

# Substituição de culturas

## Uma abordagem empírica envolvendo cana-de-açúcar, soja, carne bovina e milho

Geraldo da Silva e Souza<sup>1</sup>  
Eliseu Alves<sup>1</sup>  
Eliane Gonçalves Gomes<sup>1</sup>  
Rosaura Gazzola<sup>1</sup>  
Renner Marra<sup>1</sup>

**Resumo:** Com o objetivo de avaliar a variação relativa das áreas cultivadas de soja–cana-de-açúcar, pastagem–cana-de-açúcar, milho–cana-de-açúcar, soja–pastagem e soja–milho, em razão da variação dos respectivos preços relativos (no caso de pastagem, carne), da taxa de juros, da taxa de câmbio e do tempo, ajusta-se um modelo econométrico à variação de área agricultável, na família Cobb-Douglas. Medido pelo R<sup>2</sup>, o modelo ajustou-se bem aos dados. O exercício empírico é importante no atual contexto brasileiro, quando se conjecturam mudanças drásticas no perfil agrário do País, admitindo-se que a cana-de-açúcar substituirá lavouras que estão na base da alimentação dos consumidores, dada a demanda mundial por biocombustíveis. Coerente com a expectativa geral, a hipótese é de que os cultivos de soja, de milho e de pastagem estivessem sendo substituídos pelo cultivo da cana-de-açúcar, e isso implicaria sinal negativo para a variável tendência. A hipótese só não foi rejeitada para a variável tendência, no caso do milho–cana-de-açúcar, pois nos demais casos ela não tem o suporte dos dados. Na realidade, a soja é que tem substituído as demais lavouras, inclusive a de cana-de-açúcar. Especificamente no período avaliado (1994–2005), os preços internacionais relativos para milho–cana-de-açúcar, soja–cana-de-açúcar, carne–cana-de-açúcar e soja–carne não influenciaram as relações entre as respectivas áreas. A exceção é o caso soja–milho. O câmbio foi importante tanto para a relação milho–cana-de-açúcar, com elasticidade de 0,40%, como para a relação soja–milho, de 0,36%. Os juros, medidos pela taxa Selic, foram importantes no contexto das relações: soja–cana-de-açúcar, com elasticidade de 0,23%; pastagem–cana-de-açúcar, com elasticidade de 0,10% (marginalmente significativa); e soja–pastagem, com elasticidade de 0,23%. A variável tendência é estatisticamente significativa em todos os casos, exceto na relação pastagem–cana-de-açúcar e na relação soja–milho, nas quais foi omitida. O seu coeficiente mede a taxa instantânea de substituição de uma lavoura por outra. Tem-se o sinal esperado na relação milho–cana-de-açúcar, com taxa instantânea de -6,7%, o que indica que a cultura da cana-de-açúcar substituiu a do milho. E um sinal positivo nos seguintes

<sup>1</sup>Geraldo da Silva e Souza (geraldo.souza@embrapa.br), Eliseu Alves (eliseu.alves@embrapa.br), Eliane Gonçalves Gomes (eliane.gomes@embrapa.br), Rosaura Gazzola (rosaura.gazzola@embrapa.br) e Renner Marra (renner.marra@embrapa.br) são empregados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e, à exceção de Eliseu Alves – atualmente assessor do Diretor-Presidente –, estão lotados na Secretaria de Gestão e Estratégia (SGE).

cultivos: soja–cana-de-açúcar, 7,9%; soja–pastagem, 8,0%, o que indica que o da cana-de-açúcar vem sendo substituído. Reafirmando a conclusão, somente no caso do milho a cana-de-açúcar está substituindo uma dada lavoura. Nos demais casos, os dados não suportam a hipótese de substituição. Pelo contrário, indicam a perda de áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** efeitos de substituição de áreas cultivadas, elasticidades de substituição, cana-de-açúcar, carne bovina, milho e soja.

