



# ANÁLISE ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MILHO PARA SILAGEM CULTIVADO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

Felipe Gabriel Lorenzoni Martins<sup>1</sup>, Jackson Antônio Barbosa<sup>2</sup>, Raphael Comanducci da Silva Carvalho<sup>3</sup>, Alessandro Vieira Veloso<sup>4</sup> & Diego Bedin Marin<sup>5</sup>

**RESUMO:** Tendo em vista a crescente demanda por alimentos e uma agricultura cada vez mais desenvolvida, é importante avaliar os impactos causados pelos agroecossistemas no que se refere à sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, o balanço energético constitui uma importante ferramenta para essa avaliação, pois permite contabilizar os “inputs” e “outputs” referentes ao sistema produtivo na forma de energia e determinar a eficiência de cada um. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os fluxos de energia do processo de produção do milho para silagem, cultivado em três espaçamentos, 0,90 m, 0,75 m e 0,60 m. A análise foi feita por meio do acompanhamento da cultura em um período de 204 dias (12/11/2013 a 6/6/2014), sendo cada componente envolvido (direta e indiretamente), quantificado e multiplicado por seus respectivos coeficientes energéticos. Em todos os espaçamentos houve a predominância da energia direta sobre a energia indireta. As eficiências para os espaçamentos 0,90 m, 0,75 m e 0,60 m foram respectivamente 9,50%, 9,30% e 9,69%. A análise energética constitui-se em importante instrumental para avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Balanço energético. *Zea mays*, Cultivo, alimentação animal, ruminante.

## ENERGETIC ANALYSIS OF CORN PRODUCTION FOR SILAGE GROWN IN DIFFERENT SPACING

**ABSTRACT:** Given the increasing demand for food and agriculture increasingly development, it is important to assess the environmental impacts of agroecosystems. In this context, the energy balance is an important tool for this assessment because it allows accounting for the systems energy inputs and outputs and determine its effectiveness. This study aimed to evaluate the energy flows from corn production for silage process, grown in three spacing: 0.90 m, 0.75 m, and 0.60 m. The analysis was done monitoring the culture in a period of 204 days (11/12/2013 to 06/06/2014), quantifying each component involved (directly and indirectly) and multiplying them by each respective energy value. In all spacing there was the predominance of the direct over indirect energy. The efficiencies for spacing 0.90 m, 0.75 m, and 0.60 m were respectively 9.50%, 9.30%, and 9.69%. The energy analysis constitutes an important instrument for assessing the sustainability of production systems.

**KEYWORDS:** Energy balance, *Zea mays*, cultivation, animal feed, ruminant.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por alimentos tornou a busca por maiores produtividades e o incremento de tecnologias uma necessidade. No entanto, esse crescimento causou grande incremento na utilização de combustíveis fósseis, defensivos agrícolas e fertilizantes derivados do petróleo, com consequente aumento no impacto ambiental. Em resposta, novas práticas surgiram com o intuito de tornar os sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes. Nesse contexto, a análise energética tem-se tornado uma importante ferramenta de diagnóstico dos fluxos ou gastos de energia na produção, sendo importante para mensurar a sustentabilidade em

sistemas agrícolas (VELOSO et al., 2012; BIAGGIONI & BOVOLENTA, 2010).

Assim, a importância da análise energética, também conhecida como balanço energético, nos sistemas agrícolas vem sendo demonstrada por diversos pesquisadores (ANGONESE et al., 2006; BIAGGIONI & BOVOLENTA, 2010; CAMPOS et al., 2009; CAMPOS et al., 2005; CAMPOS et al., 2004; CAMPOS et al., 2003; FRIGO et al., 2011; JASPER et al., 2010; MELO et al., 2007; SANTOS & LUCAS JÚNIOR, 2004; SOUZA et al., 2009; VELOSO et al., 2012), e se baseia no princípio físico de conservação de energia, também conhecido como primeiro princípio da termodinâmica, ou seja, a variação de energia em um processo pode ser explicada pelo balanço de energia, isto é, entradas e saídas de energia (ANGONESE et al., 2006; VELOSO et al., 2012).

<sup>1</sup>, <sup>1</sup>, <sup>3</sup>, <sup>4</sup> e <sup>5</sup> Universidade Federal de Lavras. E-mails: [felipe\\_lorenzoni@yahoo.com.br](mailto:felipe_lorenzoni@yahoo.com.br), [jackson@deg.ufla.br](mailto:jackson@deg.ufla.br), [raphael.comanducci@gmail.com](mailto:raphael.comanducci@gmail.com), [veloso.alessandrovieira@yahoo.com.br](mailto:veloso.alessandrovieira@yahoo.com.br), [db.marin@hotmail.com](mailto:db.marin@hotmail.com)

A análise energética visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total, a eficiência energética refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação entrada/saída (energia convertida/energia consumida) e a energia necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto. Nesse processo, quantificam-se todos os insumos utilizados e convertidos, que são transformados em unidades de energia (CAMPOS et al., 2005). Esse procedimento possibilita a determinação dos processos, materiais e equipamentos de maior consumo energético, indicando opções de economia (CAMPOS et al., 2003).

Considerando o consumo de energia pelas atividades agropecuárias, visando à análise energética, Campos & Campos, 2004, classificaram as entradas de energia em:

- Biológica, fóssil e industrial: Na primeira, consideraram-se as energias humana e animal, resíduos de animais e da agroindústria, sementes e mudas, alimentos para animais, adubação verde e cobertura morta; na segunda, os produtos e subprodutos do petróleo, tidos como fontes de energia primária, incluindo adubos químicos e agrotóxicos; e na terceira, são incluídas as máquinas e equipamentos agrícolas à tração mecânica e animal e a energia elétrica;
- Energia que não é utilizada diretamente pelo processo produtivo, ou seja, aquela utilizada pelo homem para seu bem-estar (iluminação, aparelhos eletrodomésticos, etc.) e nos trabalhos após a colheita (operações de beneficiamento, transporte, dentre outras); energia utilizada em operações agrícolas que tornam possível o processo produtivo ou que o torna mais eficiente, mas não fazem parte do produto final, como a fornecida pela mão-de-obra, pelos animais de trabalho e pelas máquinas em operações de aração, gradagem, semeadura, adubação, aplicação de agrotóxicos, podas, capinas e colheita; energia convertida em produto final, gasta na manutenção e no crescimento de animais e plantas ou que será armazenada na forma de alimento ou de material combustível, incluído-se a energia solar utilizada na fotossíntese, e a contida nos nutrientes do solo e nos fertilizantes (ou nos alimentos, no caso de animais);
- Divisão da energia nas categorias direta e indireta.

