambor, que incorporam um determinado número de facas que picam o material em tamanhos de comprimento regulável. O valor mínimo varia entre 3 e 6 mm, enquanto o máximo pode atingir 90 mm O disco pode ser localizado na posição horizontal ou vertical. As máquinas são montadas no sistema hidráulico do trator e colocadas ao lado, e muitas delas possuem uma roda de apoio, empregada para a regulagem de altura de corte (SILVEIRA, 1997). Mueller et al. (2001) relatam que a exigência de potência pelas colhedoras de forragens depende principalmente da taxa de colheita (t h^{-1}) que por sua vez depende da largura da máquina. Colhedoras de uma fileira requerem de 30 a 60 kW h^{-1} na tomada de potência, colhedoras de duas fileiras a potência requerida é de 60 a 90 kW h^{-1} e máquinas com três ou mais fileiras requerem tratores com potência acima de 90 kW h^{-1} na tomada de potência. Buckmaster (2006) cita que a consumo energético de uma colhedora de forragem, colhendo milho, é cerca de 2 kWh Mg^{-1}, que corresponde a uma colhedora autopropelida com 294,4 kW (400 cv) que pode colher aproximadamente 145 Mg de milho para silagem por hora.

Ramos e Canavate (2000) relatam que a principal vantagem das colhedoras de forragens montadas ou de arrasto é a simplicidade em todos os aspectos como: concepção mecânica, manutenção, regulagens, baixo preço de aquisição além da versatilidade, pois pode

ser utilizadas em várias culturas forrageiras. Os mesmos autores destacam também algumas desvantagens dessas máquinas como a desuniformidade no tamanho do material picado, caso as máquinas não estiverem com as facas afiadas adequadamente, podendo causar dilaceramento da forragem levando a perdas e aumento do consumo de combustível.

Ramos (2005) relata que as colhedoras de forragens autopropelidas se destacam pela sua capacidade de trabalho, versatilidade, incorporação de inovações tecnológicas além da alta uniformidade em relação ao tamanho do material picado, entretanto, essas máquinas apresentam algumas desvantagens como alto valor de aquisição e a necessidade de uma frota de caminhões ou transbordos para trabalhar em paralelo com a máquina.

2.1 Cálculo do custo da colheita de forragens

Considerando que cada propriedade possui particularidades quanto à área plantada, relevo, condições físicas e de fertilidade dos solos, nível tecnológico, máquinas, equipamentos e aspectos administrativos. A estimativa do custo de produção torna-se, para o produtor rural, ação obrigatória para subsidiar a tomada de decisão, pois é o elemento essencial nas ações gerenciais e administrativas da propriedade rural na busca de padrões de qualidade e obtenção de lucro (RICHETTI, 2007).

A elevação dos custos de produção e a queda dos preços dos produtos agrícolas no mercado, fez com que agricultores procurem obter mecanismos eficientes com baixos custos de produção, destacando-se o uso de máquinas agrícolas adequada ao conjunto trator-máquina agrícola durante o trabalho (GREEN et al., 1985).

Para Ojima et al. (2007), a diminuição das margens de lucro causada pelo aumento da competitividade do setor agrícola está exigindo maior eficiência do sistema produtivo e redução dos gastos utilizando os custos de produção como ferramenta da gestão das atividades.

O planejamento operacional é um conjunto de planos orçamentários que permite que a administração conheça os resultados operacionais estimados e em seguida execute os acompanhamentos necessários para que esses resultados sejam alcançados (SILVA et al., 2009).

O conhecimento do custo operacional de máquinas é de fundamental importância no processo de tomada de decisão, auxiliando o controle e planejamento da utilização desses equipamentos (MACHADO; MALINOVSKI, 1988).

O desempenho econômico de uma máquina é definido por Ripoli e Mialhe (1982) como a associação entre os dados de custo horário, formados pela estimativa de gastos de propriedade e de gastos operacionais, e os dados de desempenho operacional (capacidade de campo operacional).

A mecanização agrícola está em contínuo desenvolvimento levando a criação de novas tecnologias com o uso racional delas, objetivando o maior rendimento, maior produção e menor gasto (MERCANTE et al., 2010).

O desempenho econômico da máquina agrícola envolve o cálculo do custo direto, indireto e operacional. Os custos diretos são aqueles associados à posse e ao uso, os indiretos são aqueles devidos a um dimensionamento inadequado do sistema mecanizado e o operacional está associado à capacidade de trabalho do conjunto ou máquina (MILAN, 2004).

O custo operacional é uma maneira de determinar o desempenho econômico das máquinas agrícolas, os quais são divididos em custos fixos e variáveis. Os custos fixos são dependentes do tempo de propriedade da máquina, os componentes desse item são: depreciação, juros, seguro e alojamento. Os custos de uso variam proporcionalmente com a utilização das máquinas, incluindo os gastos com o combustível, lubrificante, reparos e manutenção (WITNEY, 1988).

Segundo Harry et al. (1991), o custo operacional de uma máquina é o somatório de todos os custos resultantes de sua aquisição e operação. O seu conhecimento é uma etapa de fundamental importância para o planejamento e controle de sua utilização. A variação desse custo é influenciada, principalmente, pela quantidade de tempo na qual a máquina é utilizada e pela sua capacidade de processamento.

Edwards (2001) relata que o verdadeiro valor desses custos não é conhecido até que a máquina seja vendida ou utilizada, mas os custos podem ser estimados fazendo algumas suposições sobre a vida útil da máquina, tempo de uso anual, consumo de combustível e custo da mão-de-obra.

De acordo com Garcia et al. (2005), é importante conhecer a capacidade de processamento da colhedora, a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações agrícolas em tempo hábil, evitando dessa forma, custos adicionais com máquinas superdimensionadas, comum nas propriedades agrícolas.

Buckmaster (2006) relata que os maiores componentes do custo de produção de silagem são as máquinas para colheita e custos trabalhistas. Por isso, a seleção adequada e o dimensionamento dos equipamentos são de grande importância.

Para Molin e Milan (2002), os especialistas da área de mecanização agrícola têm se orientado pelos métodos de calculo do custo padronizado pela ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), que consiste na compilação de vários trabalhos executados em diferentes situações com máquinas ou implementos semelhantes, sistematizando esses dados em equações.

Buckmaster (2006) cita que máquinas de colheita e os custos trabalhistas são frequentemente associados a maior contribuição na composição do custo de produção de forrageiras, devido a isso, a seleção e o dimensionamento dos equipamentos é muito importante. Veiga (2000) ressaltou que na cultura da soja (grão) os custos diretos referentes ao uso de máquinas agrícolas podem chegar a 40% dos custos de produção no plantio convencional e 30% no plantio direto.

2.2 Demanda energética para colheita de forragens

A análise de fluxos de energia quantifica, de maneira estimada, a energia diretamente consumida e, ou indiretamente utilizada, em pontos previamente estabelecidos de um determinado sistema produtivo (HESLES, 1981).

A agricultura é um sistema que converte a energia solar em alimentos, energia e fibras. Além da energia solar, esse sistema necessita de outras fontes de energia, sobressaindo-se os fertilizantes, defensivos agrícolas e combustível, insumos, geralmente derivados do petróleo. O modelo econômico brasileiro é dependente da energia fóssil, como os combustíveis, lubrificantes e fertilizantes (ULBANERE; FERREIRA, 1989).

Romanelli et al. (2012), relatam que sistemas agrícolas são entidades econômicas, termodinâmica e física, sujeito ao mesmo tempo a todos estes aspectos. Assim, para a agricultura alcançar patamares de sustentabilidade ambiental, é fundamental a adoção de indicadores e metodologias, além do planejamento e a avaliação de operações agrícolas, fatores econômicos e não econômicos devem ser considerados, necessitando de uma visão do sistema (TELLARINI; CAPORALI, 2000).

Desde a década de 1960, a agricultura brasileira tem passado por transformações que trouxeram de um lado, aumentos notáveis da produção de alimentos e matérias-primas e, por outro, a intensificação do uso de recursos não renováveis. Essa forma de produção pode resultar em cenários que comprometam a sustentabilidade da produção agrícola, face à crescente elevação dos gastos de energia, principalmente advindos de fontes não renováveis, à

elevação de custos de produção em geral e a redução dos preços agrícolas (PRACUCHO et al., 2007). De acordo com Serra et al. (1979), a mecanização das operações agrícolas acentuou o uso da energia fóssil, em formas progressivamente sofisticadas, como consequência do planejamento e utilização de máquinas, fertilizantes e pesticidas, propiciando aumentos consideráveis na produtividade com o passar do tempo. A quantidade de energia usada nas operações depende de vários fatores, não só da energia proveniente do combustível, mas também daquela agregada na fabricação e distribuição das máquinas, do óleo lubrificante e hidráulico, do trabalho humano entre outros (BRIDGES; SMITH, 1979; FLUCK, 1985).

Ripoli e Molina Jr. (1991) considera que existe a necessidade de melhorar a eficiência no consumo energético para minimizar o impacto ao ambiente, pois, em grande parte, o uso de combustíveis fósseis causa a emissão de gases poluentes à atmosfera.

A necessidade de se produzir mais alimentos, para atender a demanda crescente da população, vem se constituindo em um grande desafio. Com o objetivo de amenizá-lo, surgem inovações tecnológicas agrícolas que visam o aumento da produtividade, demandando, na maioria dos casos, uma maior quantidade de energia nos sistemas de produção. Esse aumento na energia requerida é suprido pelo uso de energia fóssil, tendo em vista uma maior utilização de insumos como fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos. A preocupação com o gasto dessa energia se deve ao fato da escassez dos recursos energéticos, o que está ameaçando a sustentabilidade dos sistemas de produção (ASSENHEIMER et al., 2009).

Devido a isso houve crescente necessidade de racionalização de energia dos sistemas e das operações agrícolas fazendo com que se desenvolvessem trabalhos de pesquisa visando à obtenção de melhores técnicas e métodos e à redução no consumo de energia embutidos nos insumos e combustíveis consumidos, além de melhor conservação do solo e dos recursos naturais (MIALHE, 1996).

De acordo com Seki et al. (2009), o alto custo dos combustíveis e das máquinas agrícolas e a baixa remuneração do produtor exigem o uso de técnicas de gerenciamento dos serviços, principalmente aquelas ligadas às operações motomecanizadas, visando à minimização do consumo de energia.

Os insumos derivados do petróleo usados nos diversos sistemas de produção de alimentos impulsionaram os custos da produção (ULBANERE; FERREIRA, 1989). Fator esse, que motivou a realização de diversas pesquisas desenvolvidas com a finalidade de analisar e avaliar a eficiência energética das produções (CASTANHO FILHO; CHABARIBERY, 1983; CAMPOS; CAMPOS, 2004). Para Bueno (2002), a análise energética pode ser vista como um processo de avaliação das entradas e saídas de energia dos

agroecossistemas, para posteriores e concomitantes interações com análises em outros campos do conhecimento. Dentro da mesma abordagem, Hart (1980) afirma que avaliação da estabilidade de um agroecossistema é dada pelas entradas de energia, associadas às suas saídas, em forma de calor e biomassa.

O balanço energético visa a estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada, além da quantidade necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto. Nesse processo, quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. A determinação da eficiência energética é importante instrumento no monitoramento da sustentabilidade da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis (HETZ, 1994). A importância da análise da eficiência energética é fornecer os parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas (COMITRE, 1993). Os fluxos de energia identificam a demanda total, a eficiência refletida pelo ganho líquido e pela relação produção/demanda, além da quantidade necessária para produzir ou processar um determinado produto. Os fluxos são um fator de fundamental importância para a eleição de uma matéria-prima para a produção de energia (SIQUEIRA et al., 1999; ROMANELLI et al., 2008; ROMANELLI, 2009).

O balanço energético é um importante instrumento para auxiliar na tomada de decisões, relativas à adoção de novas técnicas e manejos agropecuários, com potencial para economizar energia e aumentar a eficiência dos insumos, reduzindo custos em sistemas de produção, que apresentam uso intensivo energético em suas várias formas (CAMPOS; CAMPOS, 2004). A análise energética fundamenta-se como instrumento complementar de avaliação do processo produtivo, principalmente em relação ao item sustentabilidade.

De acordo com Castanho Filho e Chabaribery (1983), o conhecimento das diferentes formas de consumir energia nos diversos sistemas agrícolas é fundamental para a definição de novas políticas de estímulos à produção ou de restrição de seu consumo, em função da importância estratégica que a mesma ocupa como possível transformadora de um excedente energético para outros setores econômicos. A análise de fluxo energético requer a unificação do produto de diferentes fontes e conversores de energia, como máquinas, trabalho humano e combustível, em uma mesma unidade de energia (COMITRE, 1995).

Segundo Zanini et al. (2003), a maioria dos autores que trabalham com balanço energético em sistemas agrícolas classificam a energia consumida no processo produtivo de duas maneiras: direta e indireta (CASTANHO FILHO; CHABARIBERY, 1983; COMITRE,

1993; CAMPOS, 2001). A energia direta utilizada no sistema produtivo inclui o combustível fóssil utilizado e outras formas de energia derivadas do petróleo, tais como aquelas contidas nos lubrificantes, nos adubos e nos defensivos agrícolas. Esses autores afirmaram também que, para um estudo completo da energia aplicada, devem-se considerar as energias de origem biológica, como o trabalho humano e animal assim como a energia contida nas sementes e mudas. A energia indireta utilizada na agricultura é aquela empregada na fabricação de maquinários, de construções e de outros *inputs* necessários à produção.

Analisando energeticamente a cultura de milho no Estado de São Paulo, Ulbanere e Ferreira (1989) classificaram os fluxos energéticos em energias direta e indireta. A energia direta é o conteúdo energético dos combustíveis e lubrificantes. A energia indireta: o conteúdo dos demais insumos e a depreciação energética do maquinário, tais como: sementes, corretivos, fertilizantes, agrotóxicos, tratores, colhedoras, implementos e equipamentos. O trabalho humano não foi contabilizado nesse trabalho.

Para Bueno (2002), as análises de fluxos energéticos deve se dar em nível de ecossistemas; isto é, enfoques de avaliação da estabilidade de agroecossistemas pelas entradas de energia associadas às suas saídas, em forma de calor e biomassa produzida. Esse autor fundamentou seus estudos na classificação de fluxos energéticos adotada por Comitre (1993), em que as formas de entrada de energia no agroecossistema como mão-de-obra, sementes e trabalho animal, são de origem biológica; óleo diesel, lubrificante e graxa, são de origem fóssil; e, que, ambas: biológica e fóssil são consideradas energia do tipo direta. Máquinas, implementos, corretivo de solo, fertilizantes e defensivos foram considerados formas de energia de origem industrial do tipo indireta.