## Introdução

A questão da substituição de áreas agrícolas brasileiras, usualmente utilizadas no cultivo de alimentos para a produção de biocombustíveis, é controversa por haver dúvida tanto sobre o mercado internacional como sobre os mercados em geral. Do contrário a produção seria guiada pela lei da vantagem comparativa: cada país especializar-se-ia nos produtos em que fosse mais competente e, com isso, aumentaria o seu Produto Interno Bruto (PIB). Ademais, o crescimento da área de cana-de-açúcar levaria ao crescimento dos preços dos alimentos e um novo ponto de equilíbrio seria encontrado. Preços elevados e concorrência entre lavouras estimulariam o desenvolvimento tecnológico, o que resultaria numa queda dos preços depois da elevação inicial. Ou seja, o mercado levaria a um novo equilíbrio, certamente mais vantajoso do que aquele produzido por medidas intervencionistas.

Entretanto, há razões objetivas para duvidar de uma tamanha eficácia dos mercados. Estão aí as guerras que podem perturbar severamente o abastecimento; os países ricos freqüentemente desrespeitam o paradigma competitivo, com subsídios, barreiras tarifárias e não-tarifárias, quotas, embargos e outras medidas que distorcem o mercado de produtos agropecuários. É preciso precaução contra possíveis ocorrências de pragas, de doenças, de enchentes e de secas, bem como contra a fragilidade dos mecanismos internacionais para resolver conflitos e controvérsias. O caminho correto é o da realização de estudos para o desenho de cenários, dos quais resulte a proposição de medidas que o governo brasileiro precisa tomar para contrabalançar, por exemplo, a possível

concentração exagerada em cana-de-açúcar, em conformidade com paradigmas aceitos pelas regras do comércio internacional. Isso sempre dentro do princípio de medidas transitórias, exceto daquelas que visem a aumentar a produtividade das culturas.

Nossa discussão procede como segue. Na seção 2, apresentamos os aspectos metodológicos. Na seção 3, mostramos os resultados estatísticos obtidos e, finalmente, na seção 4, expomos as conclusões deste estudo.

## Aspectos metodológicos

O objeto deste estudo é a avaliação do efeito substituição de áreas de plantio de soja, de milho, de cana-de-açúcar e de pastagem, em razão de variações nos preços relativos desses produtos, da taxa de câmbio, da taxa de juros e de outros fatores representados por um componente de tendência. O modelo utilizado na análise estabelece uma relação do tipo Cobb-Douglas:

$$\frac{q_i}{q_j} = \gamma e^{\delta t} \left( \frac{p_i}{p_j} \right)^{\alpha} c^{\beta} r^{\lambda} \varepsilon$$

Nessa expressão,  $i$  e  $j$  representam os produtos investigados,  $q_t$  a área cultivada,  $p_t$  os preços,  $c$  a taxa de câmbio nominal,  $r$  a taxa de juros nominal,  $t$  o tempo, e  $\varepsilon$  uma componente aleatória positiva representando erro. As quantidades  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$  são parâmetros desconhecidos.

No caso da soja e da cana-de-açúcar, para representar a evolução de preços consideraram-se três possibilidades na definição do índice de preços associados à soja

(combinando-se os preços internacionais do grão, do óleo e do farelo) e à cana-de-açúcar (combinando-se os preços do açúcar e do álcool). Os índices considerados foram: Paasche, Laspeyres, Fisher e Tornquist, conforme definidos em Coelli et al. (1998).

As observações consideradas na análise cobrem o período 1994–2005 e, com exceção da taxa nominal de câmbio, da taxa nominal de juros, e do tempo, foram transformadas a índices com base em 1994. Todas as variáveis foram logaritmizadas para a base neperiana. A área de pastagem foi obtida aplicando-se a relação cabeças por área, observada no último censo agropecuário (IBGE, 1998).

No tocante aos preços, todos os dados utilizados no estudo se referem aos internacionais (U\$/t), à exceção do preço da carne bovina, que é relativo àquele recebido pelos produtores, no Brasil, corrigido pela taxa de câmbio nominal.

Os dados aqui usados foram obtidos de IBGE (1998), FAO (2007) e Ipea (2007).

## Evolução das áreas e dos preços relativos

Neste estudo foram utilizados os índices de Paasche, de Laspeyres, de Fisher e de Tornquist, e os melhores resultados foram obtidos com o índice de Fisher.

Na Tabela 1 apresentam-se os índices construídos, em base, nas séries de observações coletadas para este estudo.