Nesse contexto, conforme destacaram VELOSO et al. (2012) e CAMPOS & CAMPOS (2004), em trabalhos envolvendo a análise energética de biosistemas, a forma de classificação da energia mais usual tem sido a sua divisão em energia direta e energia indireta, conforme foi observado nos trabalhos de VELOSO et al. (2012), FRIGO et al., 2011, BIAGGIONI & BOVOLENTA (2010), JASPER et al. (2010), CAMPOS et al. (2009), SOUZA et al. (2009), MELO et al. (2007), ANGONESE

et al., (2006), CAMPOS et al. (2005), CAMPOS et al. (2004), SANTOS & LUCAS JÚNIOR (2004), dentre outros.

O milho (*Zea mays L.*) é muito utilizado para produção de forragem e grãos em todo o mundo, devido ao seu grande potencial produtivo e adaptabilidade aos mais diferentes ambientes (ALVAREZ et al., 2006). No Brasil a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) estima que a produção de grãos alcance 78,5 milhões de toneladas na safra 2013/2014 representando um queda em relação à safra 2012/2013 onde foram produzidas 81,5 milhões de toneladas.

Atualmente, o cereal tem sido cultivado em diversos arranjos e densidades populacionais. Segundo Marchão et al. (2005), a melhoria da interceptação da radiação solar através da adoção de um adequado arranjo de plantas constitui-se numa das práticas de manejo mais importantes para potencializar o rendimento de grãos. Diante disso, diversos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de determinar a densidade e o arranjo ótimo.

Segundo Demétrio et al. (2008), o melhor arranjo de plantas é no espaçamento de 0,40 m com uma densidade populacional entre 75.000 e 80.000 plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Kappes et al. (2011), Alvarez et al. (2006) e Marchão et al. (2005). Segundo Brachtvogel et al. (2012), o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição uniforme de plantas por área, ou seja, equidistante entre plantas, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes.

No que se refere à análise energética, diversos autores estimaram a quantidade de energia necessária para produção de milho. Campos et al. (2004) verificaram um gasto de 9.283,43 MJ.ha<sup>-1</sup> na produção de silagem, Riquetti et al. (2012) verificaram um gasto médio de 12.050,33 MJ.ha<sup>-1</sup> na produção de grãos, Santos & Simon (2010) verificaram um gasto de 9.696,97 MJ.ha<sup>-1</sup> na produção de grãos, Almeida et al. (2010) verificaram um gasto energético médio de 4.593,33 MJ.ha<sup>-1</sup> na produção de grãos. Melo et al. (2007) avaliaram o gasto energético em 2 anos consecutivos na mesma propriedade, na safra 2001/2002; o gasto foi de 11.270,23 MJ.ha<sup>-1</sup>, na safra 2002/2003 o gasto foi de 13.771,95 MJ.ha<sup>-1</sup>, ambos no cultivo de milho para grãos.

Lorzadeh et al. (2011) verificaram gasto de energia maior do que os demais autores, 39.295,50 MJ.ha<sup>-1</sup> em cultivo de milho para grãos em Shooshtar (Irã).

Cada vez mais, máquinas maiores e mais potentes estão sendo utilizadas, e o nível de mecanização incrementado nesses sistemas de produção contribuindo para o aumento de energia indireta utilizada. Com isso, o uso de combustíveis fósseis e outros insumos se tornam pontos consideráveis no gasto de energia introduzida no sistema para produção (JASPER et al., 2010).

O trator agrícola é uma das máquinas mais importantes em um sistema produtivo. Devido a sua versatilidade, pode trabalhar com diversos equipamentos, desde o

preparo do solo, tratos culturais até a colheita. Os tratores são, em sua maioria, propelidos por um motor de combustão interna de ciclo diesel. O consumo de combustível depende dentre outros fatores da potência exigida na tração (PALMA et al., 2010).

Palma et al. (2010) verificaram um aumento de 13%, no consumo horário de combustível, para 40% na potência exigida na barra de tração, variando a profundidade da haste sulcadora de uma semeadora-adubadora. Já Bortolotto et al. (2006) verificaram um aumento de 55% no consumo de combustível para um aumento de 55% na potência média exigida na barra variando a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora.

Semeadora-Adubadora é uma máquina que realiza a semeadura e adubação simultaneamente. É dotada de reservatórios de semente e fertilizante e de unidades de semeadura. A potência necessária à tração é diretamente proporcional ao número de unidades de semeadura, sendo maior, quanto mais unidades possuir. Silveira et al. (2005), verificaram que, no espaçamento de 0,45 m, a exigência de força de tração foi 25,4% maior que no espaçamento de 0,90 m, fato explicado pelo maior número de linhas de semeadura no espaçamento (6 contra 4 linhas no espaçamento de 0,90 m). Além disso, a força de tração requerida varia de acordo com o tipo de mecanismo de abertura de sulco (a haste sulcadora requer mais força de tração do que o disco duplo), com a velocidade de deslocamento (maiores velocidades exigem mais potência), com o tipo de solo e com o sistema de cultivo (plantio direto, cultivo mínimo e plantio convencional).

Seki et al. (2012) verificaram que a potência média requerida por linha de semeadura foi de 21 cv para uma velocidade média de 5,4 km.h<sup>-1</sup>, com sistema de abertura de sulco do tipo haste sulcadora a uma profundidade média de 16,78 cm, e de 7,6 cv para uma velocidade média de 5,54 km.h<sup>-1</sup>, com sistema de abertura de sulco do tipo disco duplo a uma profundidade média de 6,15 cm, ambos em um Nitossolo Vermelho distroférrico típico A.

