

# Conversão e balanço energético de culturas de inverno e verão em sistemas de produção mistos sob plantio direto

Henrique Pereira dos Santos<sup>1</sup>, Renato Serena Fontaneli<sup>2</sup>,  
Gilberto Omar Tomm<sup>3</sup> e Luciane Manto<sup>4</sup>

**Resumo** - De 1995 a 2000, foram avaliados, a conversão energética e o balanço energético de culturas de inverno e de verão em sistemas de produção mistos, sob plantio direto, em Passo Fundo, RS. Os tratamentos consistiram em seis sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão: sistema I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho); sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho); sistema III (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho); sistema IV (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho); sistema V (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho); e sistema VI (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho). Os tratamentos foram repetidos quatro vezes no delineamento de blocos ao acaso. O milho foi superior às demais culturas estudadas quanto à conversão e ao balanço energético. Das culturas de inverno, a aveia branca foi a mais eficiente na conversão de energia. Os sistemas I e II mostraram conversão e balanço energético mais positivos. Os sistemas mistos (lavoura-pecuária) sob plantio direto foram viáveis do ponto de vista energético.

**Palavras-chave:** energia, caloria, rotação de culturas, lavoura, pastagens anuais de inverno e de verão.

## Energy conversion and balance of winter and summer crops in mixed production systems under no-tillage

**Abstract** - Energy conversion and balance of winter and summer crops in mixed production systems, under no-tillage, were assessed from 1995 to 2000, in Passo Fundo, RS, Brazil. Six production systems were evaluated: system I (wheat/soybean, black oat + common vetch pasture/corn); system II (wheat/soybean, black oat + common vetch + ryegrass pasture/corn); system III (wheat/soybean, black oat + common vetch pasture/pearl millet pasture); system IV (wheat/soybean, black oat + common vetch + ryegrass pasture/pearl millet pasture); system V (wheat/soybean, white oat/soybean, and black oat + common vetch pasture/pearl millet pasture); and system VI (wheat/soybean, white oat/soybean, and black oat + common vetch + ryegrass pasture/pearl millet pasture). Treatments were replicated four times in a randomized block design. Corn was superior to other crops studied in terms of energy conversion and balance. White oat was the most efficient species in energy conversion among the winter crops studied. Systems I and II presented more positive energy conversion and balance. The mixed production systems (crops-livestock) under no tillage were found energy.

**Key words:** energy, calorie, crop rotation, field, winter and summer annual pastures.

<sup>1</sup> Eng. Agr. - Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), Caixa Postal 451, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS. Bolsista CNPq-PQ. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Agr. - Ph.D., Embrapa Trigo, Professor Titular da UPF-FAMV. Bolsista CNPq-PQ. E-mail: renatof@cnpt.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng. Agr. - Ph.D., Embrapa Trigo. E-mail: tomm@cnpt.embrapa.br

<sup>4</sup> Acadêmica de Ciências Biológicas da UPF. Bolsista do CNPq-IC.

Recebido para publicação em 15/01/2004.

## Introdução

Um sistema de produção agrícola processa e transforma recursos obtidos em energia, segundo um conjunto de técnicas ou tecnologias, com o objetivo de tornar disponíveis ao homem produtos vegetais e animais (DE MORI, 1998). Pode-se mensurar o desempenho produtivo mediante avaliação do grau de eficiência técnica das transformações energéticas ocorridas no sistema.

A eficiência técnica consiste na habilidade da unidade agrícola em produzir o máximo produto possível para dado conjunto de insumos e tecnologia sob as condições ambientais em que ela se situa (DE MORI, 1998). Do ponto de vista agrônomo, a eficiência técnica tem sido avaliada sob o aspecto das transformações energéticas através da conversão e do balanço energético (SANTOS et al., 2000b), o que agrega um referencial ecológico de longo prazo às análises de eficiência nas transformações de insumos em produtos (DE MORI, 1998).