Determinar a melhor estratégia de manejo dos sistemas agrícolas depende da análise das condições ambientais específicas, bem como dos dados de balanços energéticos e econômicos (ASSENHEIMER et al., 2009).

Uma parcela considerável dos custos de produção agrícola refere-se à utilização de máquinas e implementos agrícolas, especialmente no que diz respeito a uma das principais unidades de potência da agricultura, o trator agrícola. A otimização de seu desempenho e, mais especificamente, a melhor utilização do potencial de seu motor, reduzindo-se o consumo de combustível, que por ser um dos fatores importantes na redução de custos de produção, torna-se um requisito fundamental (SILVA, 2000).

Phipps et al. (1976) analisaram o balanço energético na produção de silagem de milho e feno, sendo encontrados relações de entrada e saída de energia brutas de 4,8 (380% de eficiência energética) e 2,7, respectivamente. Considerando sistemas de produção de esterco

como adubação orgânica, os mesmos elevariam aquela relação para 5,3 e 10,8, respectivamente, ou seja, 430% e 980% de eficiência energética. O mesmo autor relata que na produção de silagem de milho, os maiores componentes do consumo energético foram: fertilizantes 58% e combustível 28%.

Para Campos et al. (1998) os combustíveis contabilizaram apenas 13,57%, enquanto que fertilizantes foi novamente o componente de maior expressão, com 49,87%. A depreciação das máquinas e equipamentos foi responsável por apenas 0,93% da demanda energética total.

Seiki et al. (2009) relatam que a demanda total de energia, para o processo de produção e ensilagem do milho (planta inteira) foi de 667 MJ ha^{-1}, sendo que a operação de colheita representou 52% (346 MJ ha^{-1}) da demanda total no sistema de produção, utilizando-se um trator com potência nominal de 63,2 kW (86 cv) e colhedora de forragem tracionada de uma linha.

Uma forma de minimizar e racionalizar a utilização da energia nos processos agrícolas, principalmente na destinação final dos produtos, como grãos de milho, pode ser a silagem de "grão úmido", que surge como alternativa para o produtor, na qual o processo de secagem é substituído pela moagem e armazenamento em alta densidade com altos teores de água (COSTA, 2001). Na produção de grãos, a operação de secagem pode representar até 50% do consumo total de energia, no caso específico do milho (LOPES et al., 2000).

Campos et al. (2004) citam que o consumo de energia para o conjunto (trator e colhedora) mais óleo diesel e lubrificantes foi 53,37% (4.953,85 MJ ha^{-1}) da demanda total na produção do milho para silagem (9.283,43 MJ ha^{-1}).

Romanelli e Milan (2005) relatam que a participação da colheita na demanda energética do sistema de produção de silagem de milho foi de 18% utilizando-se um trator com 55,2 kW de potência e colhedora de uma fileira de milho.

Alguns autores propuseram avaliações do âmbito energético para a agricultura. Ferraro Junior (1999) propôs um método para a avaliação de sistemas de produção de modo a aferir sua sustentabilidade, através de uma planilha eletrônica e da análise dos índices obtidos, referentes à produtividade, balanço energético e rentabilidade. Panesar (1998) desenvolveu um modelo, denominado SENMAP, para a produção agrícola, o qual predizia a energia requerida pelas culturas em um período de um ano. A energia demandada foi analisada nos seguintes fatores: água, óleo diesel, eletricidade e trabalho, além da energia total.

Rotz et al. (1989) revisaram o modelo DAFOSYM (Dairy Forage System). Para maximizar a eficiência, segundo Rotz et al. (1989), o sistema deve ser otimizado em função

das necessidades do animal. Os principais fatores que influenciam quanti e qualitativamente o alimento entre a produção e o uso final são: clima, modo de colheita, dimensão e disponibilidade das máquinas, e tipo e tamanho do silo. O DAFOSYM considera todos esses fatores, e foi desenvolvido como um meio de avaliar novas tecnologias e estratégias de gerenciamento em fazendas produtoras de leite. Romanelli e Milan (2005), a fim de avaliar a demanda energética dos sistemas de produção de forragem em diferentes sistemas de produção, desenvolveram uma modelagem para analisar cenários de qualquer sistema de produção agrícola, tendo em consideração a quantidade de variáveis envolvidas e a complexidade das suas interações.

2.3 Alimentação Suplementar

A produção de gramíneas forrageiras tropicais, principal fonte alimentar do rebanho brasileiro, não se mantém nos mesmos níveis de produtividade durante todo o ano devido à estacionalidade de produção das plantas forrageiras, reduzindo-os drasticamente durante aproximadamente cinco meses por ano (maio a setembro). Nessa época ocorre diminuição da disponibilidade de luz (dias são mais curtos), redução da temperatura média, além do índice pluviométrico ser reduzido. A soma destes fatores resulta em menor disponibilidade quantitativa e qualitativa de forragem, afetando o desempenho dos animais mantidos a pasto (CARVALHO JÚNIOR et al., 2009).

Segundo Caetano et al. (2012) em regiões tropicais, devido à sazonalidade da produção forrageira, torna-se necessário a suplementação de volumoso durante a estação seca, utilizando alimentos de alta qualidade para atingir níveis mais elevados de produção em sistemas de criação de bovinos.

De maneira geral, a relação entre a produção de matéria seca no verão e inverno é de aproximadamente 4:1. Assim, do total de forragem produzida durante o ano, 80% está concentrado em aproximadamente seis meses, enquanto no restante do ano são produzidos apenas 20% (CODAGNONE et al., 1988). O conhecimento do sistema de produção das plantas forrageiras é de fundamental importância para que se atinja a qualidade de forragem, e compreender estes efeitos é necessário para otimizar a produção e utilização de forrageiras em sistemas de produção de bovinos (MOHARRERYA et al., 2009).

2.4 Milho

O milho (*Zea mays* L.) constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo devido a o seu potencial produtivo, sua composição química e seu valor nutritivo, entre outros fatores, (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Entre as várias formas de aproveitamento do milho na alimentação animal, destacam-se os processos de ensilagem de planta inteira, que têm por principais objetivos maximizar o valor nutritivo, reduzir gastos e melhorar a capacidade de armazenamento (CASTOLDI et al., 2011). Outros autores também descrevem algumas vantagens da utilização do milho para a produção bovina, por possuir alta produtividade (NEUMANN et al., 2003) e elevado teor de energia (ROCHA et al., 2006). Lucci (1997) relata que a silagem de milho possui excelente disponibilização de energia por área e permite suprimento regular de forragem de alta qualidade o ano inteiro.

O elevado teor de energia, baixo teor de fibra, alta produção de matéria seca por unidade de área, soluções adequadas de colheita mecanizada e os bons padrões de fermentação da silagem, sem a necessidade de utilização de aditivos ou pré-secagem, são características que fazem do milho uma das forragens mais utilizadas em silagens para ruminantes (PEREIRA et al., 2004).

Johnson et al. (2003) e Velho et al. (2010) relatam que tradicionalmente o milho é a cultura mais utilizada para a produção de silagem, devido ao seu elevado valor nutritivo, principalmente em termos de energia. Além disso, o milho tem todas as características necessárias para um processo adequado de fermentação dentro do silo, tais como níveis de matéria seca (MS), carboidratos solúveis e poder tampão. Outros fatores que influenciam na composição química e características físicas da silagem são: estágio da planta na colheita, cultivar e processamento mecânico. Concordando com esses autores, França e Coelho (2001) citam que outras gramíneas também são usadas, porém nenhuma delas se iguala ao milho na produção de silagens com elevado teor de nutrientes digestíveis totais (NDT), expressão do valor calórico dos alimentos, em razão dos nutrientes contidos e dos aproveitados pelo animal.

A silagem de milho é tida como alimento volumoso nutricionalmente completo, pois associa elevada densidade energética (> 64% NDT), com teores moderados de proteína bruta (6 a 9%) sem a necessidade de incorporação de aditivos. A produção média estimada para o milho é de 40 t ha^{-1}, podendo variar em função do híbrido utilizado, região do país e manejo da cultura (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 2001). A silagem de milho apresenta teores aproximados de 28 a 45% de matéria seca (MS), 6 a 7% de proteína bruta (PB) (NRC, 2001). Segundo Bal et al. (2000), o valor nutritivo da planta de milho para

silagem é afetado por vários fatores, como: quantidade de grãos, teor de FDN da fração haste, digestibilidade da FDN, teor de amido no grão, digestibilidade do amido e os teores de óleo e proteína.

A maior quantidade de grãos no material ensilado poderá representar economia em ingredientes concentrados, sendo assim, a escolha dos materiais genéticos para produção de silagem deve recair não só sob o fato do mesmo ser adaptado à determinada região geográfica e ser mais produtivo, mas sim sob o aspecto de minimizar o custo da ração total a ser fornecida aos animais (COAN et al., 2003).

2.5 Cana-de-açúcar

A utilização da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na alimentação de bovinos tem se tornado cada vez mais importante e difundida entre os produtores, devido, principalmente, a redução dos custos da alimentação na época da seca. Alguns fatores favoráveis como, época de colheita, alta produtividade (80 a 150 t ha^{-1}), alta quantidade de nutrientes digestíveis totais (15 a 20 t) e menor custo de produção em comparação às silagens de milho ou sorgo, torna essa forrageira bastante atraente e competitiva (BALIEIRO NETO et al., 2007). Nussio (2003) relata que a cana de açúcar possui melhor desempenho econômico em comparação a outras forrageiras, dependendo da categoria animal.

Segundo Siqueira et al. (2007), a utilização clássica da cana-de-açúcar na forma *in natura* onde a cultura é cortada e picada diariamente para alimentação animal, apresenta alguns inconvenientes, conforme descrevem Freitas et al. (2006), que para grandes produtores, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, se torna uma barreira para utilização do volumoso, devido a dificuldades logística e operacional para realização do corte diário.

De acordo com Balsalobre et al. (1999), o uso intensivo da cana-de-açúcar apresenta restrição em relação a colheita mecanizada, pois as colhedoras de forragens utilizadas no corte de cana-de-açúcar são as mesmas utilizadas para colher milho, fazendo com que a vida útil das máquinas sejam reduzidas. Além disso, outros inconvenientes como baixas produtividades, necessidade frequente de manutenção e principalmente o tamanho de corte das partículas não é adequado para o bom desempenho animal.

Santos et al. (2009b) citam que houve aumento na utilização de silagem de cana-de-açúcar na alimentação animal, devido a ganhos em operações diária da colheita e transporte da cultura além de melhor gestão de pós-colheita.

A prática de ensilagem elimina a necessidade do corte diário e representa uma solução operacional para o aproveitamento do potencial produtivo da cana-de-açúcar em larga escala (BALIEIRO NETO et al., 2007). Entretanto, alto teor de carboidratos solúveis promove rápida proliferação de leveduras, produção etanol e gás carbônico, resultando em perdas de nutrientes e, consequentemente, na redução no valor nutritivo (KUNG JUNIOR; STANLEY, 1982).

Pedroso et al. (2005) indicam que a ensilagem da cana é uma prática que melhora a eficiência de colheita, pois permite o aproveitamento de talhões em declínio (na produtividade, em acamamento ou prejudicados por geadas ou fogo), além de disponibilizar o material em outros períodos de escassez de pastagem (inverno).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse item são apresentadas as etapas referentes ao desenvolvimento do presente estudo: a aplicação da metodologia para o calculo do custo assim como a demanda energética para a colheita mecanizada de milho e cana-de-açúcar.

O sistema de produção da silagem de milho e cana-de-açúcar fornecida *in natura* (capineira), é complexo e exige várias etapas, que envolvem a utilização de máquinas, sendo que a colheita se destaca como uma das etapas mais importantes para se conseguir alimento de boa qualidade. Na figura 1, o sistema de produção agricola de uma cultura forrageira é apresentado desde o preparo de solo até a etapa final, que consiste no fornecimento aos animais. Em todas essas etapas do sistema de produção, a utilização de máquinas agrícolas, e consequentemente combustível, é indispensável.

A diferença entre o proceso da ensilagem do milho e a cana-de-açúcar, consiste na etapa na qual se compacta a biomassa vegetal colhida. Na ensilagem do milho realiza-se a compactação da biomassa no silo, com intuito de reduzir o volume da biomassa e excluir o oxigênio desse ambiente favorecendo a fermentação anaeróbia, produzindo acídos que tem a finalidade de conservar o alimento, para que seja utilizado na suplementação nutricional do rebanho bovino, na época na qual ocorre escassez de forragens. Enquanto, que no processo de fornecimento de cana-de-açúcar, a biomassa é transportada *in natura* até o fornecimento aos animais.

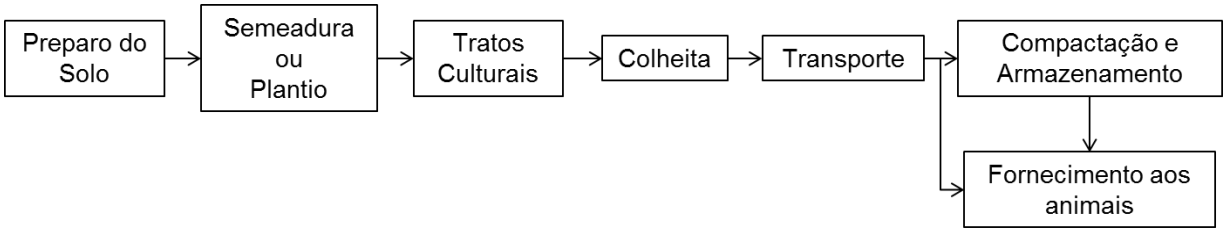


Figura 1 - Fluxograma do sistema de produção de alimentação suplementar

O levantamento dos modelos de colhedoras de forragem disponíveis no mercado brasileiro foi realizado, para definir quais seriam os conjuntos mecanizados avaliados nessa pesquisa, a partir do banco de dados da Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos – ABIMAQ. As colhedoras de forragens podem ser classificadas em relação a três parâmetros: forma de acionamento, modo de deslocamento e sistema picador (BALSALOBRE et al., 1999; GADANHA Jr. et al., 1991; BALASTREIRE, 1987). No presente trabalho utilizou-se a classificação citada anteriormente, para agrupar as colhedoras de forragens selecionadas para

o estudo, além dos três parâmetros citados acrescentaram-se outros dois parâmetros, a potência demandada para o acionamento da colhedora e a capacidade de processamento, ambos fornecidos pelos fabricantes.