A potência exigida por uma semeadora-adubadora é diretamente proporcional, dentre outros fatores, ao número de unidades de semeadura, ou apenas linhas. Com a redução do espaçamento, há um acréscimo no número de linhas da semeadora, resultando em maior potência necessária à sua tração e maior gasto de combustível. Segundo Campos et al. (2004), o combustível foi responsável por 47% da energia de entrada, sendo assim, o gasto de energia é fortemente afetado pelo consumo de combustível, ou, neste caso, pelo espaçamento entre linhas.

Observa-se que nenhum trabalho foi realizado no sentido de contabilizar a entrada e saída de energia na produção de milho em diferentes espaçamentos. Demétrio et al. (2008) e Kappes et al. (2011) descrevem que, com a evolução dos híbridos e aumento da tecnologia, o milho passou a ser cultivado em espaçamentos reduzidos e com

densidades populacionais maiores do que aquelas praticadas tradicionalmente. Essa redução no espaçamento trouxe um acréscimo de produtividade, verificado por esses autores.

Até o momento não se sabe se o aumento na produtividade é compensatório quando comparado ao aumento da energia de entrada. Para que o sistema seja considerado sustentável, ele precisa ter a maior produtividade com o menor gasto de energia, também conhecido como eficiência energética.

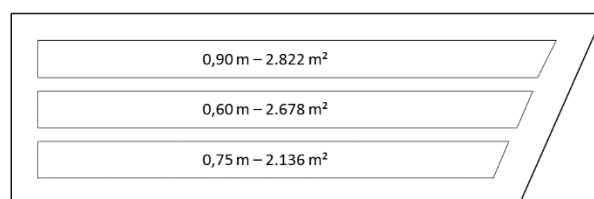
O presente trabalho teve como objetivo avaliar os fluxos de energia do processo de produção do milho para silagem, cultivado em três espaçamentos, 0,90 m, 0,75 m e 0,60 m, durante a condução da cultura no ano agrícola 2013/2014.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da Universidade Federal de Lavras (CDTT-UFLA), localizado no município de Ijaci-MG, que apresenta área total de 119,80 ha, coordenadas 21° 10' S e 44° 55' O, e altitude média de 918 m.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVAd) (EMBRAPA, 2006), de textura argilosa. A precipitação total média anual é de 1.530 mm, temperatura média anual é de 19,4°C e o clima da região é caracterizado como Cwa segundo a classificação climática de Köppen, com verões úmidos e quentes e invernos secos e frios (DANTAS et al., 2007).

A área experimental de 1,245 ha foi dividida em três parcelas para semeadura em três espaçamentos, 0,60 m, 0,75 m e 0,90 m, distribuídas aleatoriamente. A área possuía, além da cobertura vegetal residual da safra de milho anterior, plantas invasoras. A figura 1 representa a divisão da área experimental.



**Figura 1 - Croqui da área experimental.**

Para a realização dos tratos culturais durante a condução do experimento foi utilizado um trator agrícola 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), marca Valtra, modelo A950, com potência nominal de 90 cv (66,2 kW) (ISO 1585: 1996), equipado com pneus traseiros da marca Firestone, modelo SuperAllTraction 23° com dimensões 18.4-34 e pneus dianteiros da marca Goodyear, modelo Dyna Torque II com dimensões 14.9-24. O trator estava lastrado com 75% de água em todos os rodados, dois lastros sólidos de 833,57 N (85 Kgf) em cada rodado

traseiro e seis lastros sólidos de 367,75 N (37,5 Kgf) na parte frontal do chassi.

O consumo de óleo diesel foi contabilizado em cada operação. Para tanto, esse consumo foi mensurado com um medidor volumétrico de coluna graduada com resolução de 1,821 ml mm<sup>-1</sup>.

A aplicação de agrotóxicos foi realizada com um pulverizador montado da marca Jacto, modelo CONDOR 600 M12, com barra de 10 metros e tanque de 600 litros.

A roçada da área foi realizada com uma roçadora montada da marca Piccin, modelo RP1700, com largura de corte de 1,7 m.

A semeadura foi realizada com uma semeadora adubadora pneumática da marca Jumil, modelo JM2680PD, equipada com mecanismo de abertura de sulco do tipo haste sulcadora, 6 unidades de semeadura para o espaçamento de 0,60 m e 4 unidades de semeadura para os espaçamentos de 0,75 m e 0,90 m.

A aplicação da adubação em cobertura foi realizada com um adubador de cobertura da marca Piccin, modelo ACPD, com chassi de 3,7 m, equipado com 4 depósitos. O equipamento foi adaptado para distribuir o adubo sobre o solo.

A colheita do milho no estádio de forragem foi realizada com uma colhedora de forragens da marca Nogueira, modelo Pecus 9004, geração III, de uma linha. O transporte foi realizado com o auxílio de uma carreta agrícola da marca Luma, modelo 5000.

Antes da implantação da cultura, foi realizado levantamento para quantificar a matéria seca na área, onde valor médio obtido foi de 11.988 kg ha<sup>-1</sup> de restos culturais.

Foi realizada a aplicação do herbicida Roundup Original<sup>®</sup>, com dosagem de 4 L ha<sup>-1</sup>, e volume de calda de 240 L ha<sup>-1</sup>, a fim de controlar o crescimento de plantas invasoras. Em seguida, foi realizada a roçada da área com o objetivo de picar e rebaixar a camada de palha.

Para semeadura utilizou-se a semente de milho híbrido BM 840 PRO da marca Biomatrix, transgênica, de ciclo precoce, dupla aptidão (silagem e grãos), BT (*Bacillus thuringiensis*), resistente às principais lagartas e massa média de 60.000 sementes de 143,47 N (14,63 kgf). A população desejada nos três espaçamentos avaliados (0,60 m, 0,75 m e 0,90 m) foi de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

No entanto, devido às condições de regulagem da máquina, as quantidades de sementes por hectare utilizadas acabaram sendo de 66.667 sementes ha<sup>-1</sup> para os espaçamentos de 0,60 m e 0,75 m, e 68.889 sementes ha<sup>-1</sup> para o espaçamento de 0,90 m.