A conversão e o balanço energético das principais espécies econômicas foram exaustivamente estudados na década de 80, nos Estados Unidos da América, por Pimentel (1980). Mais recentemente, estudos sobre transformação de energia foram realizados por Hernánz et al. (1995), por Borin et al. (1997), por Refsgaard et al. (1998) e por Uhlin (1998), na Itália, na Espanha, na Dinamarca e na Suécia, respectivamente. Nesses estudos, as espécies tanto de inverno como de verão, foram avaliadas isoladamente. Nem toda a tecnologia usada em propriedades agrícolas mostrou-se eficiente energeticamente, como demonstra o trabalho desenvolvido por Quesada et al. (1987), no qual algumas culturas tiveram balanço energético negativo.

No Brasil, também têm sido realizados trabalhos relacionados com conversão e balanço energético entre espécies isoladamente (QUESADA et al., 1987; QUESADA e COSTABEBER, 1990; MONEGAT, 1998). Existem ainda poucos trabalhos sobre conversão e balanço energético em sistemas de rotação de culturas ou com sistemas mistos, entre os quais encontram-se os de Santos et al. (2000a; 2000b; 2001).

No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2000a), durante seis anos de experimentação sob plantio direto, os sistemas II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) apresentaram valores mais elevados para conversão e balanço energético do que os demais sistemas estudados. Santos et al. (2001), estudando sistemas de rotação de culturas, sob preparo convencional, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, envolvendo a cultura de trigo, não observaram diferença significativa entre conversão e balanço energético.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a contribuição de culturas de inverno e de verão para conversão e balanço energético de sistemas de produção mistos.

## Material e métodos

O ensaio foi realizado na Embrapa Trigo, no município de Coxilha, RS, no período de 1995 a 2000, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (STREC, 2002).

Os tratamentos consistiram em seis sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão: sistema I {trigo (*Triticum aestivum* L.)/soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e pastagem de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) + ervilhaca (*Vicia sativa* L.)/milho (*Zea mays* L.)}; sistema II [trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém (*Lolium multiflorum* Lam.)/milho]; sistema III {trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]}; sistema IV (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto); sistema V [trigo/soja, aveia branca (*Avena sativa* L.)/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto]; e sistema VI (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto) (Tabela 1). A área das parcelas era de 20 m de comprimento por 10 m de largura (200 m<sup>2</sup>). As culturas, tanto de inverno

Neste trabalho, visou-se desenvolver sistemas mistos para produzir pastagens tanto de inverno como de verão, para engorda de animais ou para produção de leite. No sistema I, realizaram-se dois pastejos no inverno e foi semeado milho na melhor época. No sistema II, foram realizados três pastejos no inverno e milho foi semeado após época preferencial. Os sistemas III e IV foram semelhantes aos sistemas I e II, excetuando-se a troca de milho por milheto. Por sua vez, os sistemas V e VI foram similares aos sistemas III e IV, incluindo-se aveia branca e soja, para produção de grãos. Como de verão, foram estabelecidas sob plantio direto.

A adubação de manutenção foi realizada de acordo com a indicação para cada cultura (SOCIEDADE, 2004) e baseada nos resultados de análise de solo. As amostras de solo foram coletadas anualmente, após colheita das culturas de verão, na profundidade de 0-20 cm.

A época de semeadura, o controle de plantas daninhas e os tratamentos fitossanitários foram realizados, para cada cultura, conforme a indicação (COMISSÃO, 2003; PROGRAMA, 1997; REUNIÃO, 1997; 2000). A colheita das culturas produtoras de grãos foi realizada com colhedora especial de parcelas, exceto milho, que foi colhido manualmente. O rendimento de grãos (aveia branca, milho, soja e trigo) foi determinado a partir da colheita de 1/3 da área central de cada parcela, ajustando-se o rendimento para umidade de 13%.