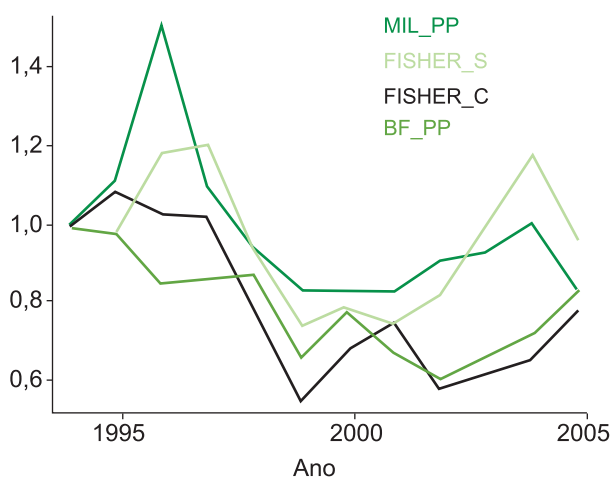
Inicia-se a discussão com uma exposição descritiva das séries representativas dos índices de preços e das quantidades de área.

A Fig. 1 mostra a evolução dos índices de preços para os quatro produtos estudados. Observa-se que, no período avaliado (1994–2005), os preços internacionais do milho e da soja dominam. Variações importantes dos preços só se observam no par soja–milho. Os preços desses produtos têm superado, constantemente, os preços da carne bovina (pastagem) e da cana-de-açúcar.

**Tabela 1.** Evolução dos índices de área cultivada e de preço para cana-de-açúcar, soja,<sup>(1)</sup> milho e pastagem (carne bovina).

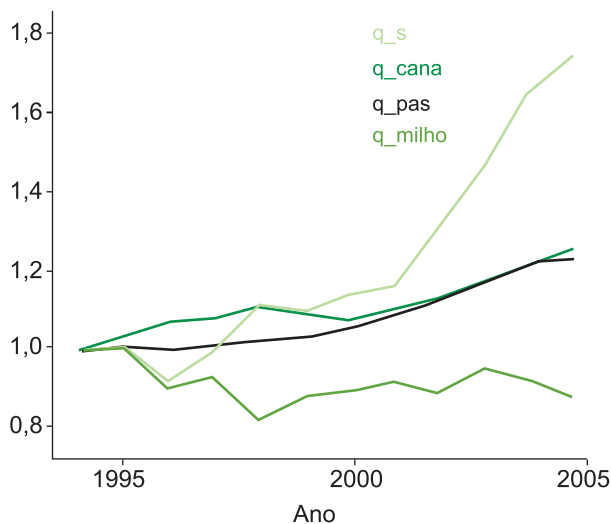
Ano	qsoja	qmilho	qcana	qpastagem	Psoja	Pcana	Pcarne	Pmilho
1994	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1995	1,01298	1,01437	1,04920	1,01886	0,98127	1,08642	0,98366	1,11489
1996	0,89363	0,87104	1,09321	1,00029	1,18420	1,02853	0,85014	1,51107
1997	0,99662	0,91369	1,10789	1,02005	1,20582	1,02319	0,86616	1,10052
1998	1,15429	0,76992	1,14742	1,03104	0,94066	0,79708	0,87256	0,93774
1999	1,13327	0,84454	1,12740	1,04030	0,74140	0,55341	0,66211	0,83500
2000	1,18493	0,86483	1,10569	1,07351	0,79353	0,67891	0,78087	0,83277
2001	1,21341	0,89718	1,14099	1,11467	0,74929	0,75358	0,67336	0,82810
2002	1,41942	0,85542	1,17379	1,17129	0,82156	0,58022	0,60845	0,90548
2003	1,60730	0,94304	1,23606	1,23577	0,99800	0,62748	0,66714	0,93439
2004	1,86883	0,90267	1,29607	1,29239	1,18572	0,66229	0,72441	1,00914
2005	1,99115	0,84003	1,33606	1,30910	0,96015	0,78971	0,83393	0,83430

<sup>(1)</sup>Índices de preços para a soja e a cana-de-açúcar foram calculados segundo a abordagem do índice ideal de Fisher. Fonte: Índices calculados pelos autores com dados originais de IBGE (1998), FAO (2007) e Ipea (2007).



**Fig. 1.** Evolução dos índices de preços do milho (MIL\_PP), soja (FISHER\_S), cana-de-açúcar (FISHER\_C) e carne (BF\_PP). Ano-base: 1994.

