

Caracterização de elasticidades via modelos de equilíbrio para os mercados de milho e soja¹

Geraldo da Silva e Souza²
Eliane Gonçalves Gomes³
Eliseu Alves⁴

Resumo – Este artigo considera modelos de equilíbrio simultâneo para os mercados brasileiros de milho, soja em grão, farelo de soja e óleo de soja. As elasticidades estimadas podem ser utilizadas diretamente para esses mercados, *ceteris paribus*, ou na calibração de modelos de equilíbrio computável. Os modelos foram estimados em três grupos: soja em grãos, farelo e óleo de soja e milho. O número de observações disponíveis não viabiliza a estimação simultânea dos três grupos. Além disso, avalia-se o efeito no mercado de soja de um choque na taxa de câmbio, explorando a relação de cointegração entre preços de fertilizante e câmbio.

Palavras-chave: cointegração, método de momentos generalizado, modelos de equilíbrio simultâneo.

Elasticity characterization by means of equilibrium models for maize and soybean markets

Abstract – This article considers simultaneous equilibrium models for the Brazilian markets of maize, soybean seed, soybean meal, and soybean. Estimated elasticities, *ceteris paribus*, can be used directly or to calibrate computable equilibrium models. The models are estimated in tree groups: soybean seed, soybean meal and oil, and maize. The number of available observations does not allow simultaneous estimation for the three groups. A further analysis of the soybean market investigates the effect of an exchange rate shock, exploring the cointegration between exchange rate and fertilizer price.

Keywords: cointegration, generalized method of moments, simultaneous equilibrium models.

Introdução

Em geral, a especificação de modelos comportamentais para os agentes econômicos no mercado de commodities e de produtos

agropecuários é de interesse intrínseco tanto no contexto do planejamento estratégico associado à caracterização de linhas de pesquisa quanto para a formulação de políticas públicas. Na

¹ Original recebido em 25/10/2018 e aprovado em 8/5/2019.

² Pesquisador da Embrapa (Sire). E-mail: geraldo.souza@embrapa.br

³ Pesquisadora da Embrapa (Sire). E-mail: eliane.gomes@embrapa.br

⁴ Pesquisador da Embrapa, assessor do Presidente da Embrapa. E-mail:eliseu.alves@embrapa.br

literatura econométrica, há muitos exemplos – Souza et al. (2014), OECD-FAO (2016, 2017) e USDA (2017).

Os modelos de equilíbrio utilizados para explicar o comportamento dos agentes econômicos no comércio internacional podem ser gerais ou parciais, dependendo de a modelagem ser feita para a economia como um todo ou para determinado setor. O modelo Aglink-Cosimo da OECD/FAO (OECD, 2015), por exemplo, é parcial no sentido de que modela apenas o setor agropecuário. O Global Trade Analysis Project – GTAP (Walmsley et al., 2012) e o General Equilibrium Modelling Package – GEMPACK (Horridge et al., 2018) são de equilíbrio geral.

Tipicamente, os modelos de equilíbrio geral ou parcial são essencialmente determinísticos. Fazem uso em sua especificação de funções de oferta e de demanda nas famílias CES, Cobb-Douglas ou Leontief. Os parâmetros dessas formas funcionais são fixados a priori com o uso de elasticidades obtidas externamente ao modelo.

As elasticidades de substituição no modelo GEMPACK, por exemplo, foram originalmente retiradas de um conjunto conhecido como elasticidades de Armington. O modelo Aglink-Cosimo faz uso de formas do tipo Cobb-Douglas, com as elasticidades de oferta e demanda especificadas pela OECD/FAO. Esses parâmetros são raramente estimados e presume-se que sejam suportados pelos dados disponíveis no âmbito das aplicações a que esses modelos se propõem.

O objetivo deste artigo foi propor modelos de equilíbrio parcial para os mercados de soja em grãos, farelo de soja, óleo de soja e de milho no Brasil. O modelo de equilíbrio parcial definido pelo Aglink-Cosimo serviu de base para a especificação dos sistemas de equilíbrio parcial aqui estudados.

Modelagem do mercado de soja e derivados

Estuda-se aqui o mercado de soja em grão separadamente do de farelo e óleo. O número

de observações disponíveis não suporta o ajuste simultâneo.

Variáveis

A Tabela 1 mostra a descrição das variáveis econômicas envolvidas na especificação e na estimação dos modelos para os mercados do complexo soja. Envolve variáveis endógenas, exógenas e instrumentais. A Tabela 2 mostra a base de dados para a análise e corresponde a 1995–2015.

O mercado de soja em grão

O modelo de equilíbrio parcial para o mercado de soja em grão compõe-se de um conjunto de quatro equações de comportamento. As variáveis dependentes estimadas são Área colhida com soja, Quantidade esmagada de soja, Produtividade da cultura da soja e Exportação de soja em grão. Outras variáveis consideradas endógenas são Margem obtida com o esmagamento da soja, Preço internacional da soja (US\$ de julho 2017) e Retorno da soja por hectare. As funções resposta são definidas em logs naturais e, portanto, pertencem à família Cobb-Douglas.

A Tabela 3 especifica as equações utilizadas no ajuste econométrico. No caso da soja em grão, como insumo primário, não é definida uma função de demanda. No lugar de uma função de oferta são definidas duas equações de comportamento análogas, uma para a área colhida (SB_AH) e outra para a produtividade (SB_YLD). Considera-se, além disso, uma equação para as exportações de soja em grãos (SB_EX). As equações associadas à oferta representam modificações dos construtos apresentados em OECD (2015).