O fertilizante químico utilizado na semeadura foi o NPK 8-28-16. A dose desejada foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> de acordo com recomendação baseada na análise de solo. No

entanto, assim como na semente, as regulagens da máquina não permitiram a aplicação dessa quantidade. Nos espaçamentos de 0,60 m e 0,90 m foram aplicados 399 kg ha<sup>-1</sup>, e no espaçamento de 0,75 m, 396 kg ha<sup>-1</sup>.

Vinte e três dias após a semeadura foi realizada a pulverização de herbicida pós-emergente para o controle de plantas daninhas. Foram aplicados 4 l ha<sup>-1</sup> de Siptran 500 SC<sup>®</sup> (50% Atrazina), 0,24 l ha<sup>-1</sup> de Soberan<sup>®</sup> (42% Tembotriona) e 1 l ha<sup>-1</sup> de Assist<sup>®</sup> (75,6% Óleo Mineral) com volume de calda de 240 l ha<sup>-1</sup>.

A adubação de cobertura foi realizada trinta dias após a semeadura com a formulação 20-0-20 de acordo com recomendação baseada na análise de solo. No espaçamento de 0,60 m foram distribuídos 387 kg ha<sup>-1</sup>, no de 0,75 m foram distribuídos 411 kg ha<sup>-1</sup> e no de 0,90 m foram distribuídos 400 kg ha<sup>-1</sup>.

A colheita foi realizada 101 dias após a semeadura.

A eficiência energética ( $\eta$ ) dos sistemas foi obtida por meio da razão entre toda energia convertida e a energia consumida, com base em estimativas de entradas (“inputs”) e saídas (“outputs”) de energia, obtidas durante o acompanhamento de todo o ciclo, ou seja, desde a dessecação das plantas invasoras até a colheita (136 dias para silagem e 204 dias para grãos), seguindo-se a Equação 1, relatada por Angonese et al. (2006) e Melo et al. (2007):

$$\eta = \frac{\sum E \text{ saída}}{\sum E \text{ consumida}} \quad (1)$$

Onde:

$$\sum E_{\text{Saída}} = \sum (E_{\text{DSaída}} + E_{\text{ISaída}});$$

$$\sum E_{\text{Consumida}} = \sum (E_{\text{DConsumo}} + E_{\text{IConsumo}});$$

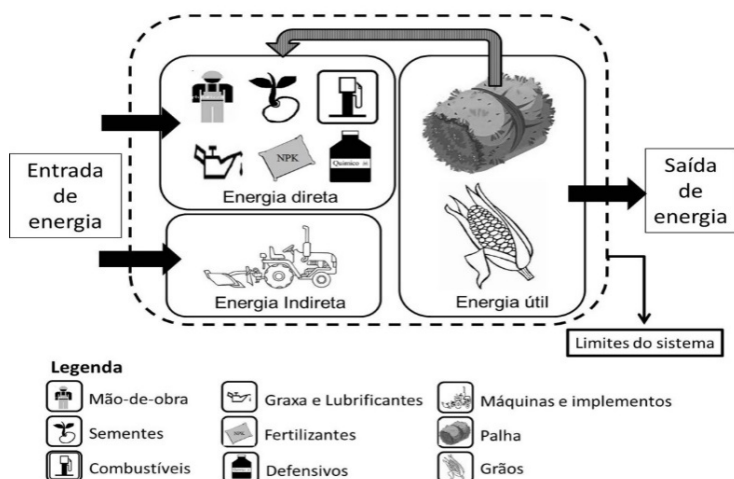
$E_{\text{D}}$  = Estimativa de energia direta;

$E_{\text{I}}$  = Estimativa de energia indireta;

$E_{\text{Saída}}$  = Estimativa de energia útil que sai no processo de produção (em forma de produto);

$E_{\text{Consumida}}$  = Estimativa de energia consumida no processo de produção.

A Figura 2 sumariza os fluxos de energia no sistema de produção de milho.



**Figura 2** - Fluxos de energia em um sistema de produção de milho.

De acordo com metodologia descrita por Assenheimer et al. (2009), o balanço energético foi obtido mediante a transformação em unidades calóricas dos componentes de entrada envolvidos no sistema de produção de milho, seguindo-se os coeficientes energéticos estabelecidos por diversos autores, conforme estão apresentados na Tabela

1. Os coeficientes não encontrados na literatura e aqueles que podem ser facilmente avaliados, como a silagem e os grãos de milho, o adjuvante Assist, a semente e o óleo diesel, foram determinados em bomba calorimétrica, seguindo a norma NBR8633 (ABNT, 1984) de forma análoga a metodologia utilizada por Veloso et al. (2012).

**Tabela 1** - Componentes das entradas energéticas referentes ao sistema de produção de milho e seus respectivos coeficientes energéticos

Componentes de entrada	Unidade	Coefficiente energético	Fonte	Bomba Calorimétrica
Mão-de-obra	MJ homem h <sup>-1</sup>	2,2	Campos et al. (2009)	-
Silagem de Milho	MJ kg <sup>-1</sup>	-	-	17,32
Sementes de milho	MJ kg <sup>-1</sup>	33,22	Riquetti et al. (2012)	18,71
Adubação de base (N)	MJ kg <sup>-1</sup>	74	Romanelli e Milan (2005)	-
Adubação de base (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	MJ kg <sup>-1</sup>	12,56	Romanelli e Milan (2005)	-
Adubação de base (K <sub>2</sub> O)	MJ kg <sup>-1</sup>	6,7	Romanelli e Milan (2005)	-
Herbicida (Glifosato)	MJ kg <sup>-1</sup>	631,8	Pimentel (1980)	-
Atrazina	MJ kg <sup>-1</sup>	188,4	Fluck e Baird (1982)	-
Soberan	MJ kg <sup>-1</sup>	-	-	-
Assist Adjuvante	MJ L <sup>-1</sup>	-	-	38,00
Trator	MJ kg <sup>-1</sup>	69,83	Riquetti et al. (2012)	-
Implementos	MJ kg <sup>-1</sup>	57,2	Assenheimer et al. (2009)	-
Óleo Diesel	MJ L <sup>-1</sup>	38,60	Romanelli e Milan (2005)	37,98
Óleo Lubrificante	MJ L <sup>-1</sup>	39,43	Campos et al. (2004)	-
Graxa	MJ kg <sup>-1</sup>	43,38	Campos et al. (2004)	-