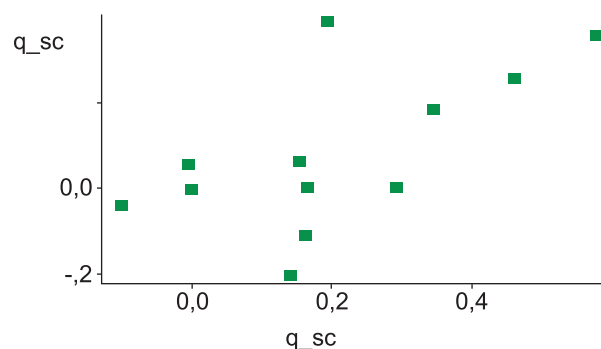
A Fig. 2 mostra a evolução dos índices de área cultivada. A dominância da soja é evidente. O processo mais estacionário é o do milho, e o comportamento da cana-de-açúcar e da pastagem parece evidenciar tendência secular análoga.



**Fig. 2.** Evolução dos índices de área cultivada com milho (q\_milho), com pastagem (q\_pas), com cana-de-açúcar (q\_cana) e com soja (q\_s). Ano-base: 1994.

Quando se analisa a área relativa, pode-se observar (Fig. 3) uma associação positiva

entre as variações relativas na área e as variações dos preços relativos para o par soja-cana-de-açúcar. O ajuste do modelo linear em logs postulado é dado na Tabela 1.



**Fig. 3.** Variação da quantidade relativa de área cultivada com soja-cana-de-açúcar (q\_sc) em razão do preço relativo da soja comparado ao da cana-de-açúcar (p\_sc).

## Resultados estatísticos

As tabelas dos resultados estatísticos serão apresentadas para cada relação de duas culturas, como, por exemplo, soja-cana-de-açúcar. Para facilitar a compreensão, a seguir são citadas as hipóteses sobre os coeficientes e os fatos encontrados.

- **Hipóteses:** não se espera que o câmbio e as taxas de juros favoreçam a uma lavoura *vis-à-vis* a outra. Não há razões objetivas para uma atividade ser favorecida *vis-à-vis* a outra pela variação dos juros ou da taxa de câmbio. Assim, admitem-se como sendo zero os coeficientes das variáveis juros e taxa de câmbio.

- No caso dos juros, a hipótese foi rejeitada para soja-cana-de-açúcar, em que 1% de incremento deles traz um incremento de 0,23% na relação área de soja-cana-de-açúcar. Portanto, se os juros crescem, a área de soja faz o mesmo *vis-à-vis* a de cana-de-açúcar.

- No caso de pastagem-cana-de-açúcar, a taxa de juros é marginalmente significativa no nível de 10,1%. Para soja-pastagem, 1% de incremento dos juros traz 0,23% de aumento da relação área de soja-pastagem. Finalmente, a

hipótese não foi rejeitada para milho–cana-de-açúcar e soja–milho.

- A hipótese de nulidade do coeficiente da variável taxa de câmbio foi rejeitada para milho–cana-de-açúcar, em que 1% de desvalorização do real leva a um aumento de 0,40% na área de milho relativa à de cana-de-açúcar; bem como para soja–milho, em que 1% de aumento da taxa de câmbio leva a 0,36% de aumento relativo da área de soja em relação à área de milho.

- No caso do tempo, admite-se que a cana-de-açúcar substitui as outras lavouras. Por isso, espera-se que o coeficiente da variável tempo seja negativo. Isso ocorreu somente com milho–cana-de-açúcar. Para o tempo, a hipótese de nulidade não foi rejeitada para pastagem–cana-de-açúcar, ou seja, pastagem não substitui cana-de-açúcar e vice-versa.

- A soja apresenta uma tendência consistente de substituir cana-de-açúcar, milho e pastagem. Persistindo a influência do passado, a soja é a ameaça, uma vez que a da cana-de-açúcar é pouco importante.

- Tipicamente, admite-se que os coeficientes dos preços relativos sejam positivos caso sejam significantes. Na aplicação em apreço, só se encontrou evidência de que a influência dos preços relativos seja apreciável para o caso soja–milho. É interessante observar que há, para o par

milho–cana-de-açúcar, uma relação aparentemente negativa.

## Soja–cana-de-açúcar

Na regressão da relação entre a área plantada de soja e de cana-de-açúcar e os preços relativos soja–cana-de-açúcar, taxa de câmbio, taxa de juros e tendência (Tabela 2), observa-se que as elasticidades da taxa de juros e do tempo dominam a relação.