O ganho de peso de animais foi estimado por meio da matéria seca consumida. A conversão considerada foi de 10 kg de forragem seca consumida para 1 kg de ganho de peso vivo de animais, para pastagens de inverno (RESTLE et al., 1998), e de 15 kg de matéria seca consumida para 1

CONVERSÃO E BALANÇO ENERGÉTICO DE CULTURAS DE INVERNO E VERÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MISTOS SOB PLANTIO DIRETO

**Tabela 1** - Sistemas de produção envolvendo culturas produtoras de grãos e pastagens anuais de inverno e de verão, sob sistema plantio direto. Passo Fundo, RS

Sistema de produção	Ano					
	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Sistema I	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S
Sistema II	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S
Sistema III	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S
Sistema IV	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S
Sistema V	T/S Ab/S Ap+E/Mi	Ab/S Ap+E/Mi T/S	Ap+E/Mi T/S Ab/S	T/S Ab/S Ap+E/Mi	Ab/S Ap+E/Mi T/S	Ap+E/Mi T/S Ab/S
Sistema VI	T/S Ab/S Ap+E+Az/Mi	Ab/S Ap+E+Az/Mi T/S	Ap+E+Az/Mi T/S Ab/S	T/S Ab/S Ap+E+Az/Mi	Ab/S Ap+E+Az/Mi T/S	Ap+E+Az/Mi T/S Ab/S

Ab: Aveia branca; Ap: aveia preta; Az: azevém; E: ervilhaca; M: milho; Mi: milheto; S: soja; e T: trigo.

kg de ganho de peso de animais, para pastagem de milheto SANTOS et al., 2002).

Para quantificação dos dados agroenergéticos das culturas ou dos sistemas usaram-se as matrizes de produção, a partir das quais procedeu-se á transformação para contabilizar energia produzida e consumida no processo. Para cálculo dos diversos índices envolvendo sistemas, rendimento de grãos de culturas, matéria seca de pastagens e operações de campo, foram utilizados dados e orientações gerados por Pimentel (1980), por Zentner et al. (1984), por EMBRAPA (1991), por Freitas et al. (1994), por Monegat (1998) e por Santos et al. (2001). Os dados foram transformados em Mcal (kcal x 1.000).

Como energia produzida ou receita energética (Mcal/ha), considerou-se a transformação do rendimento de grãos, ou da matéria seca, em energia. Como energia consumida ou energia cultural (Mcal/ha), considerou-se a soma dos coeficientes energéticos equivalentes dos insumos (fertilizantes, sementes, fungicidas, herbicidas, inseticidas, vacina e sal mineral para animais) e das operações (semeadura, adubação, aplicação de produtos, adubação nitrogenada e colheita) envolvidas no processo produtivo. A conversão energética das culturas ou dos sistemas estudados resultou da divisão da energia produzida (Mcal/ha) pela consumida (Mcal/ha), em cada cultura ou sistema. O balanço energético das culturas ou dos sistemas estudados resultou da subtração da energia produzida (Mcal/ha) pela energia consumida (Mcal/ha).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram efetuadas análises de variância da conversão e do balanço energético

em cada ano (inverno + verão) e na média dos anos, de 1995 a 2000. Nas análises de variância, consideraram-se como tratamentos as parcelas individuais (culturas) componentes dos sistemas em estudo. A avaliação dos sistemas de produção, em todas as análises, foi realizada pelo teste F, usando-se contrastes que incluem os diferentes tratamentos dos sistemas de produção envolvidos em cada comparação. Esse método de contrastes (STEEL e TORRIE, 1980) compara as culturas, ou os sistemas, duas a duas em uma unidade de base homogênea.

## Resultados e discussão

As médias da conversão e do balanço energético anuais e no conjunto dos anos (1995 a 2000), e as comparações estatísticas através de contrastes, do ganho de peso animal, das culturas de inverno e de verão, dos seis sistemas de produção estudados, encontram-se nas tabelas 2 a 5. As análises de variância da conversão e do balanço energético do conjunto de seis anos apresentaram efeito significativo para anos, para culturas e para interação anos x culturas. SANTOS et al. (2000a), estudando sistemas de produção com pastagens anuais de inverno, obtiveram resultados semelhantes da conversão e do balanço energético. Serão apresentados resultados sobre conversão energética e, posteriormente, sobre balanço energético.