A energia consumida no processo produtivo foi classificada como energia direta e indireta (CAMPOS & CAMPOS, 2004; VELOSO et al., 2012; FRIGO et al., 2011; JASPER et al., 2010; CAMPOS et al., 2009; MELO et al., 2007; ANGONESE et al., 2006; CAMPOS et al., 2005; CAMPOS et al., 2004; SANTOS & LUCAS JÚNIOR, 2004).

Como energia direta, ou seja, a energia aplicada diretamente no sistema produtivo, considerou-se aquela referente aos restos culturais, mão de obra, sementes, óleo diesel, lubrificantes, graxas, fertilizantes e agrotóxicos. Como energia indireta, foi considerada aquela referente à máquinas e equipamentos.

No que se refere ao cálculo da energia consumida por máquinas e equipamentos, foi utilizada a metodologia empregada por Angonese et al. (2006) e Riquetti et al. (2012), a qual consiste na aplicação de um método baseado na depreciação energética, à semelhança da depreciação econômica, que com base na massa das máquinas e equipamentos, consiste em depreciá-los durante sua vida útil. Dessa forma, para execução dos cálculos empregou-se a Equação 2:

$$DEE = \frac{(M.CE).TU}{VU} \quad (2)$$

Onde:

DEE = Demanda específica de energia, em MJ;

M = massa de máquinas ou equipamentos, em kg;

CE = coeficiente energético de máquinas ou equipamentos, em MJ kg<sup>-1</sup>;

VU = vida útil, em horas;

TU = tempo de uso, em horas.

Dessa maneira foi computado o número de vezes da execução de cada tarefa, tempo gasto em cada operação (hora máquina), enquanto a massa das máquinas e equipamentos foi obtida em uma balança da marca Filizola, modelo 3.11.7000, com capacidade máxima de 19.998 Kgf.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vida útil e a massa de cada equipamento estão apresentadas na Tabela 2. As capacidades operacionais, teóricas e efetivas, a eficiência operacional e os consumos de combustível de cada operação estão listados na Tabela 3.

**Tabela 2** - Vida útil e massa dos equipamentos utilizados - CDTT-UFLA - 2013-2014.

EQUIPAMENTO	VIDA ÚTIL (h)	MASSA (N) (kgf)
Trator Valtra A 950	15.000	46.522,75 (4.744)
Pulverizador Jacto CONDOR 600 M12	4.800	2.451,66 (250)
Roçadora Piccin RP1700	4.000	4.118,79 (420)
Semeadora Adubadora Jumil JM2680PD 6L	3.600	22.064,96 (2.250)
Semeadora Adubadora Jumil JM2680PD 4L	3.600	18.514,96 (1.888)
Adubador Piccin ACPD	3.200	3.255,81 (332)
Colhedora de Forragens Nogueira Pecu 9004 III	3.360	6.001,67 (612)
Carreta Luma 5000	6.000	9.080,96 (926)

**Tabela 3** - Capacidades operacionais teóricas e efetivas, Eficiência operacional e Consumos de combustível de cada operação – CDTT-UFLA – 2013-2014.

OPERAÇÃO	ESPAÇAMENTO															
	0,6					0,75					0,9					
	CcT (ha/h)	CcE (ha/h)	Ef (%)	Con (l/h)	Con (l/ha)	CcT (ha/h)	CcE (ha/h)	Ef (%)	Con (l/h)	Con (l/ha)	CcT (ha/h)	CcE (ha/h)	Ef (%)	Con (l/h)	Con (l/ha)	
PULVERIZAÇÃO	4,70	3,11	66%	4,19	1,35	4,70	3,11	66%	4,19	1,35	4,70	3,11	66%	4,19	1,35	
ROÇAGEM	1,14	0,76	67%	5,80	7,63	1,14	0,76	67%	5,80	7,63	1,14	0,76	67%	5,80	7,63	
SEMEADURA	1,69	1,24	73%	6,45	5,20	1,41	1,09	77%	5,76	5,28	1,69	1,28	76%	5,73	4,48	
ADUBAÇÃO	2,79	2,68	96%	4,53	1,69	2,33	1,90	82%	4,63	2,44	2,79	2,17	78%	4,55	2,10	
PULVERIZAÇÃO	4,70	3,56	76%	3,89	1,09	4,70	3,56	76%	3,89	1,09	4,70	3,56	76%	3,89	1,09	
COLHEITA SILAGEM	0,19	0,18	96%	6,31	35,45	0,23	0,21	90%	6,72	32,00	0,28	0,28	99%	7,21	26,22	
				MÉDIA	TOTAL				MÉDIA	TOTAL				MÉDIA	TOTAL	
				SILAGEM	5,20	52,41			SILAGEM	5,17	49,79			SILAGEM	5,23	42,86

Cct – Capacidade de campo teórica; Cce – Capacidade de campo efetiva; Ef – Eficiência operacional; Con – Consumo.

Os resultados referentes à energia consumida (“inputs”) e convertida (“outputs”) no sistema de produção de milho para silagem estão descritos na Tabelas 4. As Figuras 3 e 4 mostram a participação de cada rubrica energética na energia consumida direta e indiretamente, respectivamente.