O resultado encontrado mostra que, em relação ao da cana-de-açúcar, o aumento de 1% no preço relativo da soja conduz àquele esperado na relação de área, em favor da soja, de 0,04%. O coeficiente não é estatisticamente significativo.

## Pastagem–cana-de-açúcar

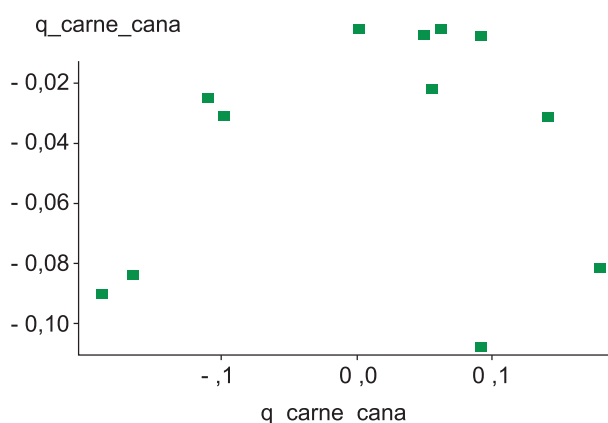
Mostra-se, na Fig. 4, a evolução das áreas relativas de pastagem–cana-de-açúcar em virtude dos preços relativos de carne–cana-de-açúcar. Não existe uma relação linear crescente clara entre as variações na razão de áreas e na razão de preços.

Na realidade, não há evidência de associação log-linear entre os construtos de interesse, incluindo-se a taxa de juros e o tempo (Tabela 3).

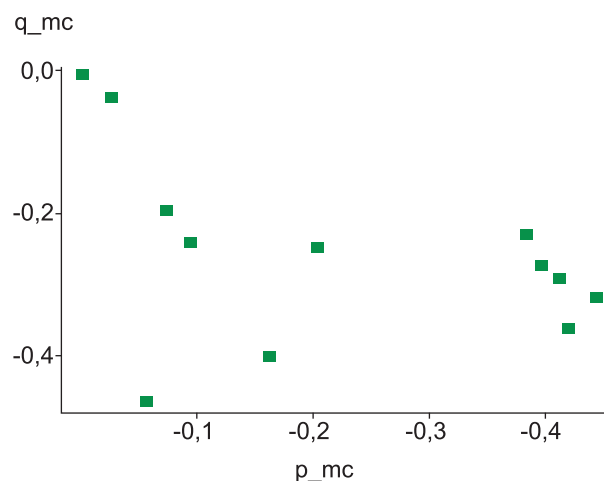
**Tabela 2.** Ajuste da regressão no SAS v 9.1.3 (SAS, 2007) das variações relativas de área cultivada de soja–cana-de-açúcar em razão da variação nos preços relativos, da taxa de câmbio, da taxa de juros e de uma componente de tendência –  $R^2 = 96,2\%$ .

Análise de variância					
Fonte	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F valor	Pr > F
Modelo	4	0,35195	0,08799	37,83	0,0002
Erro	6	0,01395	0,00233		
Total corrigido	10	0,36590			
Estimativa dos parâmetros					
Variável	GL	Estimativa	Erro padrão	t valor	Pr >  t
intercepto	1	-0,50115	0,07175	-6,98	0,0004
p_sc	1	0,03546	0,10584	0,34	0,7490
câmbio	1	-0,06425	0,09365	-0,69	0,5183
juros	1	0,23123	0,07137	3,24	0,0177
tempo	1	0,07938	0,01306	6,08	0,0009

Fonte: Secretaria de Gestão e Estratégia (SGE) da Embrapa, 2007.



**Fig. 4.** Variação da quantidade relativa da área cultivada com pastagem–cana-de-açúcar ( $q_{carne\_cana}$ ) em virtude do preço relativo da carne comparado ao preço da cana-de-açúcar ( $p_{carne\_cana}$ ).



**Fig. 5.** Variação da quantidade relativa de área cultivada com milho–cana-de-açúcar ( $q_{mc}$ ), em virtude do preço relativo do milho comparado ao preço da cana-de-açúcar ( $p_{mc}$ ).

