



Efeito de práticas culturais na conversão energética

Henrique Pereira dos Santos¹, Renato Serena Fontaneli², Silvio Tullio Spera³
Geizon Dreon⁴ e Evandro Ademir Lampert⁵

¹Eng. Agrôn., Embrapa Trigo, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS, Brasil. Bolsista CNPq-PQ. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br. ²Eng. Agrôn., Embrapa Trigo e Professor Titular da FAMV/UPF. E-mail: renatof@cnpt.embrapa.br. ³Eng. Agrôn., Embrapa Agrossilvipastoril. Av. das Itaúbas, 3257 – Setor Comercial, 78550-194 Sinop, MT, Brasil E-mail: E-mail: silvio.spera@embrapa.br. ⁴Acadêmico de Agronomia da UPF/FAMV, Passo Fundo, RS. Bolsista de Iniciação Científica - CNPq, na Embrapa Trigo. E-mail: geizon_dreon@hotmail.com. ⁵Téc. Agric., Embrapa Trigo. E-mail: evandro@cnpt.embrapa.br.

O rendimento energético é dependente, também, do nível tecnológico empregado, ou seja, se for usado pouco fertilizante, teremos rendimento energético baixo; se for usada a quantidade de fertilizante indicada, provavelmente, teremos rendimento energético mais elevado. Carmo et al. (1988) encontraram balanços muito diferentes entre as propriedades, sendo os grãos o produto de maior retorno por unidade calórica investida, e as hortaliças e produtos animais, exceto o mel, os menores. Para Santos & Reis (1994) e Campos & Campos (2004), se por um lado, a disponibilidade de melhores máquinas e equipamentos, fertilizantes e defensivos, bem como o aumento de trabalho importa no incremento do dispêndio de energia, por outro, interessam culturas mais eficientes no consumo e na conversão de energia, sem a degradação do meio ambiente. No trabalho conduzido por Santos et al. (2000) com sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, os maiores índices de balanço energético nos sistemas II (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/milho), em relação aos sistemas I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja) e IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja) foram reflexo da cultura de milho, que aproveitou melhor a energia disponível, proporcionando aos sistemas maior rendimento de grãos. Poucos são os trabalhos sobre conversão e balanço energético comparando espécies e cultivos sob diferentes tipos de manejo de solo e de rotação de culturas. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de práticas culturais na conversão energética.

Foram obtidos dados de rendimento de grãos, rendimento de matéria seca, da quantidade de N na matéria seca e da quantidade de palha remanescente das espécies das parcelas no experimento de tipos de manejo de solo e de rotação de culturas envolvendo a cultura de trigo, instalado na Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo, RS, de 2004 a 2009, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico. Estes dados serviram de base para o presente estudo.

Os tratamentos consistiram em quatro tipos de manejo de solo – 1) sistema plantio direto, 2) cultivo mínimo, no inverno, e semeadura direta, no verão, 3) preparo convencional de solo com arado de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão, e 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas, no inverno, e semeadura direta, no verão – e três sistemas de rotação de culturas sistema I (trigo/soja em monocultura), sistema II (trigo/soja e ervilhaca/sorgo) e sistema III (trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja).



O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal (4 m de largura por 90 m de comprimento) foi constituída pelos tipos de manejo de solo, e as subparcelas (4 m de largura por 10 m de comprimento), pelas culturas componentes das rotações de culturas.

Na quantificação dos dados das culturas utilizaram-se as matrizes de produção, a partir das quais se procederam as transformações para contabilizar a energia disponível e a consumida nesses processos (DE MORI, 1998). Para os cálculos dos diversos índices envolvendo tipos de manejo de solo e de rotação de culturas, rendimento de grãos, rendimento de matéria seca, quantidade de palha remanescente, quantidade de N na matéria seca e operações de campo, foram empregados dados e orientações gerados por Pimentel (1980), Zentner et al. (1984), Marchioro (1985), Monegat (1998) e Santos et al. (2001). No caso da ervilhaca, considerou-se como rendimento, a contribuição auferida como base no percentual de nitrogênio e palha da matéria seca de todas as demais espécies. Os dados foram transformados em Mcal (kcal x 1.000).

Como energia disponível ou receita energética (Mcal/ha), considerou-se a transformação em energia do rendimento de grãos, da quantidade de N na matéria seca e da quantidade de palha remanescente das espécies. Como energia consumida ou energia cultural (Mcal/ha), estimou-se a soma dos coeficientes energéticos correspondentes aos corretivos, fertilizantes, sementes, fungicidas, herbicidas e inseticidas usados em cada tipo de manejo de solo ou de rotação de cultura, bem como a energia consumida em operações (semeadura, adubação, aplicação de pesticidas e colheita). A conversão energética resulta da divisão da energia disponível (Mcal/ha) pela consumida (Mcal/ha), em cada tipo de manejo de solo ou de rotação de culturas.