Quanto à conversão energética isolada do ganho de peso animal, das culturas de inverno e de verão, dos seis

sistemas de produção estudados, houve diferenças significativas entre as médias de cada ano e nas médias dos anos. Na média dos anos, das culturas de inverno, a aveia branca (4,07) foi a mais eficiente na conversão de energia (Tabela 2). Por sua vez, a cultura de trigo (3,48) situou-se logo abaixo da aveia branca e foi superior às demais espécies de inverno. Considerando-se tanto as culturas de inverno como as de verão, o milho (8,22) foi superior a todas as espécies estudadas, para conversão energética por hectare. A cultura de soja (5,45), por sua vez, apresentou valores para conversão, logo abaixo do de milho e mais elevado do que os das culturas de inverno. As pastagens de aveia preta + ervilhaca (0,77) e aveia preta + ervilhaca + azevém (0,65) não diferiram entre si para conversão energética. A pastagem de milheto (0,90) foi superior à de aveia preta + ervilhaca + azevém. Nesse período de estudo e na maioria dos anos, os índices das pastagens de inverno e de verão foram inferiores à unidade (1,0) significando que, nesses casos, eles foram conversores negativos de energia. De modo geral, os índices positivos

de conversão de energia estão diretamente relacionados à produção de grãos, como foi o caso de aveia branca, de milho, de soja e de trigo. A agregação da energia relacionada à venda da carne, depois do abate dos animais, aos índices energéticos das pastagens, eventualmente, poderia alterar algum desses resultados.

Porém, é preferível a análise dos sistemas de produção em vez de analisar as culturas isoladamente (Tabela 3). Em todos os anos estudados, os sistemas diferiram significativamente entre si quanto à conversão anual (inverno + verão) e à média dos anos. Na média dos anos, os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho: 4,93) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho: 4,74) foram os mais eficientes energeticamente. A razão dessa diferença a favor desses sistemas, em relação aos demais sistemas estudados (III, IV, V e VI), é que esses sistemas envolviam a cultura de milho, que foi a espécie mais eficiente energeticamente (Tabela 2), isso, por sua vez, repercutiu diretamente na conversão energética dos sistemas. Resultados semelhantes foram

**Tabela 2** - Conversão energética (Mcal/ha) do ganho de peso animal e das culturas de inverno e de verão, na média dos anos, de seis sistemas de produção mistos, comparados pelo teste F, empregando-se o método de contrastes, de 1995 a 2000. Passo Fundo, RS

Cultura	Ano						Média
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
Ab (grãos)	2,74	6,88	3,39	3,30	2,89	5,23	4,07
Ap+E (pastagem)	0,90	0,85	0,64	0,60	0,66	0,99	0,77
Ap+E+Az (pastagem)	0,65	0,71	0,48	0,73	0,63	0,74	0,65
Mi (pastagem)	0,97	1,12	1,17	0,88	0,35	0,89	0,90
M (grãos)	8,13	7,78	9,89	8,36	6,13	9,05	8,22
S (grãos)	4,80	4,57	5,17	5,05	5,61	7,52	5,45
T (grãos)	3,74	3,65	2,45	3,00	5,76	2,25	3,48
	Contrastes entre tratamentos (P>F)						
Ab x Ap+E	**	**	**	**	**	**	**
Ab x Ap+E+Az	**	**	**	**	**	**	**
Ab x Mi	**	**	**	**	**	**	**
Ab x M	**	*	**	**	**	**	**
Ab x S	**	**	**	**	**	**	**
Ab x T	**	**	**	ns	**	**	**
Ap+E x Ap+E+Az	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ap+E x Mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ap+E x M	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E x S	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E x T	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x Mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Ap+E+Az x M	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x S	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x T	**	**	**	**	**	**	**
Mi x M	**	**	**	**	**	**	**
Mi x S	**	**	**	**	**	**	**
M x S	**	**	**	**	**	**	**
M x T	**	**	**	**	ns	**	**
S x T	**	**	**	**	ns	**	**

Ab: aveia branca; Ap: aveia preta; Az: azevém; E: ervilhaca; Mi: milheto; M: milho; S: soja; e T: trigo. ns: não significativo; \*: nível de significância de 5%; e \*\*: nível de significância de 1%.