3.1 Caracterização dos conjuntos motomecanizados avaliados

Foram avaliados quatro conjuntos de colhedoras de forragem, sendo três alternativas para colheita de planta inteira de milho e uma para a colheita de cana-de-açúcar.

O primeiro conjunto motomecanizado selecionado foi denominado de milho 1 (Tabela 1), se configura em uma alternativa de colheita mecanizada amplamente adotada entre os produtores do Brasil, devido ao menor valor de aquisição, simplicidade na concepção mecânica da máquina, menor custo de manutenção e possibilidade de regulagens de tamanho do material cortado, conferindo a essa máquina, grande versatilidade em relação à cultura colhida. Entretanto, esse conjunto possui algumas desvantagens como: baixa capacidade de processamento, maior necessidade de manutenção e caso a máquina não for corretamente regulada, pode haver uma redução na qualidade do material colhido, devido a dilacerações causadas na forrageira.

O segundo conjunto mecanizado avaliado, denominado milho 2 (Tabela 1), se constitui de uma colhedora de forragens de duas fileiras, esse conjunto se configura, entre os conjuntos mecanizados avaliados para a colheita do milho, como um nível intermediário em relação ao preço e a capacidade de processamento. Nesse conjunto há necessidade de um trator mais potente.

Milho 1 e 2 foram avaliados no talhão com área de 30 ha, localizado, aproximadamente, nas coordenadas 22º42’42” S e 47º36’36” W, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba – SP. O híbrido utilizado foi o P30F90 de ciclo semi-precoce de 120 a 140 dias, semeado em sistema de plantio direto com espaçamento de 0,8 m entre fileiras, na primeira quinzena de novembro de 2010 e colhido na segunda quinzena de março de 2011.

O terceiro conjunto mecanizado avaliado, denominado milho 3 (Tabela 1), se refere a uma máquina autopropelida. Esse conjunto se configura na alternativa com maior nível de tecnologia empregado e, consequentemente maior valor de aquisição. Como vantagens dessa máquina destacam-se a capacidade operacional e incorporação de inovações tecnológicas. Essa alternativa foi avaliada no município de Castro-PR em um talhão de 3,84 ha localizado aproximadamente nas coordenadas 24°46’57’’ S e 49°55’12’’ W. O híbrido utilizado foi o

P30R50 um material precoce, com ciclo de 100 dias. O milho foi semeado em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras na primeira quinzena de novembro de 2010, sendo que a colheita ocorreu no dia 16 de fevereiro 2011.

O quarto conjunto mecanizado, denominado “Cana-de-açúcar” (Tabela 1), avaliou uma colhedora de uma fileira para a colheita de cana-de-açúcar. A avaliação foi realizada no talhão localizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba – SP. Este talhão possui área de aproximadamente 4 ha, localizado aproximadamente nas coordenadas 22º59’52” S e 47º52’48” W. Utilizou-se uma colhedora tracionada para colher mecanicamente cana-de-açúcar de quarto corte. A avaliação desta alternativa ocorreu nos dias 10 e 11 de julho de 2011.

Tabela 1 - Características técnicas

		Máquina motora		Colhedora	
Conjuntos	**Potência (kW)**	**Tração**	**Massa (kg)**	**Massa (kg)**	**Total (Kg)**
Milho 1	55,2	4x2	3.745	583	4.328
Milho 2	62,5	4x2 TDA	4.900	826	5.726
Milho 3	334,6	4x2*	11.280	990	12.270
Cana-de-açúcar	91,4	4x2 TDA	6.900	1.350	8.252

* Colhedora autopropelida.

Na figura 2 são apresentados fotos das máquinas avaliadas.

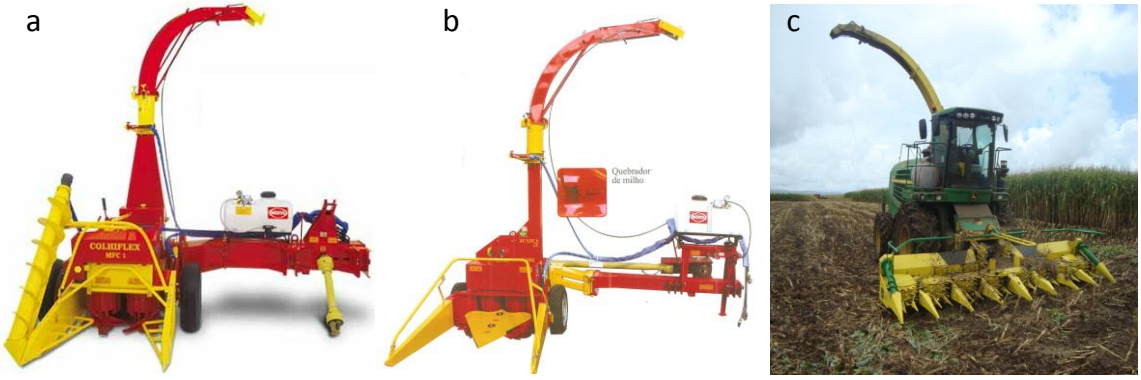


Figura 2 – Fotos das máquinas avaliadas. a) colhedora de milho (1 linha), b) colhedora de milho (2 linhas) e c) colhedora autopropelida.

Para os cálculos, foram adotados valores de aquisição de máquinas novas, que podem ser consultadas na tabela 2. Para todas as máquinas adotou-se valor final de 30% do valor de aquisição.

Tabela 2 - Valor de aquisição das máquinas motoras e colhedoras*

Conjuntos	Valor de Aquisição Máquina Motora (R$)	Valor de Aquisição Colhedora (R$)	Total (R$)
Milho 1	80.000,00	16.500,00	96.500,00
Milho 2	90.000,00	21.300,00	111.300,00
Milho 3	765.000,00	-	765.000,00
Cana-de-açúcar	132.000,00	33.000,00	165.000,00

*Valores cotados em julho/2011

A capacidade de processamento (CP), conforme descrito por Witney (1988), pode ser definida como o trabalho realizado em termos de massa de produto processado pelo tempo no qual foi realizada a operação eq. (1). Para determinar o tempo de trabalho, para os conjuntos milho 1, milho 2 e cana-de-açúcar, utilizou-se um cronômetro digital para marcar o tempo total da operação, para a alternativa milho 3, utilizou-se um GPS da marca Garmin que foi programado para a aquisição de um ponto a cada segundo.

$$CP = \frac{QPP}{T} \quad (1)$$

Em que: CP - Capacidade de processamento observada (t h^{-1});

QPP - Quantidade de produto processado (t);

T – Tempo de trabalho da máquina na área (h).

A produtividade dos talhões analisados, foi estimada através de uma amostragem composta. As amostras foram colhidas manualmente e pesadas com auxílio de balança, coletaram-se três amostras por área. Cada amostra consistia na retirada de todas as plantas ao longo de duas fileiras vizinhas com comprimento de 4 metros. Para calcular a produção de biomassa por m^2, primeiramente determinou-se a área amostral (Z), eq.(2). Para estimar a produção de biomassa por área utilizou-se a eq.(3).

$$Z = ESP * Nf * Cp \quad (2)$$

Em que: Z – Área da amostra (m^2);

Esp – Espaçamento da cultura (m);

Nf – Número de fileiras colhidas;

Cp – Comprimento da fileira amostrada (m).

$$PB = \left(\frac{MV}{Z}\right) * 10.000 \quad (3)$$

Em que: PB – Produtividade (kg ha^{-1});

MV – Média da biomassa colhida na amostra (kg);

Z – Área da amostra (m^2);

10.000 – Fator de conversão m^2 para hectare.

Segundo Molin e Milan (2002), a avaliação da capacidade de trabalho das máquinas na agricultura é de difícil obtenção. Existe uma variação considerável para as condições operacionais, normalmente influenciadas por fatores como topografia, condições climáticas, superfície do solo e da cultura, presença de obstáculos, entre outros. Sendo assim a capacidade de campo operacional (CcO) foi calculada através da eq. (4).

$$CcO = \frac{A}{T} \quad (4)$$

Em que: CcO – Capacidade de campo Operacional (ha h^{-1});

A – Área trabalhada (ha);

T – Tempo total de trabalho da máquina na área (h).

Outra informação importante para o gerenciamento de uma operação de colheita é a capacidade de campo efetiva (CcE), eq. (5).

$$CcE = \frac{Le * Ve}{10} \quad (5)$$

Em que: CcE – Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

Le – Largura da faixa de ação efetiva (m);

Ve – Velocidade de deslocamento efetivo (km h^{-1});

10 – Fator de conversão de 1.000 m² para hectare.

A eficiência operacional, é a razão entre a CcO e CcE eq. (6), expressa o aproveitamento da capacidade potencial da máquina para realizar a operação de colheita.

$$EF = \left(\frac{CcO}{CcE}\right) * 100 \quad (6)$$

Em que: EF – Eficiência operacional (%);

CcO – Capacidade de campo Operacional (ha h^{-1});

CcE – Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

100 – Fator de conversão para porcentagem.

Determinou-se neste estudo a capacidade de campo teórica (CcT), eq. (7). Os parâmetros utilizados para o calculo da CcT são apresentados na tabela 3.

$$CcT = \frac{Lt * Vt}{10} \quad (7)$$

Em que: CcT – Capacidade de campo teórica (ha h^{-1});

Le – Largura da faixa de ação teórica (m);

Ve – Velocidade de deslocamento teórica (km h^{-1});

10 – Fator de conversão de 1.000 m² para hectare.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados para o cálculo da capacidade de campo teórica

Conjunto	**Largura de Trabalho (m)**	**Velocidade Deslocamento (km h^{-1})**
Milho 1	0,8	5,0
Milho 2	1,6	5,0
Milho 3	6,0	5,5
Cana-de-açúcar	1,5	5,0

Para determinar a velocidade de deslocamento da máquina na operação, tomou-se uma distância de 10 m, marcada com estacas fixadas no campo, a 15 m do inicio do talhão, para estabilizar a velocidade da máquina. Foram realizadas três repetições, marcando-se o tempo, com cronômetro digital, na qual a máquina percorre essa distância. Adotou-se como referencial, a roda traseira, eq. (8).

$$V = \left(\frac{DT}{T}\right) * 3{,}6 \quad (8)$$

Em que: V – Velocidade de deslocamento (km h^{-1});

T – Tempo gasto no percurso (s);

DT – Distância percorrida (m), 10 mestros:

3,6 – Fator de correção de m s^{-1} para km h^{-1}.

Para determinar a largura efetiva de trabalho da colhedora, foram fixadas duas estacas nas extremidades da largura de trabalho da máquina, após a passagem da colhedora, utilizou-se uma trena para medir a largura efetiva de trabalho, coletaram-se cinco repetições em cada alternativa avaliada.

Para a determinação da matéria seca, realizou-se uma amostra composta que foi coletada nas carretas transportadoras. Estas amostras foram submetidas à análise de matéria seca no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Produção Animal, ESALQ/USP para milho 1 e 2 e cana-de-açúcar. Para milho 3, as amostras foram analisadas no Laboratório de Análises Físico – Químicas da Fundação ABC localizado no município de Castro – PR.

3.2 Estimativa do custo

Para calcular o custo da colheita mecanizada de milho e de cana-de-açúcar foi aplicada a metodologia proposta pela ASABE (2011). Para o calculo do custo utilizou-se um microcomputador portátil (*notebook*) marca Dell, com processador CORE I5™, 4 Gb de memória RAM, HD de 500 Gb. Os *softwares* utilizados foram Microsoft® Excel® 2010 e Microsoft® Office® 2010. Nesta avaliação os custos foram divididos em custos fixos e variáveis. Os componentes do custo fixo considerados são: depreciação, juros sobre o capital investido, alojamento, seguro e taxas (ASTA) e mão-de-obra.

Para o cálculo do custo da mão-de-obra, utilizou-se a média dos salários de um tratorista no estado de São Paulo, divulgado pelo IEA (Instituto de Economia Agrícola) de R$ 879,3 mensais. Os encargos sociais considerados foram de 68,17% do salário mensal. A eq.(9) foi utilizada para calcular o salário mais encargos.

$$\text{Ctratorista} = \frac{\left(SM * 13{,}33 * \left(1+\left(\frac{EN}{100}\right)\right)\right)}{\left(44 * \left(52{,}14 - 4{,}28\right)\right)} \quad (9)$$

Em que: Ctratorista – Custo com tratorista (R$ h^{-1});

SM-Salário mensal (R$); 13,33 – Quantidade de salários pagos no ano, incluindo 13° e férias;

EN – Encargos sociais (%);

44 – Horas de trabalho por semana;

52 – Número de semanas por ano;

4,28 – Número de semanas destinadas a férias (30 dias / 7 dias por semana).

A depreciação é a perda de valor das máquinas devido ao tempo de uso (desgaste) ou obsolescência tecnológica do maquinário, sendo interpretada como uma reserva contábil destinada a recuperar o investimento inicial ou substituição destes equipamentos. Neste estudo a depreciação foi calculada pelo método linear. A vida útil das máquinas foi adotada segundo ASABE (2011), para colhedoras montadas ou de arrasto a vida útil é de 2.500 horas, colhedoras autopropelidas é de 4.000 horas e tratores 12.000 horas. Foi considerado o período de 10 anos de vida útil.

A taxa de juros se refere ao custo de oportunidade, ou seja, juros sobre o capital investido no equipamento. Se a máquina for mantida em abrigo, deve ser incluída nos custos fixos, pois o galpão possui depreciação e necessita de manutenção. Existe uma dificuldade para calcular o valor de alojamento devido ao fato de que raramente se constrói um abrigo especificamente para máquinas. Foi considerado como custo de alojamento 0,75% do valor inicial da máquina.

Caso a máquina possua seguro deve ser incluído no cálculo dos custos, considerou-se 0,25% do valor inicial. As taxas foram consideradas como 1% do valor inicial, embora não haja a necessidade de licenciar máquinas agrícolas no Brasil. A eq. (10) representa a porcentagem do custo fixo (depreciação, juros, alojamento, seguro e taxas) em relação ao valor de aquisição da máquina, por ano.

$$CFA = 100 * \left[\left(\frac{1-Vf}{Vu}\right) + \left(\frac{1+Vf}{2}\right) * I + ASTA\right] \quad (10)$$

Em que: CFA – Custo fixo anual (%);

Vf – Valor final (decimal);

I – Taxa de juros anuais (decimal);

Vu – Vida útil (anos);

ASTA – Fator de alojamento, seguro e imposto (decimal).