A análise estatística consistiu na análise de variância da conversão energética, dentro de cada ano (inverno + verão) e na média conjunta dos anos, no período de 2004 a 2009. Na análise da variância, consideraram-se as energias disponível e consumida pelas culturas que compõem os tipos de manejo de solo e de rotação de culturas. Nas análises conjuntas, consideraram-se os tratamentos como efeito fixo, e o efeito do ano, como aleatório. Os parâmetros em estudo foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS versão 8.2 (Sas, 2003). As médias dos tipos de manejo de solo ou de rotação de culturas foram avaliadas, pelo teste de Duncan, ao nível de 5 % de probabilidade de erro.

As médias da conversão energética anuais e no conjunto do anos (safras 2004/05 e 2009/10), considerando as culturas de inverno e de verão, os tipos de manejo de solo e de rotação de culturas, encontram-se nas Tabelas 1 a 3.

A análise de variância da conversão energética do conjunto dos anos, resultaram em efeito significativo dos anos, dos tipos de manejo de solo e das rotações de culturas (Tabelas 2 e 3). Quanto à conversão energética isolada das culturas de inverno e de verão, independente dos tipos de manejo do solo, houve diferença entre as médias de cada ano. Nesse período de estudo, das culturas de grãos, de inverno e de verão, o sorgo foi mais eficiente na conversão de energia, em comparação com a aveia branca, ervilhaca, soja e trigo (Tabela 1). As culturas de aveia branca, soja e trigo tiveram posição intermediária quanto aos valores de conversão energética. A ervilhaca, que foi semeada sem adubação de manutenção, mostrou menor índice de conversão energética. Nesse caso, essa espécie foi semeada com as finalidades de produzir palha ao solo e como adubo verde, antecedendo a cultura do sorgo. No caso da ervilhaca destinada à cobertura de solo e à adubação verde, houve redução da entrada de energia fóssil, especialmente aquela relacionada à aplicação de fertilizantes nitrogenados.



Tabela 1. Conversão energética (Mcal/ha) do rendimento de matéria seca e das culturas de inverno e de verão, na média dos anos, de sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas, de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS.

Safras	Culturas					Média
	Aveia branca	Ervilhaca	Soja	Sorgo	Trigo	
2004/05	9,17 C	10,70 B	2,00 D	16,11 A	10,21 BC	9,64
2005/06	12,74 B	8,23 C	9,16 C	32,30 A	9,14 C	14,31
2006/07	10,46 BC	7,55 C	12,06 B	31,75 A	10,41 BC	14,45
2007/08	9,61 B	3,28 C	11,53 B	41,88 A	4,85 C	14,23
2008/09	16,39 B	4,45 D	13,20 C	29,17 A	12,22 C	15,09
2009/10	11,30 AB	3,65 D	10,83 B	12,95 A	7,22 C	9,19
Média	11,61 B	6,31 D	9,80 C	27,36 A	9,01 C	12,82

Médias seguidas da mesma letra, na horizontal, não mostram diferenças significativas, pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2. Efeito de tipos de manejo de solo na conversão energética (Mcal/ha), nas safras (inverno + verão) de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS.

Safras	Sistemas de manejo de solo				Média
	PD	PCD	PCA	PM	
2004/05	9,63 A	9,41 A	8,34 A	9,19 A	9,14 b
2005/06	16,18 A	12,57 A	11,62 A	14,92 A	13,82 a
2006/07	21,24 A	10,86 B	11,34 B	14,76 B	14,55 a
2007/08	16,31 A	10,53 A	11,60 A	15,22 A	13,41 a
2008/09	17,03 A	11,55 C	12,34 C	13,70 B	13,66 a
2009/10	11,23 A	8,94 B	8,08 B	9,16 B	9,35 b
Média	15,27 A	10,64 C	10,55 C	12,82 B	12,32

PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas, no inverno, e semeadura direta, no verão; e PM: cultivo mínimo, no inverno, e semeadura direta, no verão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na horizontal e minúscula, na vertical, não mostram diferenças significativas, pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3. Efeito de sistemas de rotação de culturas na conversão energética (Mcal/ha), nas safras (inverno + verão) de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS.