CONVERSÃO E BALANÇO ENERGÉTICO DE CULTURAS DE INVERNO E VERÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MISTOS SOB PLANTIO DIRETO

**Tabela 3** - Conversão energética (Mcal/ha) de seis sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, no ano (inverno e verão) e na média dos anos, comparados pelo teste F, empregando-se o método de contrastes, de 1995 a 2000. Passo Fundo, RS

Sistema	Ano						Média
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
I	4,97	4,82	5,25	4,53	4,84	5,17	4,93
II	4,58	4,74	4,91	4,69	4,61	4,90	4,74
III	2,62	2,81	2,39	2,34	2,75	2,91	2,65
IV	2,55	2,47	2,27	2,30	3,34	2,70	2,60
V	3,04	3,37	2,84	2,93	3,40	3,97	3,26
VI	2,85	3,32	2,99	2,79	3,52	3,60	3,17
	Contrastes entre tratamentos (P>F)						
I x II	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
I x III	**	**	**	**	**	**	**
I x IV	**	**	**	**	**	**	**
I x V	**	**	**	**	**	**	**
I x VI	**	**	**	**	**	**	**
II x III	**	**	**	**	**	**	**
II x IV	**	**	**	**	**	**	**
II x V	**	**	**	**	**	**	**
II x VI	**	**	**	**	**	**	**
III x IV	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III x V	ns	*	*	*	*	**	**
III x VI	ns	ns	**	*	*	**	**
IV x V	*	**	**	**	ns	**	**
IV x VI	ns	**	**	*	ns	**	**
V x VI	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + azevém/milho; Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; Sistema IV: (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto); Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; e Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto. ns: não significativo; \*: nível de significância de 5%; e \*\*: nível de significância de 1%.

obtidos por Santos et al. (2000a) com sistemas de produção com pastagens anuais de inverno sob plantio direto.

Todos os sistemas estudados foram superiores à unidade (1,0), significando que todos eles são conversores positivos de energia, produzindo 2,27 a 5,25 vezes mais energia do que a consumida (energia não renovável). Segundo Quesada e Costa Baber (1990), isso caracteriza um balanço energético positivo e sustentado entre os sistemas estudados.

No trabalho desenvolvido por Zentner et al. (1984), com 12 sistemas de rotação de culturas para trigo, no Canadá, durante 12 anos, observaram-se diferenças significativas na conversão energética de sistemas com um ano sem trigo (0,93) e com dois anos sem trigo (0,97), em comparação com a monocultura desse cereal (0,68). Na continuação desse trabalho, Zentner et al. (1989), durante 18 anos, não encontraram diferenças significativas entre os sistemas. Deve ser levado em conta que, nas condições da região tritícola canadense, o período de cultivo é inferior a 120 dias e nos sistemas avaliados não havia espécies em pastejo. Santos et al. (2001), comparando índices de conversão energética para sistemas de rotação de culturas para trigo, durante nove anos, sob preparo convencional de solo, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, não encontraram diferenças significativas entre

os sistemas estudados. Nesse último trabalho também não havia espécies em pastejo.

Para balanço energético, isolado do ganho de peso animal, das culturas de inverno e de verão, dos seis sistemas de produção estudados, houve diferenças significativas entre médias e nas médias dos anos (Tabela 4). Na média dos anos, das culturas de inverno, aveia branca (6.451 Mcal/ha) foi a cultura mais eficiente na conversão de energia (Tabela 4). A cultura de trigo (5.501 Mcal/ha) ocupou posição intermediária entre aveia branca e demais espécies de inverno. Por sua vez, milho (21.108 Mcal/ha) apresentou balanço energético superior a todas espécies estudadas. A cultura de soja (8.435 Mcal/ha) apresentou valores superiores para conversão, em relação à aveia branca e ao trigo. O milho foi a espécie que mais converteu a energia ofertada, enquanto que, das inverno foi a aveia branca. Desta maneira, a aveia branca, o milho, a soja e o trigo consumiram menor energia do que retiraram do sistema. Por outro lado, as pastagens, tanto de inverno como de verão, apresentaram coeficientes negativos para balanço energético: aveia preta + ervilhaca (-392 Mcal/ha), aveia preta + ervilhaca + azevém (-722 Mcal/ha) e milheto (-181 Mcal/ha). As pastagens tanto de inverno como de verão não conseguiram repor a energia ofertada. Não houve diferença significativa entre as pastagens para

balanço energético. As pastagens, isoladamente, mais consumiram energia do que a aportaram ao sistema.