**Tabela 3.** Ajuste da regressão no SAS v 9.1.3 (SAS, 2007) das variações relativas da área de pastagem–cana-de-açúcar em razão da variação nos preços relativos, da taxa de câmbio, da taxa de juros e de uma componente de tendência –  $R^2 = 73,0\%$ .

Análise de variância					
Fonte	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F valor	Pr > F
Modelo	4	0,01134	0,00284	4,06	0,0625
Erro	6	0,00419	0,00070		
Total corrigido	10	0,01553			
Estimativa dos parâmetros					
Variável	GL	Estimativa	Erro padrão	t valor	Pr >  t
intercepto	1	-0,12757	0,04099	-3,11	0,0208
$p_{carne\_cana}$	1	-0,09725	0,07811	-1,25	0,2595
câmbio	1	0,05693	0,03944	1,44	0,1990
juros	1	0,09763	0,05038	1,94	0,1008
tempo	1	0,00186	0,00719	0,26	0,8041

Fonte: Secretaria de Gestão e Estratégia (SGE) da Embrapa, 2007.

## Milho–cana-de-açúcar

Quando se estuda a associação entre as quantidades relativas das áreas plantadas com milho e com cana-de-açúcar, em razão do respectivo quociente de preços, encontra-se uma evidente tendência negativa, como mostra a Fig. 5.

O modelo ajustado consta da Tabela 4, na qual se confirma a associação negativa entre as áreas relativas cultivadas com milho–cana-de-açúcar, embora a relação com os preços relativos seja apenas marginalmente significativa.

**Tabela 4.** Ajuste da regressão no SAS v 9.1.3 (SAS, 2007) das variações relativas da área plantada com milho–cana-de-açúcar em razão da variação nos preços relativos desses produtos, da taxa de câmbio, da taxa de juros e de uma componente de tendência –  $R^2 = 77,0\%$ .

Análise de variância					
Fonte	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F valor	Pr > F
Modelo	4	0,09991	0,02498	5,01	0,0405
Erro	6	0,02993	0,00499		
Total corrigido	10	0,12984			

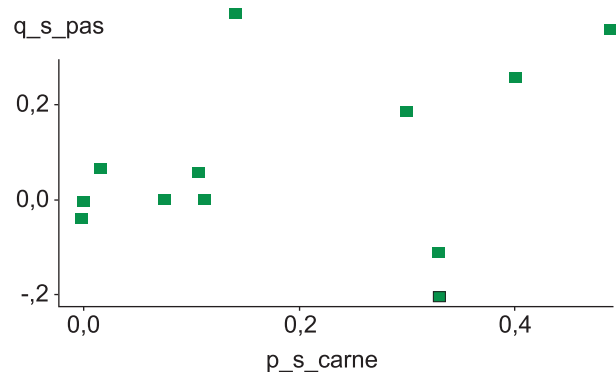
  

Estimativa dos parâmetros					
Variável	GL	Estimativa	Erro padrão	t valor	Pr >  t
intercepto	1	-0,00351	0,12253	-0,03	0,9781
p_mc	1	-0,25865	0,16918	-1,53	0,1772
câmbio	1	0,40357	0,16171	2,50	0,0468
juros	1	0,08705	0,10488	0,83	0,4383
tempo	1	-0,06690	0,02173	-3,08	0,0217

Fonte: Secretaria de Gestão e Estratégia (SGE) da Embrapa, 2007.

## Soja–pastagem

No estudo da relação de área plantada com soja–pastagem e preços relativos, observa-se (Fig. 6) uma evidente associação positiva, notadamente no final do período analisado. Contudo, essa tendência não é captada pelo modelo, conforme resultados da Tabela 5.



**Fig. 6.** Variação da quantidade relativa de área plantada de soja–pastagem ( $q_{s\_pas}$ ) em razão do preço relativo da soja em relação ao da carne ( $p_{s\_carne}$ ).

## Soja–milho

Finalmente, no estudo das associações de áreas relativas e preços relativos para a combinação soja–milho, verifica-se (Fig. 7) uma relação linear com coeficiente angular positivo entre variações na área e variações nos preços relativos.

A inclusão da variável tempo no modelo destrói essa associação do ponto de vista das estimativas geradas. Os resultados do modelo sem a presença do tempo encontram-se na Tabela 6, os quais mostram a dominância das variáveis preços relativos e câmbio.