Da energia empregada nos sistemas de produção, o maior consumo foi da energia direta sobre a indireta, em todos os espaçamentos estudados (Tabelas 4), corroborando os resultados de pesquisa encontrados por Veloso et al. (2012), Frigo et al. (2011), Campos et al. (2009), Campos et al. (2005) e Campos et al. (2004).

Por sua vez, é importante considerar que, em alguns casos, foi constatada a preponderância da energia indireta sobre a direta (COSTA & BUENO, 2010; JASPER et al., 2010), fato este que pode ser justificado pela metodologia utilizada por esses autores, que classifica a energia em biológica, fóssil e industrial, a qual é diferente da metodologia utilizada nesse trabalho.

Os fertilizantes responderam significativamente pelo consumo de energia direta, com destaque para a adubação em cobertura, que apresenta um elevado teor de nitrogênio. No que se refere a esta rubrica energética, Jasper et al. (2010), Campos et al. (2005) e Campos et al. (2004) também evidenciaram comportamento semelhante.

Conforme esperado, o consumo energético de defensivos e óleo diesel foram expressivos nesse trabalho, corroborando, dessa forma com RIQUETTI et al. (2012), JASPER et al., (2010), CAMPOS et al., (2005) e CAMPOS et al. (2004).

Sobre o óleo diesel, vale mencionar que os problemas relativos ao custo de energia e a esgotabilidade, e considerando a crise energética que é atualmente

vivenciada, o elevado consumo de energia na forma de combustível torna o item um dos principais “estranguladores” do presente sistema em estudo. As soluções visando à redução de consumo energético dentro dessa rubrica são complicadas, uma vez que estariam todas vinculadas à necessidade de redução de utilização desses equipamentos (JASPER et al., 2010).

Outros itens relacionados à energia direta empregada no sistema, como mão-de-obra, sementes, lubrificantes e graxa (Tabela 4), apresentaram valores baixos quando somados. No entanto, de acordo com Veloso et al. (2012) e Santos & Lucas Júnior (2004), é importante ressaltar que na quantificação energética de determinado sistema de produção, componentes com baixo consumo de energia, em termos percentuais, podem ocasionar impactos econômicos, ambientais e sociais importantes.

Em todos os espaçamentos estudados, do total de energia indireta investida no sistema de produção, a rubrica energética mais representativa foi o trator (Tabela 4), seguida pelos equipamentos utilizados para a colheita, colhedora de forragens e carreta agrícola, e pela semeadora adubadora (Tabela 4).

A maior representatividade do trator no consumo de energia indireta deve-se ao fato de esta máquina ser a força motriz primordial para a execução de todos os tratamentos culturais. Em seu balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite, Campos et al. (2004) também evidenciaram a maior composição energética do trator.

Após o trator, a capacidade operacional e a massa dos equipamentos são os principais fatores que influenciaram o maior consumo de energia indireta pela colhedora de forragens, carreta agrícola e pela semeadora adubadora.

Chechetto et al. (2010) avaliaram a viabilidade energética da cultura da mamona e constataram que a energia indireta utilizada na implantação e manejo da cultura foi maior para operação de aração do solo. Os mesmos pesquisadores ainda destacam que, operações como a dessecação e a semeadura requereram menor demanda de energia indireta em razão da maior capacidade de campo.

Campos et al. (2009) estimaram o balanço de energia da produção de soja em sistema de plantio direto de uma propriedade agrícola e identificaram que, na energia indireta, a colhedora, seguida pela reforma do terraço e pulverizador consumiram, respectivamente, 43,00, 29,41 e 13,94 MJ ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 4 - Entradas e saídas energéticas (MJ ha<sup>-1</sup>) em cada espaçamento estudado para a produção de silagem – CDTT-UFLA - 2013-2014.**

Descrição da Energia (MJ ha <sup>-1</sup> )	Espaçamentos					
	0,60 m	Participação (%)	0,75 m	Participação (%)	0,90 m	Participação (%)
<b>Energia Direta</b>	<b>14.130,82</b>	<b>97,6</b>	<b>14.382,16</b>	<b>97,9</b>	<b>13.972,14</b>	<b>98,5</b>
Mão de Obra	19,18	0,1	17,86	0,1	14,96	0,1
Sementes	304,14	2,1	304,14	2,1	314,28	2,2
Óleo Diesel	1.990,53	13,8	1.891,02	12,9	1.627,82	11,5
Lubrificantes	34,28	0,2	31,92	0,2	26,73	0,2
Graxas	18,91	0,1	17,61	0,1	14,75	0,1
Fertilizantes	10.439,19	72,1	10.795,02	73,5	10.649,01	75,1
8-28-16	4.193,01	29,0	4.161,48	28,3	4.193,01	29,6
20-0-20	6.246,18	43,2	6.633,54	45,1	6.456,00	45,5
Defensivos	1.324,59	9,2	1.324,59	9,0	1.324,59	9,3
Roundup	909,79	6,3	909,79	6,2	909,79	6,4
Assist	38,00	0,3	38,00	0,3	38,00	0,3
Siptran 500 SC	376,80	2,6	376,80	2,6	376,80	2,7
Soberan						
<b>Energia Indireta</b>	<b>340,47</b>	<b>2,4</b>	<b>311,41</b>	<b>2,1</b>	<b>209,24</b>	<b>1,5</b>
Trator	192,58	1,3	179,33	1,2	104,68	0,7
Implementos	147,89	1,0	132,08	0,9	104,56	0,7
Pulverizador	1,79	0,0	1,79	0,0	1,79	0,0
Roçadora	7,93	0,1	7,93	0,1	7,93	0,1
Semeadora						
Adubadora	28,96	0,2	27,60	0,2	23,40	0,2
Adubador	2,20	0,0	3,15	0,0	2,73	0,0
Colhedora						
Forragens	57,93	0,4	49,59	0,3	37,19	0,3
Carreta						
Agrícola	49,08	0,3	42,02	0,3	31,52	0,2
<b>Entrada Total</b>	<b>14.471,29</b>	<b>100,00</b>	<b>14.693,57</b>	<b>100,00</b>	<b>14.181,38</b>	<b>100,00</b>
<b>Saída de Energia</b>						
Silagem	140.188,08	100,0	136.689,44	100,0	134.680,32	100,0
<b>Saída Total</b>	<b>140.188,08</b>	<b>100,00</b>	<b>136.689,44</b>	<b>100,00</b>	<b>134.680,32</b>	<b>100,00</b>