De modo similar à conversão energética, é preferível analisar o balanço energético na forma de sistemas de produção, em vez de analisar as culturas isoladamente. Em todos anos estudados, o balanço energético anual (inverno + verão) da maioria dos sistemas diferiu significativamente entre si (Tabela 5). Os sistemas I (17.279 Mcal/ha) e II (17.318 Mcal/ha) foram energeticamente mais eficientes. A maior diferença do balanço energético desses sistemas, em relação aos demais, deve-se à cultura de milho que, foi a espécie de mais elevado retorno energético. Santos et al. (2000a), estudando sistemas de produção com pastagens anuais de inverno sob plantio direto obtiveram balanço energético semelhante para sistemas envolvendo a cultura de milho. Os sistemas V (9.357 Mcal/ha) e VI (9.050 Mcal/ha) foram superiores aos sistemas III (6.875 Mcal/ha) e IV (6.689 Mcal/ha) para balanço energético, provavelmente, em função da cultura de aveia branca que apresentou bom desempenho energético.

O resultado obtido para balanço energético se repetiu para o desempenho da conversão energética dos sistemas I e II. Pelo observado neste trabalho, os sistemas estudados apresentaram balanço energético positivo, o que significa que todos os sistemas de produção superaram o consumo de energia. Nesse caso, os sistemas avaliados podem ser considerados como sustentáveis do ponto de vista energético.

Nos trabalhos desenvolvidos por Zentner et al. (1984, 1989), com 12 sistemas de rotação de culturas para trigo, no Canadá, durante 12 e 18 anos, respectivamente, não foram observadas diferenças significativas quanto ao balanço energético entre os sistemas estudados. Em ambos os casos, foi semeada uma cultura por ano e não havia espécies em pastejo.

Santos et al. (2001), estudando sistemas de rotação de culturas para trigo, durante nove anos, sob preparo convencional de solo, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, verificaram que os sistemas de rotação com um, dois e três invernos sem trigo foram superiores ao pousio

**Tabela 4** - Balanço energético do ganho de peso animal e das culturas de inverno e de verão, na média de cada ano, de seis sistemas de produção mistos, comparados pelo teste F, empregando-se o método de contrastes, de 1995 a 2000. Passo Fundo, RS

Cultura	Ano						Média
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
	Balanço energético (Mcal/ha)						
Ab (grãos)	+3.024	+9.954	+5.435	+5.612	+4.603	+10.077	+6.451
Ap+E (pastagem)	-176	-218	-547	-602	-723	-87	-392
Ap+E+Az (pastagem)	-837	-484	-939	-607	-895	-567	-722
Mi (pastagem)	-34	+231	+362	-217	-1.212	-213	-181
M (grãos)	+20.145	+20.032	+26.270	+21.650	+14.630	+23.932	+21.108
S (soja)	+7.849	+7.195	+8.478	+6.549	+9.573	+10.967	+8.435
T (grãos)	+4.999	+5.955	+3.598	+5.002	+10.562	+2.893	+5.501
	Contrastes entre tratamentos (P>F)						
Ab x Ap+E	**	**	**	**	**	**	**
Ab x Ap+E+Az	**	**	**	**	**	**	**
Ab x Mi	**	**	**	**	**	**	**
Ab x M	**	**	**	**	**	**	**
Ab x S	**	**	**	ns	**	ns	**
Ab x T	**	**	**	ns	**	**	**
Ap+E x Ap+E+Az	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ap+E x Mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ap+E x M	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E x S	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E x T	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x Mi	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Ap+E+Az x M	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x S	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x T	**	**	**	**	**	**	**
Mi x M	**	**	**	**	**	**	**
Mi x S	**	**	**	**	**	**	**
Mi x T	**	**	**	**	**	**	**
S x T	**	*	**	**	ns	**	**

Ab: aveia branca; Ap: aveia preta; Az: azevém; E: ervilhaca; Mi: milheto; M: milho; S: soja; e T: trigo. ns: não significativo; \*: diferença significativa a 5%; \*\*: diferença significativa a 1%.

de inverno, para índice de balanço energético. Por outro lado, esses mesmos autores não observaram diferenças significativas para os índices de balanço energético entre os sistemas com rotação de culturas e a monocultura desse cereal.