A ausência de significância das variáveis econômicas na regressão incluindo o tempo é resultado de multicolinearidade (o tempo tem um fator de inflação de variância – VIF – de 16,4) e, por essa razão, opta-se pelo modelo mais parcimonioso da Tabela 6, sem a presença da variável tempo.



**Tabela 5.** Ajuste da regressão no SAS v 9.1.3 (SAS, 2007) das variações relativas de área soja–pastagem em razão da variação nos preços relativos, da taxa de câmbio, da taxa de juros e de uma componente de tendência –  $R^2 = 96,1\%$ .

Análise de variância					
Fonte	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F valor	Pr > F
Modelo	4	0,35176	0,08794	37,30	0,0002
Erro	6	0,01415	0,00236		
Total corrigido	10	0,36590			

Estimativa dos parâmetros					
Variável	GL	Estimativa	Erro padrão	t valor	Pr >  t
intercepto	1	-0,49664	0,07455	-6,66	0,0006
p_s_carne	1	-0,01713	0,10014	-0,17	0,8698
câmbio	1	-0,05450	0,09202	-0,59	0,5753
juros	1	0,22930	0,07231	3,17	0,0193
tempo	1	0,07963	0,01312	6,07	0,0009

Fonte: Secretaria de Gestão e Estratégia (SGE) da Embrapa, 2007.

**Tabela 6.** Ajuste da regressão no SAS v 9.1.3 (SAS, 2007) das variações relativas da área plantada de soja–milho em razão da variação nos preços relativos, da taxa de câmbio e da taxa de juros –  $R^2 = 79,7\%$ .

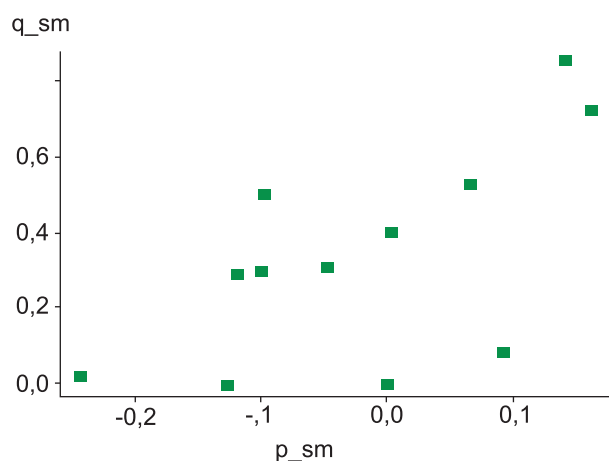
Análise de variância					
Fonte	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F valor	Pr > F
Modelo	3	0,61167	0,20389	9,15	0,0081
Erro	7	0,15593	0,02228		
Total corrigido	10	0,76760			

Estimativa dos parâmetros					
Variável	GL	Estimativa	Erro padrão	t valor	Pr >  t
intercepto	1	0,18337	0,15022	1,22	0,2617
p_sm	1	0,94913	0,41256	2,30	0,0549
câmbio	1	0,36342	0,15802	2,30	0,0550
juros	1	-0,00233	0,21419	-0,01	0,9916

Fonte: Secretaria de Gestão e Estratégia (SGE) da Embrapa, 2007.





**Fig. 7.** Variação da quantidade relativa da área plantada de soja-milho ( $q_{sm}$ ) em razão do preço relativo da soja comparado ao preço do milho ( $p_{sm}$ ).

## Referências

COELLI, T.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Boston: Kluwer Academic Publishers. 1998. 275 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. 2007. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 18 maio 2007.

## Conclusões

Com este estudo, não foram encontradas evidências de que a área cultivada com cana-de-açúcar esteja substituindo a área de pecuária e de soja. Somente a área de cultivo de milho é substituída pela de cultivo de cana-de-açúcar.

A lavoura de soja, no entanto, está entrando nas áreas de pastagem, de cana-de-açúcar e de milho. Logo, se os preços relativos favorecerem a soja, essa cultura será a maior pedra de tropeço no caminho da cultura de cana-de-açúcar.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 1995-1996**: 1998. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 22 maio 2007.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Ipeadata**: dados macroeconômicos e regionais. 2007. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 22 maio 2007.

SAS. SAS Institute. **SAS®9**: User Guide. North Carolina: SAS Institute, 2007.