O fator CFA multiplicado pelo valor inicial da máquina e dividido pela quantidade de horas de uso anual fornece o custo fixo horário do equipamento, eq. (11).

$$CFH = \left[\frac{(CFA * Vi)}{NHA}\right] \quad (11)$$

Em que: CFH - Custo fixo horário (R$ h^{-1});

CFA – Custo fixo anual (decimal);

Vi – Valor inicial da máquina (R$);

NHA – Número de horas trabalhadas por ano (h).

Os custos variáveis alteram, proporcionalmente, em relação ao nível das operações e do tempo despendido para a realização. Foram considerados como custos variáveis o custo do combustível e reparos e manutenção.

Para determinar o consumo de combustível das máquinas, o tanque foi completamente abastecido no início e no final da operação, a razão entre a quantidade abastecida (Qab) e o tempo de trabalho, fornece o consumo horário da operação. Para a máquina autopropelida, anotou-se a quantidade de óleo diesel abastecido na bomba de abastecimento, assim como o tempo de trabalho da máquina no campo. Para conhecer o consumo de combustível dos tratores em milho 1, milho 2 e cana-de-açúcar, utilizou-se um recipiente plástico de capacidade de 50 litros graduado a cada litro, com o auxílio de uma bureta graduada. A quantidade de óleo diesel consumido pela máquina foi calculada através da eq. (12).

$$\mathrm{CCB} = \frac{\mathrm{Qab}}{\mathrm{Tt}} \quad (12)$$

Em que: CCB – Consumo de óleo diesel (L h^{-1});

Qab – Quantidade abastecida (L);
Tt – Tempo trabalhado (h).

O custo dispendido com combustíveis foi calculado a partir da eq. (13).

$$CHC = CCB * PRL \quad (13)$$

Em que: CHC – Custo horário do combustível (R$ h^{-1});
CCB – Consumo de combustível (L h^{-1});
PRL – Preço de combustível (R$ L^{-1}).

Os reparos e manutenção são essenciais para que o desempenho operacional e a confiabilidade das máquinas sejam garantidos. Esses custos são associados ao tamanho do equipamento e diretamente ligados ao preço de aquisição, eq. (14). Os fatores de reparo e manutenção, tabela 4, foram obtidos em ASABE (2011). Adotou-se para o cálculo do custo com reparos e manutenção à quantidade de horas de trabalho acumuladas (H), de um ano de trabalho, para todas as alternativas avaliadas. Através desta equação, pode-se estimar a porcentagem do gasto com reparos e manutenção em qualquer momento da vida útil da máquina, em relação ao valor de aquisição da máquina.

Tabela 4 – Fatores de reparo e manutenção

Máquina	FRM (%)
Trator	100
Colhedora tracionada	65
Colhedora autopropelida	50

$$CRM = \frac{FRM * Vi}{VUh} \quad (14)$$

Em que: CRM – Custo de reparos e manutenção (R$ h^{-1});
RFM – Fator de reparo e manutenção (decimal);
Vi – Valor inicial máquina (R$);
VUh – Vida útil em horas (h).

O custo horário total do conjunto (trator e colhedora) foi determinado pela eq. (15).

$$CHT = CFHt + CFHc + CHC + CRMt + CRMc \quad (15)$$

Em que: CHT – Custo hora total conjunto (R$ h^{-1});

CFHt – Custo fixo horário do trator (R$ h^{-1});

CFHc – Custo fixo horário da colhedora (R$ h^{-1});

CHC – Custo do combustível (R$ h^{-1});

CRMt – Custo de reparos e manutenção do trator (R$ h^{-1});

CRMc – Custo de reparos e manutenção da colhedora(R$ h^{-1}).

O custo operacional da colheita (COP) de forrageiras (R$ ha^{-1}) foi calculado através da relação entre o custo horário total da máquina pela capacidade campo operacional, eq. (16). Segundo Milan (2004), o COP reflete a relação entre o custo horário do equipamento ou conjunto e a sua capacidade de trabalho.

$$COP = \frac{CHT}{CcO} \quad (16)$$

Em que: COP – Custo operacional da colheita de forragens (R$ ha^{-1});

CHT – Custo horário total do conjunto (R$ h^{-1});

CcO – Capacidade de campo Operacional (ha h^{-1}).

O custo da biomassa colhida (CBC) expresso em (R$ t^{-1}) foi calculado através da relação entre o custo horário total da máquina pela capacidade de processamento, eq. (17).

$$CBC = \frac{CHT}{CP} \quad (17)$$

Em que: CBC – Custo biomassa colhida (R$ t^{-1});

CHT – Custo horário total do conjunto (R$ h^{-1});

CP– Capacidade de processamento (t h^{-1}).

3.3 Estimativa da demanda energética

Para a determinação da demanda energética da colheita mecanizada de milho e cana-de-açúcar para alimentação suplementar de bovinos foi adotada a metodologia de fluxos de material proposta por Romanelli e Milan (2010). Para o calculo do custo utilizou-se um microcomputador portátil (*notebook*) marca Dell, com processador CORE I5™, 4 Gb de memória RAM, HD de 500 Gb. Os *softwares* utilizados foram Microsoft® Excel® 2010 e Microsoft®Office® 2010.

O fluxo de insumos diretamente aplicados foi determinado pela prescrição técnica de acordo com as taxas de aplicação. Insumos indiretamente aplicados devem ser considerados os componentes que permitem a determinação de trabalho.

Conversão energética é uma metodologia que consiste em transformar insumos e produtos em coeficientes energéticos correspondentes. Nesse estudo foi calculado pela multiplicação da quantidade do produto físico pelos respectivos índices de incorporação energética.

A conversão energética dos fatores de produção envolvidos na colheita de forragem foram respaldada na literatura (PIMENTEL et al., 1973; DOERING III et al., 1977; CASTANHO FILHO; CHABARIBERI, 1983; MACEDÔNIO; PICCHIONI, 1985; ULBANERE, 1988; COMITRE et al., 1993; CAMPOS et al., 1998; CAMPOS, 2001; ROMANELLI; MILAN, 2005), adequando cada fator às características da situação estudada. Energia indireta considerada no sistema foi depreciação, combustível e a mão-de-obra. O cálculo da demanda energética eq. (18).

$$DE = Emd + Ec + Et \quad (18)$$

Em que: DE – Demanda energética para colheita de forragem (MJ ha^{-1});

Emd – Energia consumida para produção e depreciação de máquinas (MJ ha^{-1});

Ec – Energia do combustível consumido (MJ ha^{-1});

Et – Energia consumida pela mão de obra (MJ ha^{-1}).

O cálculo da depreciação energética do conjunto motomecanizado foi realizado, similarmente à depreciação econômica eq. (19). Segundo Ulbanere (1988), máquinas motoras apresentam demanda específica de energia (DE), de 68,86 MJ kg^{-1} para serem fabricadas, enquanto que as movidas demandam 57,22MJ kg^{-1}.

$$Emd = \frac{(M * DEE)}{(CcO * Vu)} \quad (19)$$

Em que: Emd – Depreciação do conjunto (MJ ha^{-1});

M – Massa da máquina (kg);

DEE – Demanda especifica de energia para máquinas (MJ kg^{-1});

CcO – Capacidade de campo operacional (ha h^{-1});

Vu – Vida útil da máquina (h).

A energia despendida com combustível por área foi determinada pela eq. (20). O Índice de conversão energética do óleo diesel, considerado neste estudo foi de 38,6 MJ L^{-1} (ULBANERE; FERREIRA, 1988).

$$Ec = \frac{(Cb * fc)}{CcO} \quad (20)$$

Em que: Ec – Energia combustível (MJ ha^{-1});

Cb – Consumo de combustível (L h^{-1});

fc – Energia incorporada no combustível (MJ l^{-1});

CcO – Capacidade campo operacional (ha h^{-1}).

A energia dispendida pela mão-de-obra, eq. (21) foi determinada pela relação da quantidade de homens-hora, empregadas nas operações pela quantidade de horas trabalhadas. De acordo com Serra et al. (1979), um homem exige 2,2 MJ h^{-1}. Zanini et al. (2003) e Campos et al. (1998) utilizaram o mesmo valor energético para o trabalho humano na agricultura, para a energia empregada na produção de silagem.

$$Et = \frac{(JT * Ce)}{At} \quad (21)$$

Em que: Et - Energia consumida pelo trabalho humano (MJ ha^{-1});

JT – Jornada de trabalho (h);

Ce - Consumo de energia humana pelo trabalho (MJ h^{-1});

At – Área trabalhada (ha).

3.4 Análise de sensibilidade

Para identificar os fatores críticos que mais influenciam no sistema de produção e consequentemente na lucratividade da colheita de forragens, utilizou-se a análise de sensibilidade nos componentes do custo horário e da demanda energética, com intuito de analisar quais dos seus componentes impactam mais o custo da colheita mecanizada. A análise consistiu em aumentar em 10% cada uma das variáveis e registrar o aumento percentual em relação ao custo da colheita mecanizada calculado no cenário inicial. Essa técnica foi proposta por Noronha (1981) e utilizada na gestão de sistemas mecanizados por Milan (1992) e Romanelli e Milan (2005). As variáveis analisadas na parte dos custos foram: valor inicial (VI), valor final (VF), vida útil (VU), gasto com alojamento seguro e taxa (ASTA), custo de oportunidade (juros), mão-de-obra (MDO), gasto com reparos e manutenções (FRM), potência da máquina motora (POT), salário do tratorista (ST) e encargos sociais (EN). AS variáveis analisadas no parâmetro da demanda energética foram: capacidade de campo operacional (CcO), massa, vida útil, consumo de combustível e jornada de trabalho. Para a análise da importância de cada um dos componentes no custo horário, utilizou-se para cada conjunto mecanizado avaliado um gráfico de Pareto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento realizado sobre as marcas e os modelos das colhedoras de forragens disponíveis no Brasil, a partir de dados da ABIMAQ, indicou que 10 empresas comercializam estas máquinas, sendo que existem 27 modelos, sendo 25 máquinas tracionadas e dois modelos autopropelidas importadas. As características das colhedoras tracionadas são apresentadas na tabela 5. Existe uma grande variação na demanda de potência para tracionar as colhedoras e na capacidade de processamento. Essas variações podem ser explicadas devido a versatilidade desses equipamentos, que podem ser utilizados para colher qualquer forrageira. Outras características como peso da colhedora e forrageira colhida também interferem na demanda de potência e capacidade de processamento das colhedoras. Essas informações foram obtidas nos manuais técnicos das colhedoras, fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 5 – Características técnicas das colhedoras avaliadas*

Conjuntos	**Forma de acionamento**	**Modo de deslocamento**	**Potência Acionamento (kW)**	**Sistema Picador**	**Capacidade processamento (t h^{-1})**
MILHO 1	Cardan e correia	Arrasto	40,4	**Tambor 10 facas**	9 a 50
MILHO 2	Cardan e correia	Arrasto	55,1	**Tambor 10 facas**	30 a 65
MILHO 3	Transmissão IVLOC™	Autopropelida	-	Rotor 48 facas	120 a 200
CANA-DE-AÇÚCAR	Cardan	Arrasto	66,2	Tambor 10 facas	9 a 50

*Características técnicas fornecidas pelos fabricantes das colhedoras

A produtividade de biomassa (kg ha^{-1}) e a porcentagem de matéria seca das forrageiras colhidas em cada alternativa são apresentadas na tabela 6. As alternativas milho 1 e milho 2 foram realizadas na mesma área por isso a produção de biomassa foram consideradas iguais. A colhedora autopropelida operou na área que apresentou a maior produtividade de massa verde (82.986,0 kg ha^{-1}). A produtividade na área com cana-de-açúcar foi de 74.166,6 kg ha^{-1}.

Em relação à porcentagem de matéria seca apenas em milho 3, a forrageira foi colhida com a porcentagem abaixo do que é recomendado na literatura. Segundo Cruz (1998), a planta a ser ensilada deve ser colhida com teor de matéria seca em torno de 28 a 33%. Para os

outros conjuntos avaliados, a porcentagem de matéria seca se encontra dentro da faixa de umidade ideal para a colheita.

Tabela 6 – Produção de biomassa e matéria seca

Conjuntos	Prod. Biomassa (kg ha^{-1})	Matéria Seca (%)	Massa Seca (kg ha^{-1})
MILHO 1	47.109,3	32,0	15.074,9
MILHO 2	47.109,3	32,0	15.074,9
MILHO 3	82.986,0	25,9	21.526,6
CANA-DE-AÇÚCAR	74.166,6	25,0	18.541,7

A quantidade de horas trabalhadas assim como o consumo de combustível é apresentada na tabela 7.

Tabela 7 – Horas trabalhadas dia e consumo de combustível

Conjuntos	Horas trabalhadas (h)	Volume Combustível (L)	Consumo (L h^{-1})	Consumo de Combustível (L ha^{-1})	Área Colhida (ha)
MILHO 1	7,76	72,9	9,4	67,14	1,13
MILHO 2	7,43	101,1	13,6	48,57	2,15
MILHO 3	2,09	116,2	55,6	29,11	3,84
CANA-DE-AÇÚCAR	1,20	21,4	17,8	71,20	0,30

Milho 3 foi o que apresentou maior consumo de combustível horário em relação as alternativas analisadas, 55,6 L h^{-1}. Isso é devido a maior potência da máquina, porém quando se observa o consumo de combustível por área, esse conjunto apresenta o menor consumo 29,11 l ha^{-1}, devido ao fato de que essa colhedora avaliada apresentou a maior capacidade de campo operacional (CcO) e portanto demanda menor tempo para colher um hectare .

O consumo de combustível por área mostrou que quanto maior a capacidade de trabalho do conjunto mecanizado, menor o consumo de combustível por área.

Para milho 1, milho 2 e cana-de-açúcar, o comportamento foi inverso. O consumo de combustível por hora foi menor que o consumo de combustível por área, isso devido à baixa capacidade operacional apresentada em cada conjunto avaliado.

Os parâmetros operacionais das máquinas são apresentados na tabela 8. De acordo com Molin et al. (2006), informações sobre a capacidade operacional de máquinas são necessárias no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas tomadas de decisões pela administração, visando sua otimização.