Considerando o sistema de produção, e não as culturas isoladamente, pode-se afirmar que as tecnologias agrícolas aplicadas aos sistemas avaliados no presente estudo foram eficientes em termos de conversão e de balanço energético. Em ambos os casos, destacaram-se os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho). Pelo observado, a integração lavoura + pecuária, com culturas anuais de verão, tornou esses sistemas mais eficientes, sem aumentar o consumo de energia não renovável (exemplos: combustíveis, fertilizantes, fungicidas, herbicidas, inseticidas, vacina e sal mineral). Além disso, nesse caso, pode-se afirmar que, no tocante ao manejo e à execução deste trabalho, em escala experimental, não ocorreu nenhuma dificuldade.

Pelos resultados, os sistemas de produção mistos envolvendo a cultura de milho foram os mais eficientes

energeticamente. A importância deste trabalho esteve em estudar sistemas de produção mistos com alternativas tanto para espécies de inverno (aveia branca, aveia preta + ervilhaca, aveia preta + ervilhaca + azevém e trigo) como de verão (milho, milho e soja), integrando lavoura com pecuária, sob sistema plantio direto. Nesse caso, mais uma vez, a rotação de culturas viabilizou o plantio direto.

## Conclusões

1. A cultura de milho apresentou balanço energético mais favorável do que a soja, aveia branca, trigo e pastagens de inverno e de verão.

2. Das culturas de inverno, a aveia branca foi a mais eficiente na conversão de energia.

3. Os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho) foram os mais eficientes na conversão e no balanço de energia.

4. Todos sistemas de produção estudados apresentaram balanço energético positivo.

5. A integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto foi viável, pois apresentou conversão e balanço energético positivos.

**Tabela 5** - Balanço energético de seis sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, no ano (inverno + verão) e na média dos anos, comparados pelo teste F, empregando-se o método de contrastes, de 1995 a 2000. Passo Fundo, RS

Sistema	Ano						Média
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
	Balanço energético (Mcal/ha)						
I	16.564	16.670	19.022	15.078	17.581	18.759	17.279
II	16.500	16.751	18.338	17.453	16.645	18.224	17.318
III	6.250	8.009	6.288	5.483	7.571	7.651	6.875
IV	5.977	6.229	5.834	5.262	10.054	6.780	6.689
V	7.930	9.537	8.118	7.937	10.617	12.002	9.357
VI	7.189	9.383	8.830	7.358	11.056	10.484	9.050
	Contrastes entre tratamentos (P>F)						
I x II	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
I x III	**	**	**	**	**	**	**
I x IV	**	**	**	**	**	**	**
I x V	**	**	**	**	**	**	**
I x VI	**	**	**	**	**	**	**
II x III	**	**	**	**	**	**	**
II x IV	**	**	**	**	**	**	**
II x V	**	**	**	**	**	**	**
II x VI	**	**	**	**	**	**	**
III x IV	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III x V	ns	ns	*	*	*	**	**
III x VI	ns	ns	**	ns	*	**	**
IV x V	*	**	**	**	ns	**	**
IV x VI	ns	**	**	*	ns	**	**
V x VI	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + azevém/milho; Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; Sistema IV: (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho); Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho. ns: não significativo; \*: diferença significativa a 5%; e \*\*: diferença significativa a 1%.

## Referências

BORIN, M.; MENINI, C.; SARTORI, L. Effects of Tillage Systems on Energy and Carbon Balance in North-Eastern Italy. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 40, n. 3-4, p. 209-226, 1997.

Catarina, Florianópolis.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves. **Tabela de Composição Química e Valores Energéticos de Alimentos para Suínos e Aves**. 3. ed. Concórdia, 1991. 97p. EMBRAPA-CNPASA. Documentos, 19.