Safras	Sistemas de rotação de culturas			Média
	Sistema I	Sistema II	Sistema III	
2004/05	6,90 A	10,11 A	9,25 A	9,14 b
2005/06	8,92 B	15,64 A	14,24 A	13,82 a
2006/07	10,26 B	16,41 A	14,73 A	14,55 a
2007/08	6,47 B	14,59 A	14,94 A	13,41 a
2008/09	12,31 B	13,06 B	14,50 A	13,66 a
2009/10	6,38 B	9,37 A	10,33 A	9,35 a
Média	8,54 B	13,18 A	13,00 A	12,32

Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/sorgo; e Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/sorgo. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na horizontal e minúscula, na vertical, não mostram diferenças significativas, pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade de erro.



No período de 2004/05 a 2009/10, houve diferença, em três dos seis anos estudados, na conversão energética anual (inverno + verão) e na média dos anos entre os sistemas de manejo de solo (Tabela 2). Nos anos de 2006/07, 2008/09 2009/10, o sistema plantio direto mostrou maior valor de conversão energética do que o dos demais tipos de manejo de solo.

Na média conjunta desse período estudado (de 2004/05 a 2009/10), o sistema plantio direto mostrou conversão energética superior à do cultivo mínimo e à dos preparos convencionais de solo com arado de discos e com arado de aivecas. Na avaliação dos primeiros dez anos (1986 a 1995) deste presente trabalho, realizada por Santos et al. (2003), o sistema plantio direto não diferiu do cultivo mínimo, quanto aos índices de conversão de energia, mas foi superior aos preparos convencionais de solo com arado de discos e com arado de aivecas. A maior conversão energética no sistema plantio direto, em relação aos manejos com preparo convencionais de solo, pode ser explicada, em parte, pela redução das demandas energéticas propiciadas pela diminuição no número de operações agrícolas. Além disso, deve-se considerar que, em todos os tipos de manejo de solo deste presente estudo, foi computada também a palhada remanescente como energia produzida, que no plantio direto foi mais elevada do que nos demais manejos estudados.

Na maioria dos anos estudadas e na média do conjunto das anos, houve diferenças entre a conversão energética dos diferentes sistemas de rotação de culturas (Tabela 3). O valor mais elevado, na maioria das safras, no tocante à conversão energética, manifestou-se sob rotação de culturas, nos sistemas II (trigo/soja e ervilhaca/sorgo) e III (trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja), quando comparado ao sistema I (trigo/soja).

Na análise da média conjunta dos anos, os sistemas II e III mostraram ser superiores ao sistema I, em relação ao índice de conversão energética (Tabela 3). Isso pode ser devido, em parte, à cultura do sorgo, que mostrou maior conversão energética do que a soja e as espécies de inverno estudadas. Além disso, no presente estudo, o sorgo produziu mais palha do que o trigo. Portanto, a rotação de culturas (sistemas II e III) foi mais eficiente na conversão de energia, em relação à monocultura trigo/soja (sistema I). Essa eficiência dos sistemas de rotação de culturas pode ser explicada, em parte, pela quantidade de palha remanescente de sorgo, adicionadas como energia produzida, que, neste presente estudo, foi maior do que a das culturas de inverno e a de soja.

Os maiores índices de conversão energética ocorreram no sistema plantio direto, em comparação aos demais tipos de manejo de solo.

Os sistemas de rotação trigo/soja e ervilhaca/milho e trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja, por serem mais eficientes energeticamente devem ser preferidos, em substituição à monocultura trigo e soja.

Referências

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.

CARMO, M. S.; COMITRE, V.; DULLEY, R. D. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 87-97, 1988.



DE MORI, C. **Mensuração do desempenho produtivo de unidades de produção agrícola considerando aspectos agroeconômicos e agroenergéticos.** 1998. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARCHIORO, N. P. X. Balanço ecoenergético: uma metodologia de análise de sistemas agrícolas. In: TREINAMENTO EM ANÁLISE ECOENERGÉTICA DE SISTEMAS AGRÍCOLAS, 1., 1985, Curitiba. Curitiba: IAPAR, 1985. p. 24-40.

MONEGAT, C. **Avaliação multidimensional do desempenho do manejo do solo no sistema do pequeno agricultor.** 1998. 144 f. Tese (Mestrado em Agrossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture.** Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 743-752, abr. 2000.

SANTOS, H. P.; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; CARMO, C. Conversão e balanço energético de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 9, n. 1/2, p. 113-120, 2003.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SCHENEIDER, G. A. Conversão energética e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 1, n. 2, p. 191-198, 2001.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em Guarapuava. XVII. Eficiência energética dos sistemas de rotação de culturas para cevada, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 7, p. 1075-1081, 1994.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE. **SAS system for Microsoft Windows, version 8.2.** Cary, 2003.

ZENTNER, R. P.; CAMPBELL, D. W.; CAMPBELL, C. A.; REID, D. W. Energy consideration of crop rotation in southwestern Saskatchewan. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 26, n. 1, p. 25-29, 1984.