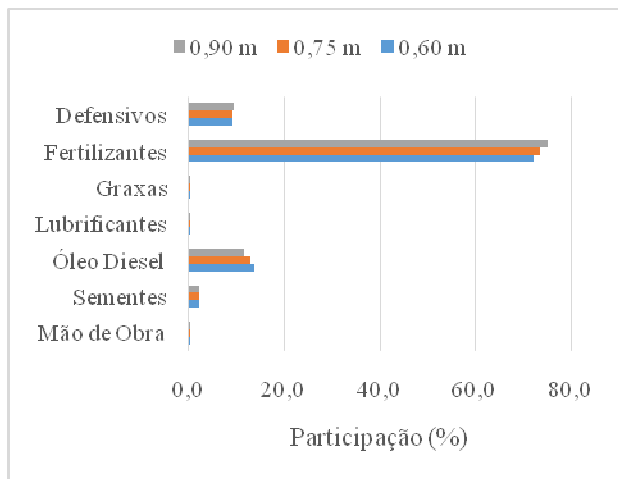


Figura 3 - Participação das rubricas energéticas na energia direta para a produção de silagem.

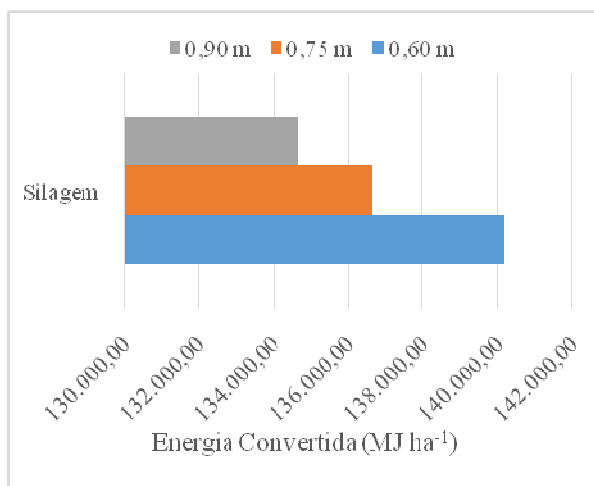


Figura 5 - Energia convertida em cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem.

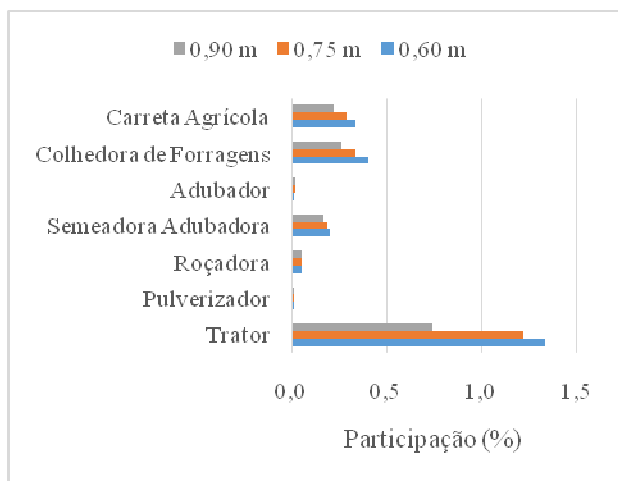


Figura 4 - Participação das rubricas na energia indireta para a produção de silagem.

Riquetti et al. (2012) contabilizaram o balanço energético em seis diferentes sistemas de produção de milho e encontraram um valor médio de energia convertida de 154.698,17 MJ ha<sup>-1</sup>. Banaeian & Zangeneh (2011) e Santos & Simon (2010) também trabalharam com a produção de milho e identificaram que os grãos corresponderam com 100.079 MJ e 124.722,89 MJ ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em um sistema de produção de biodiesel a partir da mamona, Checheto et al. (2010) constataram que a produção de grãos representou 36,59% do total de energia convertida, enquanto que os resíduos responderam por 63,41%.

No que se refere à silagem de milho, Komleh et al. (2011) reportaram um valor médio de 148.380,00 MJ ha<sup>-1</sup> como saídas de energia.

Em todos os espaçamentos estudados, da energia envolvida no sistema de produção, 14.471,29 MJ ha<sup>-1</sup> (0,60 m), 14.693,57 MJ ha<sup>-1</sup> (0,75 m) e 14.181,38 MJ ha<sup>-1</sup> (0,90 m) referem-se à energia consumida para a produção de silagem (Tabela 4). Por outro lado, da energia envolvida no sistema de produção, 140.188,08 MJ ha<sup>-1</sup> (0,60 m), 136.689,44 MJ ha<sup>-1</sup> (0,75 m) e 134.680,32 MJ ha<sup>-1</sup> (0,90 m) referem-se à energia convertida para a produção de silagem (Tabela 4). Isso resulta nas eficiências energéticas apresentadas na Figura 6.

A eficiência energética encontrada por Riquetti et al. (2012) e Santos & Simon (2010), em sistemas de produção de milho foi de 12,86%. Almeida et al. (2010) observaram que essa eficiência foi de 15,51%. Já Melo et al. (2007) avaliaram o gasto energético em 2 anos consecutivos na mesma propriedade, e identificaram que na safra 2001/2002, a eficiência energética foi de 4,44%, enquanto que na safra 2002/2003, essa eficiência atingiu 4,86%.