FREITAS, E.A.G. de; DUFLOTH, J.H.; GREINER, L.C. **Tabela de Composição Químico-Bromatológica e Energética dos Alimentos para Animais Ruminantes em Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 33 p. EPAGRI. Documentos, 155.

HERNÁNZ, J.L.; GIRÓN, V.S.; CERISOLA, C. Long-Term Energy Use and Economic Evaluation of three Tillage Systems for Cereal and Legume Production in Central Spain. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 35, n. 4, p. 183-198, 1995.

MONEGAT, C. **Avaliação Multidimensional do Desempenho do Manejo do Solo no Sistema do Pequeno Agricultor**. 1998. 144p. 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.

PROGRAMA MULTIINSTITUCIONAL DE DIFUSÃO DE TECNOLOGIA EM MILHO (Porto Alegre, RS). **Recomendações técnicas para a cultura de milho no RS**. Porto Alegre: FEPAGRO/EMATER-RS/FECOTRIGO, 1997. 140p. (Boletim Técnico, 4).

QUESADA, G.M.; COSTABEBER, J.A. Energia e Mão-de-obra. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 62, p. 21-26, 1990.

QUESADA, G.M.; COSTABEBER, J.A.; SOUZA, S.P. de. Balanços Energéticos Agropecuários: uma Proposta Metodológica para o Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 20-28, 1987.

REFSGAARD, K.; HALBERG, N.; KRISTENSEN, E.S. Energy Utilization in Crop and Dairy Production in Organic and Conventional Livestock Production Systems. *Agricultural Systems*, Barking, v.57, n. 4, p. 599-630, 1998.

RESTLE, J.; LUPATINI, G.G.; ROSO, C.; SOARES, A.B. Eficiência e Desempenho de Categorias de Bovinos de Corte em Pastagem Cultivada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 397-404, 1998.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25., 1997, Passo Fundo. **Recomendações Técnicas para a Cultura de Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1997/98**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. 130p.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 32., 2000, Cruz Alta. **Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo - 2000**. Cruz Alta: FUNDACEP, 2000. 90 p.

SANTOS, H.P. dos; 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, v. 35, n. 4, p. 743-752, abr. 2000a.

SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; BAIER, A.C.; TOMM, G.O.

COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Indicações Tecnológicas para o Cultura da aveia (grãos e forrageira)**. Passo Fundo: UPF - Faculdade de Agronomia, 2003. 87p.

DE MORI, C. **Mensuração do Desempenho Produtivo de Unidades de Produção Agrícola Considerando Aspectos Agroeconômicos e Agroenergéticos**. 1998. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa

**Principais Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária, sob Plantio Direto, nas Regiões Planalto e Missões do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002, 142p.

SANTOS, H.P. dos; LHAMBY, J.C.B.; IGNACZAK, J.C.; SCHNEIDER, G.A. Conversão Energética e Balanço Energético de Sistemas de Sucessão e de Rotação de Culturas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 191-198, 2001.

SANTOS, H.P. dos; IGNACZAK, J.C.; LHAMBY, J.C.B.; BAIER, A.C. Conversão Energética e Balanço Energético de Sistemas de Rotação de Culturas para Triticale. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 43-48, 2000b.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre,- Comissão de Química e Fertilidade do solo, 2004. 394p.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 126p.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.

UHLIN, H.E. Why Energy Productivity is Increasing: an I-O analysis of Swedish agriculture. *Agricultural Systems*, Barking, v. 56, n. 4, p. 443-465, 1998.

ZENTNER, R.P.; CAMPBELL, D.W.; CAMPBELL, C.A.; READ, D.W. Energy Consideration of Crop Rotation in Southwestern Saskatchewan. *Canadian Agricultural Engineering*, Ottawa, v. 26, n. 1, p. 25-29, 1984.

ZENTNER, R.P.; STUMBORG, M.A.; CAMPBELL, C.A. Effect of Crop Rotation and Fertilization on Energy Balance in Typical Production Systems on the Canadian Prairies. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, Amsterdam, v.25, n.2/3, p.217-232, 1989.