Tabela 8 – Parâmetros operacionais das colhedoras de forragens

Conjuntos	**Largura efetiva (m)**	**Velocidade Efetiva (km h^{-1})**	**CcT (ha h^{-1})**	**CcE (ha h^{-1})**	**CcO (ha h^{-1})**	**Eficiência Operacional (%)**	**CP (t h^{-1})**
MILHO 1	0,80	3,38	0,40	0,27	0,14	51,85	6,85
MILHO 2	1,61	3,25	0,80	0,52	0,28	53,84	13,65
MILHO 3	5,37	4,65	3,30	2,50	1,91	76,40	158,51
CANA-DE-AÇÚCAR	1,50	2,23	0,75	0,33	0,25	76,66	18,74

Observa-se que as colhedoras tracionadas (milho 1, milho 2 e cana-de-açúcar), possuem menor capacidade operacional em relação à colhedora autopropelida, isso devido a menor largura de trabalho e velocidade. Essa maior capacidade de campo operacional se reflete diretamente no custo operacional, assim como na qualidade da silagem, devido a menor necessidade de tempo para completar a colheita e fechar o silo e a uniformidade da biomassa colhida. Em relação à eficiência operacional dos conjuntos avaliados, os conjuntos milho 1 e 2, foram inferiores quando comparados, ao conjunto milho 3 e a cana-de-açúcar. O conjunto mecanizado, denominado cana-de-açúcar, apresentou o melhor resultado, isso pode ser explicado pelo fato de que nessa operação, não houve interrupções da colheita devido à falta de carretas transportadoras, o que aumentou o tempo de trabalho nesse cenário. A capacidade de processamento, indica o quanto de produto a máquina é capaz de processar por hora, esse parâmetro mostrou a superioridade do conjunto milho 3, em relação aos outros conjuntos avaliados.

4.1 Custo da colheita de forragens

O custo horário total do conjunto (CHT) assim como o custo operacional (COP) e o custo por tonelada de biomassa colhida (CBC) são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 – Custos de colheita

Conjuntos	CHT (R$ h^{-1})	COP (R$ ha^{-1})	CBC (R$ t^{-1})
MILHO 1	57,7	411,9	8,4
MILHO 2	71,8	256,4	5,3
MILHO 3	491,5	257,3	3,1
CANA-DE-AÇÚCAR	98,3	393,2	5,2

O custo horário total (CHT) é menor para as colhedoras tracionadas (milho 1, milho 2 e cana-de-açúcar) devido ao menor valor de aquisição do conjunto (trator e colhedora), o que reflete em menor custo fixo, quando se compara a colhedora autopropelida (milho 3) que possui alto valor de aquisição e consequentemente alto custo fixo.

Utilizando-se a eq. (11) estimou-se a porcentagem de custo fixo anual em relação ao valor inicial das máquinas, 14,69% para todos os conjuntos motomecanizados avaliados.

Em relação ao custo operacional da colheita de milho, em milho 2 apresentou o menor custo operacional 256,4 R$ ha^{-1}, seguido pela alternativa milho 3 com 257,3 R$ ha^{-1}, para cana-de-açúcar, o custo operacional foi de 393,2 R$ ha^{-1} e por último, milho 1 apresentou custo de 411,9 R$ ha^{-1}. Os altos valores do custo operacional refletem a baixa capacidade de trabalho desses conjuntos, onerando o custo operacional da colheita. Em relação ao custo da tonelada de biomassa colhida (Ct), em milho 3 apresentou o menor custo 3,1 R$ t^{-1} em seguida o conjunto cana-de-açúcar com custo de 5,2 R$ t^{-1} em milho 2 com custo de 5,3 R$ t^{-1}, o conjunto milho 1 apresentou o custo de 8,4 R$ t^{-1}. A composição dos custos horários da colheita mecanizada de milho e cana-de açúcar, para as alternativas avaliadas são apresentadas na tabela 10.

Tabela 10 – Composição do custo horário para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		Depreciação	Juros	ASTA	MDO	Manutenção	Combustível	Total
		R$ h^{-1}						
MILHO 1	Trator	4,7	3,8	1,3	9,4	6,7	17,9	**43,8**
	Colhedora	4,6	3,8	1,3	-	4,3	-	**14,0**
	Total	9,3	7,5	2,7	9,4	11,0	17,9	**57,7**
MILHO 2	Trator	5,3	4,3	1,5	9,4	7,5	25,8	**53,7**
	Colhedora	6,0	4,8	1,7	-	5,5	-	**18,1**
	Total	11,2	9,1	3,2	9,4	7,5	25,9	**71,8**
MILHO 3	Colhedora	133,9	108,8	38,3	9,4	95,6	105,5	**491,5**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	7,7	6,3	2,2	9,4	11,0	33,8	**70,4**
	Colhedora	9,2	7,5	2,6	-	8,6	-	**28,0**
	Total	16,9	13,8	4,8	9,4	19,6	33,8	**98,3**

Em milho 1 o componente que mais onerou na composição do custo horário, foi o combustível com 17,9 R$ h^{-1}. A depreciação foi o maior componente do custo para a colhedora representando 4,6 R$ h^{-1}, para o trator esse item representou 4,7 R$ h^{-1}. Reparos e manutenção para colhedora e trator foram de 4,3 R$ h^{-1} e 6,7 R$ h^{-1}, respectivamente. Os juros representaram 3,8 R$ h^{-1} para colhedora e trator. O custo com alojamento, seguro e taxa (ASTA), foi de 1,3 R$ h^{-1} para colhedora e trator. O valor da mão de obra (MO) representou 9,4 R$ h^{-1}.

O custo com o trator representou 75,9% do total gasto em milho 1, enquanto a colhedora representou 24,1%. A relação entre o custo fixo e o custo variável para essa alternativa de colheita foi de 50,1%.

Em milho 2 o consumo de combustível também foi o item que mais impactou no custo da colheita do milho com 25,8 R$ h^{-1}, isso devido a maior potência exigida na operação pela colhedora de 2 fileiras. O gasto com depreciação foi o maior componente do custo para a colhedora 6,0 R$ h^{-1}, para o trator este item foi o quarto componente e representou 5,3 R$ h^{-1}, o custo referente ao juro, foi 4,8 R$ h^{-1} e 4,3 R$ h^{-1} para a colhedora e o trator, respectivamente. Os gastos com alojamento, seguro e taxa (ASTA), foram 1,7 R$ h^{-1} para colhedora e 1,5 R$ h^{-1} para o trator. Reparos e manutenção foram de 5,5 R$ h^{-1} para colhedora e 7,5 R$ h^{-1} para trator. O custo com o trator representou 74,8% do total gasto em milho 2, enquanto a colhedora representou 25,2%. Nessa alternativa, o custo fixo representam 45,8% do custo horário do conjunto.

Em milho 3, o maior componente do custo horário foi a depreciação com 133,9 R$ h^{-1}, seguido pelo juros 108,8 R$ h^{-1}, o consumo de combustível foi o terceiro maior componente 105,6 R$ h^{-1}, o quarto componente do custo horário foi reparos e manutenção com o gasto de 95,6 R$ h^{-1}, seguro e taxas 38,3 R$ h^{-1}, e o menor componente do custo foi a mão de obra representou 9,4 R$ h^{-1}.

Para esse conjunto, devido ao alto valor de aquisição da colhedora os custos fixos foram maiores que os custos variáveis, representando 59,1%.

Em cana-de-açúcar o consumo de combustível foi o componente que mais impactou no custo da colheita com 33,8 R$ h^{-1}, devido à necessidade de potência para cortar e picar a cana-de-açúcar. O gasto com depreciação foi o maior componente do custo para a colhedora representando 9,2 R$ h^{-1} já para o trator este item foi o quarto maior componente com 7,7 R$ h^{-1}, os juros foram responsáveis por 7,5 R$ h^{-1} para a colhedora e 6,3 R$ h^{-1} para o trator. Os gastos com alojamento, seguro e taxa (ASTA), foram 2,6 R$ h^{-1} para colhedora e 2,2 R$ h^{-1} para o trator. Reparos e manutenção foram 8,6 R$ h^{-1} para colhedora e 11,0 R$ h^{-1} para trator. O custo com o trator representou 71,6% do total gasto nesse conjunto, enquanto a colhedora representou 28,4%. Os custos fixos são menores que os custos variáveis e representam 45,7%.

A composição do custo operacional da colheita mecanizada de milho e cana-de açúcar, para as alternativas avaliadas são apresentadas na tabela 11.

Tabela 11 – Composição do custo operacional para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		**Depreciação**	**Juros**	**ASTA**	**MDO**	**Manutenção**	**Combustível**	**Total**
		R$ ha^{-1}						
MILHO 1	Trator	33,6	27,1	9,3	67,1	47,9	127,9	**312,0**
	Colhedora	32,9	27,1	9,3	-	30,7	-	**99,9**
	Total	**66,4**	**53,6**	**19,3**	**67,1**	**78,6**	**127,9**	**411,9**
MILHO 2	Trator	18,9	15,4	5,4	33,6	26,8	92,1	**191,8**
	Colhedora	21,4	17,1	6,1	-	19,6	-	**64,6**
	Total	**40,0**	**32,5**	**11,4**	**33,6**	**26,8**	**92,1**	**256,3**
MILHO 3	Colhedora	70,1	57,0	20,1	4,9	50,1	55,3	**257,3**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	30,8	25,2	8,8	37,6	44,0	135,2	**281,6**
	Colhedora	36,8	30,0	10,4	-	34,4	-	**111,6**
	Total	**67,6**	**55,2**	**19,2**	**37,6**	**78,4**	**135,2**	**393,2**

Para milho 1, em relação ao custo operacional, o item que mais impactou foi o consumo de combustível representado 31,0%, seguido pela gasto com reparos e manutenção com 19,0%, mão de obra com 19.3% o quarto item que mais onerou no custo operacional foi

a depreciação com 16,1%, os juros representam 13,1% os gastos com alojamento, seguro e taxas representaram 4,6% do custo operacional.

Observando-se a composição do custo operacional para milho 2, o item que mais impactou foi o consumo de combustível representado 36,0%, seguido pela gasto com reparos e manutenção com 18,2%, depreciação com 15,6% o quarto item que mais onerou no custo operacional foi a mão de obra com 13,1%, os juros representam 12,7% os gastos com alojamento, seguro e taxas representaram 4,5%.

Para milho 3, em relação ao custo operacional, o item que mais impactou foi a depreciação representado 27,2%, seguido pelo consumo de combustível com 21,5 o terceiro item componente do custo operacional foi os juros com 22,1% o quarto item que mais onerou no custo operacional foi o gasto com reparos e manutenção com 19,5%, os gastos com alojamento, seguro e taxas representaram 7,8% o gasto com mão de obra representou 1,9%.

Analisando-se o conjunto cana-de-açúcar, em relação ao custo operacional, o item que mais impactou foi o consumo de combustível representado 34,4%, seguido pelos gastos com reparos e manutenção com 19,9% a depreciação foi o terceiro maior componente do custo operacional com 17,2% o quarto item que mais onerou no custo operacional foi os gastos com juros representando 14,0%, os gastos com mão de obra representou 9,5%, e por último o item menos representativo em relação ao custo operacional foi o gasto com alojamento seguro e taxas representaram 4,9%.

A composição do custo por tonelada de biomassa colhida para colheita mecanizada de milho e cana-de açúcar são apresentadas na tabela 12.

Tabela 12 – Composição do custo por massa de forrageira colhida para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		**Depreciação**	**Juros**	**ASTA**	**MDO**	**Manutenção**	**Combustível**	**Total**
		R$ t^{-1}						
MILHO 1	Trator	0,7	0,6	0,2	1,4	1,0	2,6	**6,4**
	Colhedora	0,7	0,6	0,2	-	0,6	-	**2,0**
	Total	**1,4**	**1,1**	**0,4**	**1,4**	**1,6**	**2,6**	**8,4**
MILHO 2	Trator	0,4	0,3	0,1	0,7	0,5	1,9	**3,9**
	Colhedora	0,4	0,4	0,1	-	0,4	-	**1,3**
	Total	**0,8**	**0,7**	**0,2**	**0,7**	**1,0**	**1,9**	**5,3**
MILHO 3	Colhedora	0,8	0,7	0,2	0,1	0,6	0,7	**3,1**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	0,4	0,3	0,1	0,5	0,6	1,8	**3,8**
	Colhedora	0,5	0,4	0,1	-	0,5	-	**1,5**
	Total	**0,9**	**0,7**	**0,3**	**0,5**	**1,0**	**1,8**	**5,2**

Milho 3 apresentou o menor custo por tonelada de biomassa colhida 3,1 R$ t^{-1}, seguido pelo conjunto cana-de-açúcar o custo da biomassa colhida foi de 5,2 R$ t^{-1} o conjunto milho 2 apresentou o custo de 5,3 R$$t^{-1}$. O conjunto milho 1 apresentou o maior custo para a colheita de forragem com custo de 8,4 R$ t^{-1}

A composição dos componentes do custo horário, custo operacional e custo por tonelada de biomassa colhida são apresentadas na tabela 13.

Tabela 13 – Participação dos componentes no custo para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		**Depreciação**	**Juros**	**ASTA**	**MDO**	**Manutenção**	**Combustível**	**Total**
		%						
MILHO 1	Trator	8,1	6,6	2,3	16,3	11,5	31,0	**75,8**
	Colhedora	8,0	6,5	2,3	-	7,5	-	**24,2**
	Total	**16,1**	**13,1**	**4,6**	**16,3**	**19,0**	**31,0**	**100,0**
MILHO 2	Trator	7,3	5,9	2,1	13,1	10,5	36,0	**74,8**
	Colhedora	8,3	6,8	2,4	-	7,7	-	**25,2**
	Total	**15,6**	**12,7**	**4,5**	**13,1**	**18,2**	**36,0**	**100,0**
MILHO 3	Colhedora	27,2	22,1	7,8	1,9	19,5	21,5	**100,0**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	7,8	6,4	2,2	9,5	11,2	34,4	**71,6**
	Colhedora	9,4	7,6	2,7	-	8,7	-	**28,4**
	Total	**17,2**	**14,0**	**4,9**	**9,5**	**19,9**	**34,4**	**100,0**

Para milho 1 o componente mais expressivo foi combustível representando 31,0% do gasto total, seguido pelo gasto com reparos e manutenção (FRM) representou 19% os gastos com mão-de-obra (MDO) representou 16,3%, a depreciação foi o quarto item que mais onerou o custo, representando 16,1%, sendo 8,1% referente ao trator e 8,0% da colhedora, o gasto com juros representou 13,1% sendo que 6,6% oriundo do trator e 6,5% da colhedora, ASTA representou 4,6% do custo horário.