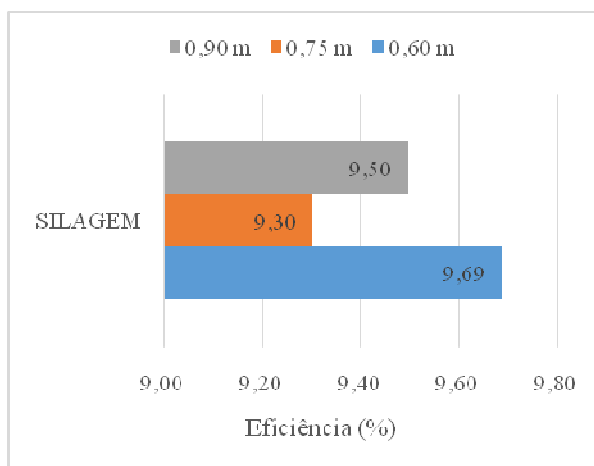


Figura 6 - Eficiência energética de cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem.

Para fins de comparação, em biosistemas de produção animal, que são agroecossistemas altamente especializados e importam grande parte da energia consumida, como é o caso da ração, as eficiências energéticas observadas por Veloso et al. (2012), Souza et al. (2009) e Angonese et al. (2006), foram, respectivamente, 41%, 31% e 38%.

#### 4 CONCLUSÃO

A análise energética é uma importante ferramenta para avaliar e medir a sustentabilidade de agroecossistemas.

Na análise energética da produção de milho para silagem, o espaçamento que teve o maior dispêndio energético foi o de 0,75m. Já a maior energia convertida foi obtida pelo espaçamento de 0,60m.

A medida que diminuiu-se o espaçamento entre linhas (0,90 m para 0,60 m), a eficiência energética aumentou (9,50% para 9,69%).

#### 5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. F.; BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação energética econômica da cultura do milho em assentamento rural, Iperó/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 105-122, 2010.

ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I.D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 402-408, 2006.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; ZACARKIM, C. E.; MATSUO, M. S.; CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.3, p. 745-750, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1585**: veículos rodoviários: código de ensaio de motores: potência líquida efetiva. Rio de Janeiro, 1996. 26 p.

BANAEIAN, N.; ZANGENEH, M. Study on energy efficiency in corn production of Iran. **Energy**, Karaj, v. 36, n. 8, p. 5394-5402, 2011.

BIAGGIONI, M. A. M.; BOVOLENTA, F. C. Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 587-599, 2010.

BORTOLOTO, V. C.; NETO, R. P.; BORTOLOTO, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 122-130, 2006.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. S.; CRUZ, S. C. S.; ABREU, M. L.; BICUDO, S. J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 75, 2012.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSK, E. S.; SOUZA, C. V.; ZANINI, A.; PRESTES, T. M. V. Análise energética da produção de soja em sistema de plantio direto. **Global Science Technology**, v. 02, n. 02, p. 38-44, 2009.

CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C. Análise energética na produção de feno de *Cynodondactylon* (L.) Pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 349-358, 2005.

CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; BUENO, O. C.; CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; GASPARINO, E. Balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 245-251, 2004.

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

CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C.; RESENDE, H.; GASPARINO, E.; KLOSOWSKI, E. S. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 667-672, jul./ago. 2003.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinuscommunis* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2014. **Brasil, série histórica de produção**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em 15 de Ago. 2014.

COSTA, Z. F.; BUENO, O. C. Análise das eficiências energéticas e econômica da produção de leite bovino em explorações familiares na região de Botucatu, estado de São Paulo. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 57, n. 2, p. 37-48, 2010.

- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- DEMÉTRIO, C. S.; FILHO, D. F.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FLUCK, R.C.; BAIRD, C. D. **Agriculturalenergetics**. University of Florida, Agricultural Engineering Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, Gainesville, 1982, 197 p.
- FRIGO, M. S.; FRIGO, E. P.; BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; KLAR, A. E. Custos energéticos do agroecossistema pinhão-mansão e milho: comparativo entre o sistema de condução de sequeiro e o irrigado. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 2, p. 87-102, 2011.
- JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A.; SEKI, A. S.; BUENO, O. C. Análise energética da cultura do crambe (*CrambeabyssinicaHochst*) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.
- KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Arranjo de plantas para diferentes híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 348-359, 2011.
- KOMLEH, S. H. P.; KEYHANI, A.; RAFIEE, S.; SEFEEDPARY, P. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated área levels in Tehran province of Iran. **Energy**, Karaj, v. 36, n. 5, p. 3335-3341, 2011.
- LORZADEH, S. H.; MAHDAVIDAMGHANI, A.; ENAYATGHOLIZADEH, M. R.; YOUSEFI, M. Energy input-output analysis for maize production systems in Shooshtar, Iran. **Advances in Environmental Biology**, Maringá, v. 11, n. 5, p. 3641-3644, 2011.
- MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.
- MELO, D.; PEREIRA, J. O.; SOUZA, E. G.; FILHO, A. G.; NÓBREGA, L. H. P.; NETO, R. P. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do oeste do Paraná. **Acta ScientiarumAgronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2007.
- PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; SPAGNOLO, R. T.; BARROS, M. M.; VILAS BOAS, L. A. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, 2010.
- PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Energy inputs in corn production. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 67-84.
- RIQUETTI, N. B.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Demanda energética em diferentes manejos de solo e híbridos de milho. **RevistaEnergianaAgricultura**, Botucatu, v.27, n.2, p. 76-85, 2012.
- ROMANELLI, T. L.; MILAN, M. Energy balance methodology and modeling of supplementary forage production for cattle in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.1, p.1-7, 2005.
- SANTOS, R. R. dos; SIMON, E. J. Análise energética do milho em sistema de plantio direto, no assentamento rural da fazenda pirituba, Itaberá/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 121-137, 2010.
- SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frango de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, 2004.
- SEKI, A. S.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Desempenho operacional de semeadora e produtividade do milho em plnatio direto e cultivo mínimo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 01-18, 2012.
- SILVEIRA, J. C. M. da; FILHO, A. G.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 4, p. 256-267, 2005.
- SOUZA, C. V.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C.; SILVA, E. B. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 547-557, 2009.
- VELOSO, A. V.; CAMPOS, A. T.; PAULA, V. R.; DOURADO, D. C.; JÚNIOR, T. Y.; SILVA, E. B. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **EngenhariaAgrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, 2012.