Para milho 2, o maior componente foi o consumo de combustível representando 36,0% do custo horário total, seguido pelo gasto com reparos e manutenção que representou 18,2%, a depreciação representou 15,6% sendo que deste total o trator representa 7,3% e a colhedora 8,3% o quarto item foi a mão-de-obra com gasto de 13,1%, os juros representou 12,7% do custo, o gasto com alojamento seguro e taxa (ASTA) representou 4,5%.

Em milho 3 houve uma inversão nos componentes mais impactantes, a depreciação foi o item mais relevante representando 27,2%, seguida pelos juros com 22,1% o gasto com combustível representou 21,5%, o quarto item mais relevante foi os gastos com reparos e manutenção representando 19,5% do custo horário, alojamento seguro e taxas (ASTA) 7,8% e por último o gasto com mão-de-obra (MDO) representando ambos 1,9%.

Para cana-de-açúcar, o maior componente foi o combustível representando 34,4% seguido pelo gasto com reparos e manutenção representou 19,9% do custo horário a depreciação representou 17,2%, o quarto item mais importante é o juros representando 14% do custo, a mão-de-obra representou 9,5% do custo horário, o gasto com alojamento, seguro e taxa (ASTA) representou 4,9% do custo.

Na figura 3 é apresentado o gráfico de Pareto para milho 1. Para a olheita mecanizada de milho observa-se que os quatro maiores componentes do custo horário foram, combustível reparos e manutenção (FRM), mão-de-obra (MDO), depreciação e juros, representam 95,4% do custo horário total da colheita.

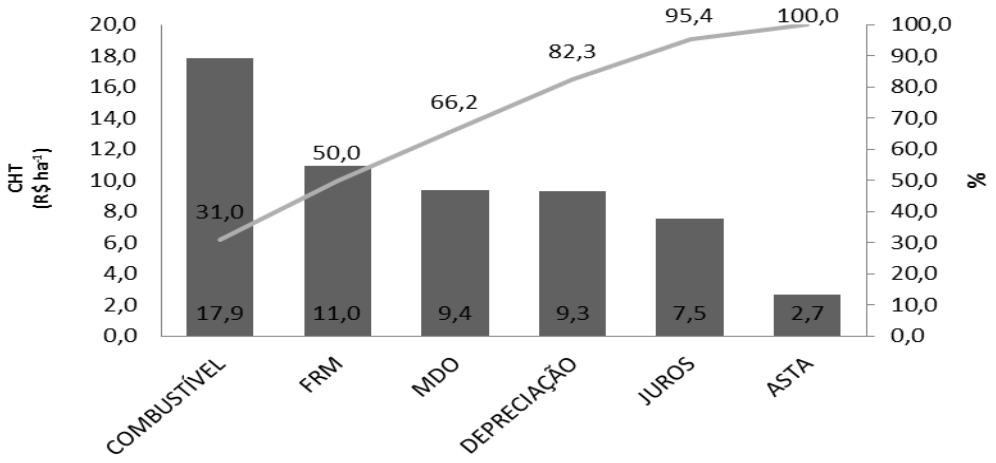


Figura 3 – Composição do custo horário para colhedora tracionada de forragem de uma fileira de milho

Na figura 4 é apresentado o gráfico de Pareto para milho 2. Para a colheita mecanizada de milho observa-se que os quatro maiores componentes do custo horário foram, combustível, reparos e manutenção (FRM), depreciação, mão-de-obra (MDO), e juros, representam 95,5% do custo total da colheita. Sendo estes elementos os mais relevantes e consequentemente os itens que devam ser trabalhados e melhorados.

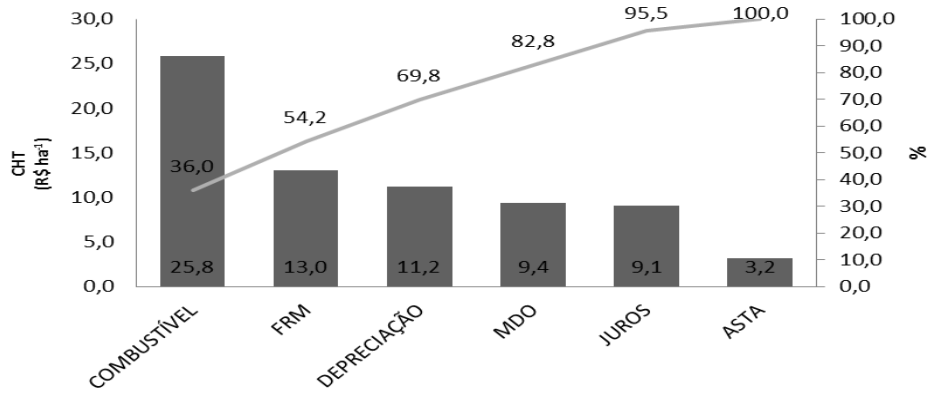


Figura 4 – Composição do custo horário para colhedora tracionada de forragem de duas fileiras de milho

Na figura 5 é apresentado o gráfico de Pareto para milho 3. Para a colheita mecanizada de milho para silagem observa-se que os quatro maiores componentes do custo horário, depreciação (DEP), juros, combustível (CCB) e reparos e manutenção (FRM), representam 90,3% do custo total da colheita. Sendo estes elementos os mais relevantes e consequentemente os itens que devam ser trabalhados e melhorados.

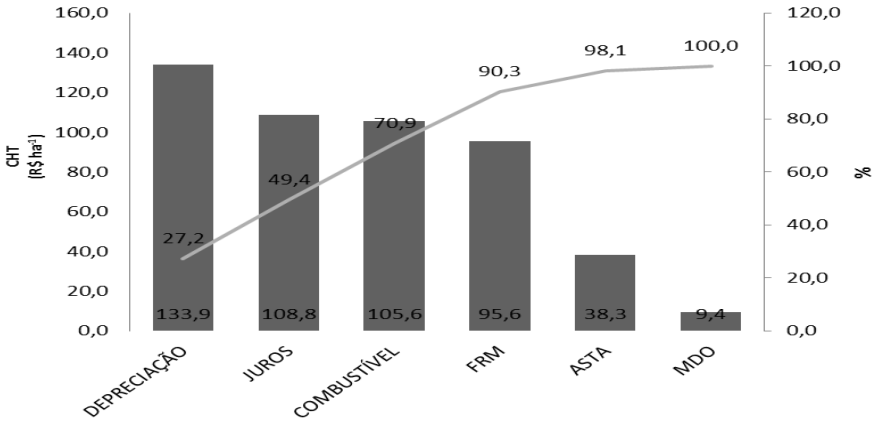


Figura 5 – Composição do custo horário para colhedora autopropelida de forragem de milho

Na figura 6 é apresentado o gráfico de Pareto para cana-de-açúcar. Observa-se que os quatro maiores componentes do custo horário, combustível, reparos e manutenção (FRM) depreciação (DEP), juros e mão-de-obra (MDO), representam 95,1% do custo total da colheita. Sendo estes elementos os mais relevantes e consequentemente os itens que terão de ser trabalhados e melhorados.

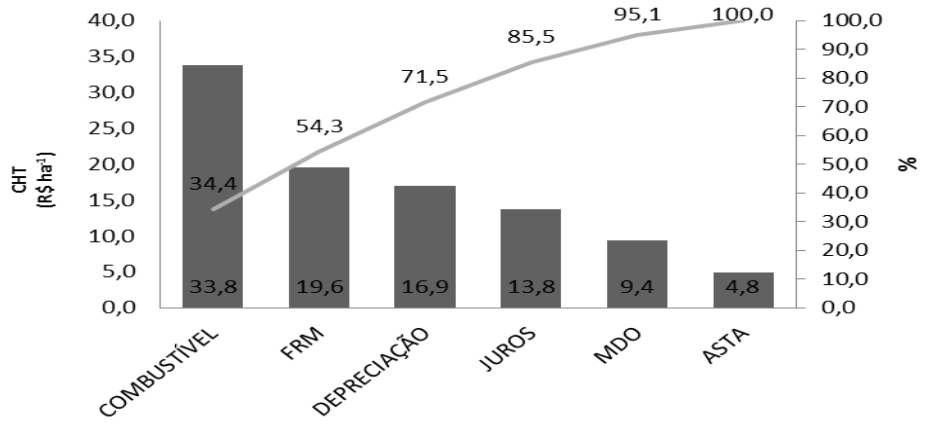
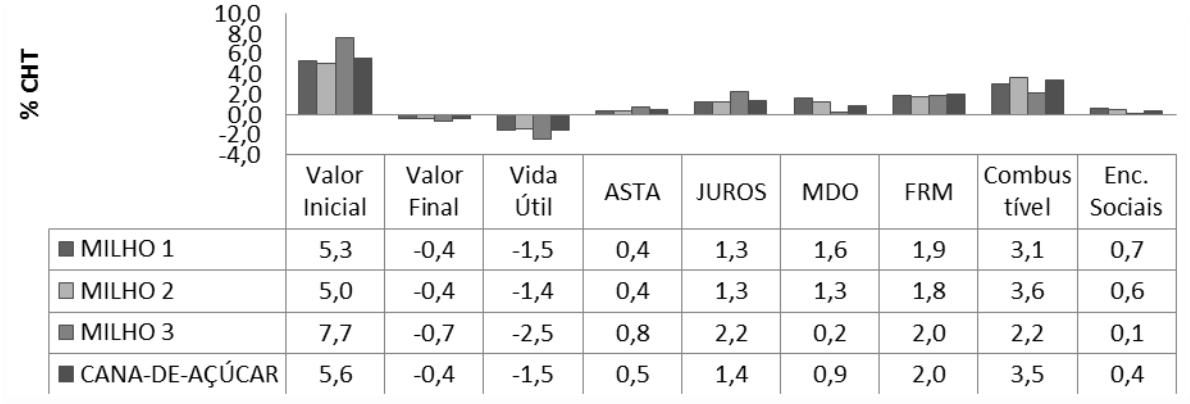


Figura 6 – Composição do custo horário para colhedora tracionada de forragem de uma fileira de cana-de-açúcar

Na figura 7 é apresentado o resultado da análise de sensibilidade das alternativas avaliadas.



	Valor Inicial	Valor Final	Vida Útil	ASTA	JUROS	MDO	FRM	Combustível	Enc. Sociais
MILHO 1	5,3	-0,4	-1,5	0,4	1,3	1,6	1,9	3,1	0,7
MILHO 2	5,0	-0,4	-1,4	0,4	1,3	1,3	1,8	3,6	0,6
MILHO 3	7,7	-0,7	-2,5	0,8	2,2	0,2	2,0	2,2	0,1
CANA-DE-AÇÚCAR	5,6	-0,4	-1,5	0,5	1,4	0,9	2,0	3,5	0,4

Figura 7 – Análise de sensibilidade para os conjuntos motomecanizados avaliados

O valor inicial das máquinas (VI), foi parâmetro mais sensível à variação no custo horário da colheita, para todos os conjuntos mecanizados avaliados, houve um aumento de 5,3% a 7,7% no custo final, portanto esse parâmetro necessita de maior atenção. Os itens relacionados com consumo de combustível e reparo e manutenção também foram bastante sensíveis à alteração. Os juros apresentaram variação de 1,3% a 2,2% no custo da colheita. As variáveis, vida útil (VU) e valor final (VF) apresentaram redução no custo horário da colheita. O fator mais relevante, para a redução do custo foi o aumento na vida útil do maquinário com redução de 1,4% a 2,5%. O valor final das máquinas reduziu o custo na ordem de 0,4% a 0,7%.

4.2 Demanda energética para colheita de forragens

A demanda energética na operação de colheita mecanizada para as alternativas avaliadas são apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 – Demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		DEP	COMB	MDO	Total
		MJ ha^{-1}			
MILHO 1	Trator	153,6	2591,7	-	**2745,3**
	Colhedora	95,3	0,0	15,1	**110,4**
	Total	248,9	2591,7	15,1	**2855,7**
MILHO 2	Trator	100,5	1874,9	-	**1975,3**
	Colhedora	67,5	0,0	7,6	**75,1**
	Total	168,0	1874,9	7,6	**2050,5**
MILHO 3	Colhedora	110,7	1123,6	1,2	**1235,5**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	158,5	2748,3	-	**2906,8**
	Colhedora	123,6	0,0	8,8	**132,4**
	Total	282,1	2748,3	8,8	**3039,2**

Em milho 1, houve uma preponderância no uso da energia fóssil, através do combustível, que foi o maior componente da demanda energética, com gasto de 2.591,7 MJ ha^{-1}, o gasto energético referente a depreciação do maquinário (DEP) foi de 248,9 MJ ha^{-1}, a mão-de-obra apresentou baixos valores, sendo o item que menos impactou na demanda energética com 15,1 MJ ha^{-1}. Seiki et al. (2009) calculou a demanda energética de 347,148 MJ ha^{-1} para colheita de milho utilizando um trator de potência nominal de 63,2 kW e uma colhedora de forragens de uma linha, isso considerando apenas o consumo de combustível, essa diferença no valor pode se dar ao baixo consumo de combustível avaliada em seu trabalho 7,4 l h^{-1}. Em milho 2, o combustível representou o maior gasto energético, 1.874,9 MJ ha^{-1}, a depreciação do maquinário representou 168,0 MJ ha^{-1} e a mão de obra o gasto energético foi de apenas 7,6 MJ ha^{-1}.

Em milho 3, o gasto energético com óleo diesel foi de 1.123,6 MJ ha^{-1}, o gasto com depreciação foi de 110,7 MJ ha^{-1} e a mão de obra foi o item menos relevante com 1,2 MJ ha^{-1}.

Para cana-de-açúcar, o gasto energético com combustível representou 2.748,3MJ ha $^{-1}$, a depreciação do maquinário demandou 282,1 MJ ha $^{-1}$ e a mão-de-obra 8,8 MJ ha $^{-1}$.

Entre as alternativas avaliadas para colheita mecanizada de milho para silagem, milho 3 foi a que apresentou menor demanda energética 1,23 GJ ha $^{-1}$ seguido por milho 2 que teve a demanda energética calculada em 2,05 GJ ha $^{-1}$, milho 1 registrou a maior demanda energética para a colheita com 2,85 GJ ha $^{-1}$, entre as alternativas avaliadas o conjunto mecanizado denominado cana-de-açúcar demandou 3,03 GJ ha^{-1}. Salla et al., (2009) relata que o consumo energético para colheita de cana-de-açúcar foi de 1,90 GJ ha^{-1}, valor relativamente baixo quando comparado ao valor encontrado nesse trabalho. Esses resultados mostram a influência da capacidade operacional da máquina na redução do consumo de energia, pois entre as alternativas avaliadas as máquinas com maior capacidade de trabalho apresentaram menores demandas energéticas. Comparando-se as demandas energéticas para as alternativas de colheita mecanizada analisadas com milho 1, em milho 2, demandou 71,8% . Para milho 3, a demanda energética por área foi 43,3% em relação a milho 1. Já para cana-de-açúcar a demando foi de 106,4%.

A demanda energética por massa de forrageira colhida, para as quatro alternativas de colheita de forragens avaliadas são apresentadas na tabela 15.

Tabela 15 – Demanda energética por massa de forrageira colhida para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		**DEP**	**COMB**	**MDO**	**Total**
		MJ t^{-1}			
MILHO 1	Trator	3,3	55,0	0,3	**58,6**
	Colhedora	2,0	-	-	**2,0**
	Total	5,3	55,0	0,3	**60,6**
MILHO 2	Trator	2,1	39,8	0,2	**42,1**
	Colhedora	1,4	-	-	**1,4**
	Total	3,6	39,8	0,2	**43,5**
MILHO 3	Colhedora	1,3	13,5	0,01	**14,9**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	2,1	37,1	0,1	**39,3**
	Colhedora	1,7	-	-	**1,7**
	Total	3,8	37,1	0,1	41,0

Comparando-se as demandas energéticas por massa de forrageira colhida para as três alternativas de colheita mecanizada em milho 1 demandou 406,7% a mais de energia por tonelada de forrageira colhida, quando comparada a milho 3, para milho 2 a demanda energética por massa colhida foi 291,9% superior em relação a milho 3. Cana-de-açúcar demandou 275,2% a mais de energia para por tonelada de forrageira colhida, quando comparada com milho 3. A demanda energética por hora da operação de colheita das forrageiras avaliadas é apresentada na tabela 16.

Tabela 16 – Demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		DEP	COMB	MDO	Total
		——————MJ h^{-1}——————			
MILHO 1	Trator	21,5	362,8	2,1	**384,3**
	Colhedora	13,3	0,0	-	**15,5**
	Total	34,8	362,8	2,1	**399,8**
MILHO 2	Trator	28,1	525,0	2,1	**553,1**
	Colhedora	18,9	0,0	-	**21,0**
	Total	47,0	525,0	2,1	**574,1**
MILHO 3	Colhedora	211,4	2146,2	2,3	**2359,8**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	39,6	687,1	2,2	**728,9**
	Colhedora	30,9	-	-	**30,9**
	Total	70,5	687,1	2,2	**759,8**

Em relação à demanda energética, as máquinas com menor capacidade operacional apresentou menor demanda energética.

A composição da demanda energética, para as alternativas avaliadas são apresentadas na tabela 17.

Tabela 17– Composição da demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados

Conjuntos		DEP	COMB	MDO	Total
		——————%——————			
MILHO 1	Trator	5,4	90,8	0,5	**96,7**
	Colhedora	3,3	-	-	**3,3**
	Total	8,7	90,8	0,5	**100,0**
MILHO 2	Trator	4,9	91,4	0,4	**96,7**
	Colhedora	3,3	-	-	**3,3**
	Total	8,2	91,4	0,4	**100,0**
MILHO 3	Colhedora	9,0	90,9	0,1	**100,0**
CANA-DE-AÇÚCAR	Trator	5,2	90,4	0,3	**95,9**
	Colhedora	4,1	-	-	**4,1**
	Total	9,3	90,4	0,3	**100,0**

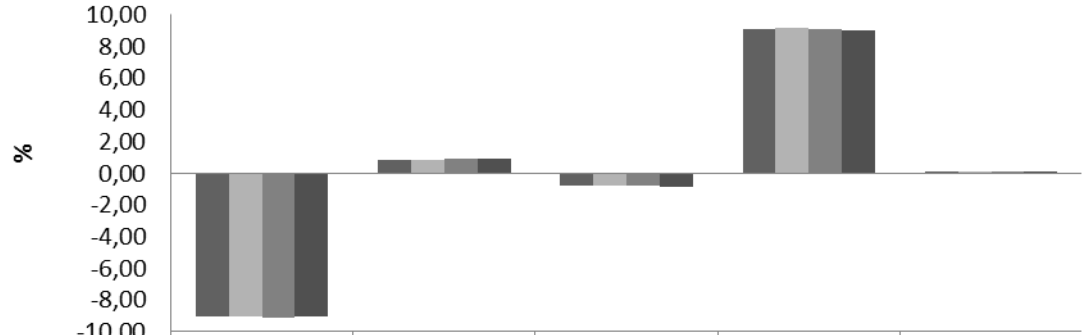
O consumo de combustível foi o item predominante para milho 1, responsável por 90,8% da demanda energética para colheita mecanizada, a depreciação do maquinário, representou 8,7% sendo 5,4% referente ao trator e 3,3% da colhedora, A mão-de-obra foi responsável por apenas 0,5% da demanda energética.

Para milho 2 o consumo de combustível foi o item mais representativo, responsável por 91,4% da demanda energética para colheita mecanizada do milho, a depreciação do maquinário representou 8,2% sendo 4,9% referente ao trator e 3,3% da colhedora. A mão-de-obra representou apenas 0,4% da demanda energética nesta alternativa.

O consumo de combustível foi o item predominante para milho 3, responsável por 90,4% da demanda energética para colheita mecanizada do milho, a depreciação da colhedora representou 9,0%, A mão-de-obra representou apenas 0,1% da demanda energética nesta alternativa.

O consumo de combustível foi o item mais importante para cana-de-açúcar, responsável por 89,67% da demanda energética para colheita mecanizada, a depreciação do conjunto representou 9,3% sendo 5,2% referente ao trator e 4,1% da colhedora. A mão-de-obra representou apenas 0,3% da demanda energética nesta alternativa.

Foi realizada uma análise de sensibilidade para os itens que compõe a demanda energética para as alternativas avaliadas neste trabalho Figura 8.



	CcO	MASSA	VIDA ÚTIL	COMBUSTÍVEL	JORNADA DE TRABALHO
MILHO 1	-9,04	0,87	-0,79	9,08	0,05
MILHO 2	-9,06	0,82	-0,75	9,14	0,03
MILHO 2	-9,08	0,90	-0,82	9,10	0,01
CANA-DE-AÇÚCAR	-9,06	0,93	-0,85	9,04	0,01

Figura 8 - Análise de sensibilidade da demanda energética para os conjuntos motomecanizados avaliados

Com o aumento de 10% na capacidade de campo operacional (CcO), houve uma redução na ordem de 9,0% na demanda energética. A vida útil também é importante para baixar a demanda energética, porém menos relevante, com redução em torno de 0,8% da demanda energética.

O consumo de combustível é o item mais relevante na demanda energética para colheita mecanizada de forrageiras, e um aumento de 10% no consumo, aumentou em torno de 9,0% a demanda energética, Alterando-se a massa houve um aumento em torno de 0,9% na demanda energética para as alternativas avaliadas.

5 CONCLUSÕES

O conjunto mecanizado milho 1 apresentou custo horário de 57,7 R$ h^{-1}, já para milho 2 o custo horário foi de 71,8 R$ h^{-1}, milho 3 apresentou custo horário de 491,5 R$ h^{-1}, o custo horário do conjunto cana-de-açúcar apresentou custo de 98,3 R$ h^{-1}.

Em relação ao custo operacional o conjunto mecanizado milho 1 foi de 411,9 R$ ha^{-1}, já para milho 2 o custo operacional foi de 256,3 R$ ha^{-1}, milho 3 apresentou custo operacional de 257,3 R$ ha^{-1}, o custo operacional do conjunto cana-de-açúcar foi de 393,2 R$ ha^{-1}.

Em relação ao custo por massa de forrageira colhida, o conjunto milho 1 apresentou custo de 8,4 R$ t^{-1}, para milho 2 o custo por massa foi de 5,3 R$ t^{-1}, milho 3 apresentou custo de 3,1 R$ t^{-1}, por fim o custo para o conjunto cana-de-açúcar foi de 5,2 R$ h^{-1}.

A colhedora autopropelida apresentou o melhor resultado quanto ao custo de biomassa colhida, os conjuntos milho 2 e cana-de-açúcar apresentaram custos por massa colhida parecidos. O conjunto milho 2 apresentou o menor custo operacional seguido pelo conjunto milho 3.

Entre os componentes do custo os itens mais sensíveis foram: valor inicial das máquinas, consumo de combustível, reparos e manutenção, juros, mão-de-obra, alojamento taxas e seguros e encargos sociais, os fatores vida útil e valor final apresentaram comportamento inverso dos outros componentes e reduziram o custo.

As máquinas de maior potência apresentaram maior valor de energia agregada por hora, principalmente em função da quantidade de óleo diesel consumida e da massa das máquinas. Entretanto quando se compara a demanda energética por área essas máquinas apresentam menores demanda.

O maior componente na demanda energética em todas as alternativas avaliadas para colheita mecanizada foi devido ao fluxo de energia direta, proveniente do consumo de combustível, seguido pela depreciação do maquinário o menor componente da demanda energética foi à mão-de-obra.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.C.F.; BUENO, C.; SEIKO, M.; ESPERANCINI, T. Avaliação energética econômica da cultura do milho em assentamento rural. **Revista Engenharia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 105-122, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. D497.6: agricultural machinery management data. In: _____. **ASAE standards 2009.** St. Joseph, 2009. p. 1-9.

_____. D497.7: agricultural machinery management data. In: _____. **ASAE standards 2011.** St. Joseph, 2011. p. 1-7.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A.T.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica, **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 443-455, set./dez. 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CONFINADORES. Disponível em: <http://www.assocon.com.br >. Acesso em: 16 ago. 2012.

BAL, M.A.; SHAVER, R.D.; SHINNERS, K.J. Stage of maturity, processing, and hybrid effects on ruminal in situ disappearance of whole-plant corn silage. **Animal Feed Science and Technology**, Madison, v. 86, p. 83-94, 2000.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1990. 309 p.

BALIEIRO NETO, G.; FERRARI JUNIOR, E.; NOGUEIRA, J.R.; POSSENTI, R.; PAULINO,V.T.; BUENO, M.S. Perdas fermentativas, composição química, estabilidade aeróbia e digestibilidade aparente de silagem de cana-de-açúcar com aditivos químico e microbiano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 621-630, 2009.

BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A.; NOGUEIRA, J.R.; ROTH, M.T.P.; ROTH, A.P.T.P. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1231-1239, 2007.

BALSALOBRE, M.A.A.; FERNANDES, R.A.T.; SANTOS, P.M. Corte e transporte da cana-de-açúcar para consumo animal. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., 1999, Piracicaba. **Alimentação suplementar:** anais... Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 7-26.

BEAUCHEMIN, K.A.; McALLISTER, T.A.; DONG, Y.; FARR, B.I.; CHENG, K.J. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. **Journal of Animal Science,** Stanford, v. 72, n. 1, p. 236-246, 1994.

BORGES, P.M.; NIIYAMA, O.K.; BRAGA JÚNIOR, A.; VOLPATO, C.E.S.; RAVELO, G.F.; SANTOS, L.M. Análise dos ciclos de tensões em colhedoras de forragens **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 704-711, set./dez. 2004.

BRASIL. Assessoria de gestão Estratégica. **Projeções do agronegócio: Brasil 2010/2011 a 2020/2021. 2011.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJECOES%20DO%20AGRONEGOCIO%202010-11%20a%202020-21%20sintese2_0.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2012.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sumário nacional de touros raça nelore, edição 2004.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; Uberaba: ABCZ, [2005]. 1 CD-ROM.

BRIDGES, T.C.; SMITH, E.M. A method for determining the total energy input for agricultural practices, **Transactions of the ASAE**, St, Joseph, v. 22, p. 781–784, 1979.

BUCKMASTER, D.R. **Equipment matching for silage harvest.** St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p. 384-390. (Manuscript, PM 7036).

BUENO, O.C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural**. 2002. 146 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista ”Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

CAETANO, H.; OLIVEIRA, M.D.S.; FREITAS JÚNIOR, J.E.; RÊGO, A.C.; CARVALHO, M.V.; RENNÓ, F.P. Bromatological evaluation of eleven corn cultivars harvested at two cutting heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 11-17, 2012.

CAMPOS, A.T. **Balanço energético relativo à produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite.** 2001. 236 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agrossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CAMPOS, A.T.; FERREIRA, W.A.; YMAGUCHI, L.C.T.; RESENDE, ALMEIDA, F.M. Balanço econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite. **Engenharia Rural**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 1-20, jul. 1998.

CAMPOS, A.T.; ZANINI, A.; PRESTES, T.M.V.; DALMOLIN, M.F.S.; CAMPOS, A.T.; DAGA, J. Balanço energético e sustentabilidade na produção de silagem de milho. **Encontro de Energia no Meio Rural**, M. C. Rondon, v. 1, n. 5, p. 6, 2004.

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

CASTANHO FILHO, E.P.; CHABARIBERY, D. Perfil econômico da agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 30, n. 1/2, p. 63-115, 1983.

CASTOLDI, G.; COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L.A.M.; PIVETTA, L.A.; STEINER, F. Sistema de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem de milho. **Revista Acta Scientiarum agronomy**, Maringá, v. 33 n. 1, p. 139-146, 2011.

COAN, R.M.; FREITAS, D.; REIS, R.A.; NAKAGI, S.S. Volumosos suplementares: estratégias para entressafra. In: COAN, R.M. (Ed.). **Gestão competitiva para a pecuária**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. p. 115-146.

CODAGNONE, H.C.V.; CARDOSO, R.M.; CASTRO. A.C.G.; SILVA, M.A. Silagem de milho e feno de aveia (*Avena bizantina, L.*) na alimentação de vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 17, n. 6, p. 487-497, 1998.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da cultura da soja na região de Ribeirão Preto – SP.** 1993. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/ Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

_____. A eficiência energética na atividade florestal. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 25, n. 10, p. 61-67, 1995.

COSTA, C. **Valor alimentício e aspectos econômicos de volumosos e de grãos de milho ensilado e seco no confinamento de bovinos criados no sistema super precoce**. 2001 69 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

CRUZ, J.C. Cultivares de milho para silagem. In: ENCONTRO NACIONAL DOS ESTUDANTES DE ZOOTECNIA, 1998, Viçosa. **Anais…** Viçosa: UFV, 1998. p. 93-114.

DOERING III, O.C.; CONSIDINE, T.J.; HARLING, C.E. **Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis**. West Lafayette: Purdue University, 1977. 4 p. (Agr. Exp. Sta. NSF/RA – 770128).

EDWARDS, W. **Estimating farm machinery costs.** Ames: Iowa State University, 2001. 5 p.

EMBRAPA. **Cana-de-açúcar uma alternativa de alimento para a seca.** Campo Grande, 2002. Disponível em: <http://www.cnpgc.embrapa.br /publicacoes/cot/COT73.html>. Acesso em: 20 jun. 2010.

ESTADOS UNIDOS. Departamento of Agriculture. Disponível em: <http://www.usda.gov>. Acesso em: 21 mar.2012.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FAO. **Livestock's long shadow: environmental issues and options.** Rome, 2006. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e00.htm>. Acesso em: 20 jul. 2010.

_____. **How to feed the world in 2050:** high level expert forum. Rome, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2010.

FERRARO JÚNIOR, L.A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade.** 1999. 132 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

FIEDLER, N.C. **Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira** 1995. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de Viçosa, Viçosa, 1995.

FLUCK, R.C. Energy sequestered in repairs and maintenance of agricultural machinery, **Transactions of the ASAE**, St, Joseph, v. 28, n. 3, p. 738–744, 1985.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **ANUALPEC 2011:** anuário da pecuária brasileira. São Paulo, 2011. 378 p.

FRANÇA, G.E.; COELHO, A.M. Adubação do milho para silagem. In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.S.; FERREIRA, J.J. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p. 1-14.

FREITAS, A.W.P.; PEREIRA, J.C.; ROCHA, F.C.; DETMANN, E.; RIBEIRO, M.D.; COSTA, M.G.; LEONEL,F.P. Características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano e hidróxido de sódio e acrescida de resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia,** Viçosa, v. 35, n. 1, p. 48-59, 2006.

GADANHA JÚNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YAHN, C.H.; TOMIMORI, S.M.A. Máquinas e implementos agrícolas do Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468 p.

GARCIA, R.F.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. Análise de tensões na faca de corte de uma colhedora de forragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 219-223, 1998.

GARCIA, R.F.; QUEIROZ, D.M.; FERNANDES, H.C.; PETERNELLI, *I.A.* Desempenho operacional de conjunto trator – recolhedora de feijão. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 199-206, 2005.

GREEN, M.K.; STOUT, B.A.; SEARCY, S.W. Instrumentation package for monitoring tractor performance. **Transactions of the ASAE,** St. Joseph, v. 28, n. 2, p. 346, 1985.

HARRY, G.G.; FONTES, J.M.; MACHADO, C.C.; SANTOS, S.L. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV; SIF, 1991. p. 57-75.

HART, R.D.; JIMÉNEZ, T.; SERPA, R. **Análises energético de sistemas agrícolas**, Turrialba: UCR/CATIE, 1980. p. 3-14.

HESLES, J.B.S. **Objetivos e princípios da análise energética, análise de processos industriais, análise energética:** métodos e convenções. Rio de Janeiro: Preprint AIECOPPE; UFRJ, 1981. 137 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 abr. 2012.

JACOVINE, L.A.G.; VIANA, W.D.; ALVES, R.R.; WALTER, M.K.C.; SILVA, M.L.;

ALVERDE, S.R. Environmental approach of companies with in the pulp/paper, metallurgy call and sugar/alcohol sectors. **Scientia Agrícola,** Piracicaba, v. 66, p. 1-7, 2009.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A.; SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 101-119, 2007. Suplemento especial.

JOHNSON, L.M.; HARISSON, J.H.; DAVIDSIN, D. Corn silage management: effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 208-231, 2003.

KUNG JÚNIOR, L.; STANLEY, R.W. Effect of stage of maturity on the nutritive value of whole-plant sugarcane preserved as silage. **Journal of Animal Science**, Honolulu, v.54, p. 689-696, 1982.

LEONEL, F.P.; PEREIRA, J.C.; COSTA, M.G.; JÚNIOR, P.M.; SILVA, C.J.; LARA, L.A. Consórcio capim-braquiária e milho: Comportamento produtivo das culturas e características nutricionais e qualitativas das silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 166-176, 2009.

LOPES, R.P.; AFONSO, A.D.L.; SILVA, J.S. **Energia no pré-processamento de produtos agrícolas:** secagem e armazenamento de produtos agrícolas. Viçosa: UFV, 2000. 1 CD-ROM.

LUCCI, C.S. **Nutrição e manejo de bovinos leiteiros**. São Paulo: Manole, 1997. 170 p.

MACEDÔNIO, A.C.; PICCHIONI, S.A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária.** Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. v. 1.

MACHADO, C.C.; MALINOVSKI, J.R. **Ciência do trabalho florestal.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 65 p.

MERCANTE, E.; SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A.; GABRIEL FILHO A.; URIBE-OPAZO, M.A.; PRAPRAG: software para planejamento racional de máquinas agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 322-333, mar./abr. 2010.

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

_____. **Máquinas agrícolas ensaios e certificação.** Piracicaba: FEALQ, 1996. 722 p.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento estratégico.** 2004. 100 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MOHARRERY, A.; HVELPLUND, T.; Weisbjerg, M.R. Effect of forage type, harvesting time and exogenous enzyme application on degradation characteristics measured using in vitro technique. **Animal Feed Science and Technology** V. 153, Issues 3–4, 24 September 2009, P. 178–192.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002. p. 409-436.

MOLIN, J.P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M.G.T.; CASTRO, C.N.; GIMENEZ, L.M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 759-767, 2006.

MUELLER, J.P.; GREEN, J.T.; KJELGAARD, W.L. **Corn silage harvest techniques**: national corn handbook, 2001.Disponível em: <http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/NCH49.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**.7th ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381 p.

NEUMANN, M.; SANDINI, I.E.; OST, P.R.; FALBO, M.K.; LUSTOSA, S.B.C.; PELLEGRINI, L.G. Desempenho de novilhos confinados alimentados com silagens de milho ou sorgo, associadas a três níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Santa Maria, v. 6, n. 3, p. 365-378, 2007.

NEUMANN, M.; MÜHLBACH, P.R.F.; NÖRNBERG, J.L.; OST, P.R.; RESTLE, J.; SANDINI, I.E.; ROMANO, M.A. Características da fermentação da silagem obtida em diferentes tipos de silos sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 847-854, maio/jun. 2007.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I.L.; NÖRNBERG, J.L.; MELLO, R.O.; PELLEGRINI, L.G.; SOUZA, A.N.M. Comportamento produtivo e custo de produção de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. MOENCH) para silagem. **Revista Brasileira de**

Milho e Sorgo, Santa Maria, v. 2, n. 3, p. 43-54, 2003.

NUSSIO, L.G. Produção de silagem de milho de alta qualidade para animais de alta produção. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1991. p. 33-42.

_____. Milho e sorgo para produção de silagem. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. **Volumosos para bovinos.** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 75-178.
_____. Cana. Depois de se impor em pequenos confinamentos, ela começa a atrair os grandes. Para isso tem de vencer o desafio da ensilagem. **Revista DBO Rural**, São Paulo, n. 6, p.104-112, 2003.

NUSSIO, L.G.; MANZANO, R.P. Silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS: ALIMENTAÇÃO SUPLEMENTAR, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 27-46.

NUSSIO, L.G.; ZOPOLLATTO, M. **Determinação do ponto de maturidade ideal para colheita do milho para silagem**. Disponível em: <http://www.planoconsultoria.com.br/site/artigos/silagem_coplacana.htm>. Acesso em: 12 maio 2011.

OJIMA, A.L.R.O. Análise econômica da produção de soja, município de Guaíra, Estado de São Paulo, safra 2005/06. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina. **Conhecimentos para a agricultura do futuro:** anais... Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/6/81.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012.

PANESAR, B.S. Integrating spatial and temporal models: an energy example. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. **Agricultural systems modeling and simulation.** New York: Marcel Dekker, 1998. p. 93-111.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F.; LOURES, D.R.S.; IGARASI, M.S.; COELHO, R.M.; PACKER, I.H.; HORII, J.; GOMES, L.H. Dinâmica da fermentação e da microflora epífita em silagem de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 427-432, 2005.

PEREIRA, O.G.; RIBEIRO, K.G.; PEREIRA, D.H. Produção e utilização de forragens conservadas. In: Semana de Zootecnia, 2, Diamantina. Anais... Diamantina. MG. 2004. p. 75-118.

PHIPPS, R.H.; PAIN, B.F.; MULVANY, P.M. A comparison of the energy output/input

relationship for forage maize and grass leys on the dairy farm. **Agriculture and** Environmental, Amsterdam, v. 3, n. 1, p. 15-20, 1976.

PIMENTEL, D.; HURD, L.E.L.; BELLOTTI, A.C. Food production and energy crises. **Science,** New York, v. 182, p. 443-449, 1973.

PRACUCHO, T.T.G.M.; ESPERANCINE, M.S.T.; BUENO, O.C. Análise energética e econômica da produção de milho (Zea mays) em sistema de plantio direto em propriedades familiares no município de Pratânia - SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 94-109, 2007.

RAMOS, F.J.G. Remolque salto carga dores y cosechadoras de forraje. **Revista Vida Rural**, n. 208, p. 76-81, 2005. Disponível em: <http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Vrural%5CVrural_2005_208_76_81.pdf> . Acesso em 25 agosto 2010.

RAMOS, F.J.G.; CANAVATE, J.O. Cosechadoras de forraje, características, ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de picadoras movies. **Revista Vida Rural**, Barcelona **,**n. 105, 2000 págs. 60-63. Disponível em: <http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural%2FVrural_2000_105_60_63.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2010.

RICHETTI, A. Custo de produção de mandioca industrial, safra 2007. **Comunicado Técnico,** Dourados, n. 133, p. 5, 2007.

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G. Custos de colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, 1981/82. **Álcool & Açúcar,** São Paulo, v. 2, n. 2, p. 18-26, 1982.

RIPOLI, T. C.; MOLINA JR, W. F. Cultura canavieira: um desperdício energético. Maquinaria Agrícola, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 2-3, 1991.

ROCHA, F.C.; GARCIA, R.; FREITAS, A.W.P.; SOUZA, A.L.; GOBBI, K.F.; VALADARES FILHO, S.C. TONUCCI, R.G.; ROCHA, G.C. Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 2163-2171, 2006.

RODRIGUES, J.A.S.; SILVA, F.E.; GONÇALVES, L.C. Silagem de diferentes cultivares de sorgo forrageiro colhidos em diversos estádios de desenvolvimento. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., 1996, Londrina. **Anais...** Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1996. p. 269.

ROMANELLI, T.L. Sustentabilidade energética da cana-de-açúcar. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar:** colheita, energia e ambiente. 2. ed. Piracicaba: Os Autores, 2009. v. 1, p. 304-312.

ROMANELLI, T.L.; MILAN, M. Energy balance methodology and modeling of supplementary forage production for cattle in Brazil. **Science in Agricultural,** University Park, v. 62, p. 1-7, 2005.

_____. Energy balance methodology and modeling of supplementary forage production for cattle in Brazil. **Scentia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 375-383, 2010.

ROMANELLI, T.L.; NARDI, H.S.; SAAD, F.A. Material embodiment and energy flows as efficiency indicators of soybean (Glycine max) production in Brazil. **Revista de EngenhariaAgrícola,** Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 261-270, 2012.
ROMANELLI, T.L.; COHEN, M.J.; MILAN, M.; BROWN, M.T. Emergy synthesis of intensive eucalyptus cultivation in São Paolo, Brazil. **Forest Science**, Gainesville, v. 54, p. 228-241, 2008.

ROTZ, C.A.; BLACK, J.R.; MERTENS, D.R.; BUCKMASTER, D.R. DAFOSYM: A model of the dairy forage system. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 2, n. 1, p. 83-91, 1989.

SANTOS, M.C.; NUSSIO, L.G.; MOURÃO, G.B.; SCHIMIDT, P.; MARI, J.L., RIBEIRO, J.L.; QUEIROZ. O.C.M.; ZOPOLATO, M.; SOUZA, D.P.; SARTURI, J.O. Nutritive value of sugar cane silage treated. **Sciencia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 159-163, 2009b.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; EUCLIDES, V.P.B.; JÚNIOR, J.I.R.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MOREIRA, L.M. Produção de bovinos em pastagens de capim-braquiária diferidas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 635-642, 2009a.

SCHLOSSER, J.F.; DORNELLES M.E.; PINHEIRO E.D.; DURIGON, R.; RUSSINI, A. Uniformidade de picado processado por colhedora de forragem. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 299-306, 2010.

SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. **Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 51, n. 3, p. 301-310, 1994.

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

SEKI, A.S.; BENEZ, S.H.; SILVA, P.R.A.; YANO, E.H.; MELLO, L.M.M. Demanda energética nas operações mecanizadas na silagem de milho no sistema de "silo bag" **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 424-430, jul./set. 2009.

SERRA, G.E.; MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J.; HEEZEN, A.M. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas.** São Paulo: Ministério da Indústria e Comércio, Secretaria de Tecnologia Industrial, 1979. 86 p.

SILVA, S.L. **Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento.** 2000. 113 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2000.

SILVA, J.S.; MARION, J.C.; SEGATTI, S. **Administração de custos na agropecuária.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 165 p.

SILVEIRA, G.M. **Máquinas para a pecuária.** São Paulo: Nobel, 1997. 167 p.

SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A.; SCHOCKEN-ITURRINO, R.P.; BERNARDES, T.F.; PIRES, A.J.V.; ROTH, M.T.P.; ROTH. A.P. Associação entre aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 789-798, 2007.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 80-89, set. 1999.

SOUZA, L.H.; VIEIRA, L.B.; DIAS, G.P.; REGAZZI, A.J. Capacidade de produção e consumo específico de energia em picadoras forrageiras tipo desintegrador/picador/moedor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 88-93, 2009.

TELLARINI, V.; CAPORALI, F. An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Pisa, v. 77, p. 111-123, 2000.

ULBANERE, R.C.; FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para a produção do milho no Estado de São Paulo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 4, n. 1, p. 35-42, 1989.

VEIGA, C.M. **Modelo empírico para a seleção de máquinas agrícolas na cultura da soja considerando a pontualidade na semeadura.** 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

VELHO, J.P.; MÜHLBACH, P.R.F.; NÖRNBERG, J.L. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com resgatadas do Sudeste de Minas Gerais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 159-166, 2010.

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

ZANINI, A.; CAMPOS, A. T.; PRESTES, T. V. M.; DALMOLIN, M. F.; CAMPOS, A. T.de; KLOSOWSKI, E. S. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Revista Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.

ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L.G.; MARI, L.J. Alterações na composição morfológica em função do estádio de maturação em cultivares de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 452-461, 2009.