A Tabela 4 mostra o ajuste obtido com método de momentos generalizado – GMM (Davidson & MacKinnon, 1993; Wooldridge, 2010; Greene, 2017). O teste de sobreidentificação de Hansen (Davidson & MacKinnon, 1993; Wooldridge, 2010; Greene, 2017) tem p-valor 1,0000, com 65 graus de liberdade e, portanto, não há evidência suficiente para rejeitar a modelagem.

Tabela 1. Variáveis para o mercado de soja em grão, farelo de soja e óleo de soja.

Variável	Tipo	Descrição	Unidade
Gerais			
AG_INV	Exógena	Crédito rural à produção	10 ⁶ R\$
ME_XR	Exógena	Taxa de câmbio	R\$/US\$
SELIC	Exógena	Taxa de juros anual no Brasil	%
ME_GDPI	Exógena	Índice do PIB (base = 2005)	%
ME_POP	Exógena	População	1.000 hab.
RENDAPCI	Exógena	Renda per capita=índice do PIB/índice de população (base = 2005)	-
FT_PP	Exógena	Índice de preços ao produtor (fertilizantes)	%
TRND	Exógena	Componente de tendência (1995 = 1)	-
Soja em grãos			
MA_AH	Exógena	Área colhida com milho	1.000 ha
SB_AH	Endógena	Área colhida com soja	1.000 ha
SB_RH	Endógena	Retorno da soja por hectare	US\$/ha
SB_CR	Endógena	Quantidade esmagada de soja	1000 t
SB_CRMAR	Endógena	Margem obtida com o esmagamento da soja	US\$/t
SB_YLD	Endógena	Produtividade da cultura da soja	t/ha
SB_EX	Endógena	Exportação de soja em grão	1.000 t
SB_PP	Exógena	Preço internacional da soja em grão (US\$ de julho 2017)	US\$/t
Farelo de soja e óleo de soja			
SM_QC	Endógena	Consumo de farelo de soja	1.000 t
SM_ST	Endógena	Estoques finais de farelo de soja	1.000 t
SM_EX	Endógena	Exportação de farelos	1.000 t
SM_QP	Exógena	Produção de farelo de soja	1.000 t
SM_PP	Endógena	Preço internacional farelo de soja (US\$ de julho 2017)	US\$/t
SL_QC	Endógena	Consumo de óleo de soja	1.000 t
SL_ST	Endógena	Estoques finais de óleo de soja	1.000 t
SL_EX	Endógena	Exportação de óleo de soja	1.000 t
SL_QP	Exógena	Produção de óleo de soja	1.000 t
SL_PP	Endógena	Preço internacional óleo de soja (US\$ de julho 2017)	US\$/t
BV_QP	Exógena	Produção de carne bovina	1.000 t
PT_QP	Exógena	Produção de carne aves	1.000 t

Na modelagem do mercado de soja em grão, não se obteve significância estatística com o uso direto da componente de preço internacional da soja em grão nas equações de produtividade e área colhida, que geram a oferta da soja em grão. Foi possível obter elasticidades-preço marginalmente significantes com a inclusão da

componente exportação nas duas variáveis. Nesse contexto, a elasticidade-preço da área colhida é calculada pelo produto $B32*B03 = 0,9618$ ($\pm 0,5086$; p-valor = $0,0758$); e da produtividade, pelo produto $B33*B23 = 0,1727$ ($\pm 0,1159$; p-valor = $0,1545$) – Tabela 4. Ambas as elasticidades são positivas e estimadas conjuntamente. É claro que

Tabela 2. Variáveis usadas na modelagem do mercado de soja em grão, farelo de soja e óleo de soja.

Ano	SELIC	AG_INV	ME_XR	ME_GDPI	ME_POP	FT_PP
1995	53,09	6.962,63	0,92	0,79	154.524,26	109,84
1996	27,41	6.728,11	1,00	0,81	157.070,16	135,39
1997	24,79	11.148,72	1,08	0,83	160.087,32	144,62
1998	28,88	11.605,04	1,16	0,83	163.385,80	142,11
1999	25,59	12.117,64	1,81	0,84	166.708,71	189,96
2000	17,43	14.859,57	1,83	0,87	169.799,17	204,45
2001	17,32	18.932,17	2,35	0,88	172.460,47	247,16
2002	19,17	23.341,79	2,92	0,91	174.736,63	291,61
2003	23,35	31.789,05	3,08	0,92	176.731,84	370,05
2004	16,25	42.091,74	2,93	0,97	178.550,32	457,21
2005	19,05	43.112,37	2,44	1,00	180.296,25	422,34
2006	15,08	45.461,00	2,18	1,04	182.073,84	381,26
2007	11,88	52.728,57	1,95	1,10	183.987,29	448,10
2008	12,48	66.128,42	1,83	1,16	186.110,10	756,09
2009	9,93	74.096,18	2,00	1,16	188.392,94	543,60
2010	9,76	82.371,76	1,76	1,24	190.755,80	460,34
2011	11,62	93.563,09	1,67	1,29	192.379,29	555,03
2012	8,49	114.413,72	1,95	1,32	193.946,89	624,66
2013	8,22	139.663,70	2,16	1,36	201.032,71	638,07
2014	10,90	164.578,08	2,35	1,37	202.768,56	644,30
2015	13,27	154.225,63	3,33	1,31	204.450,65	770,35

Ano	SB_PP	SB_AH	SB_RH	SB_CR	SB_YLD	SB_EX	MA_AH
1995	340,66	9.616,65	253,40	20.937,53	2,41	1.940,48	13.756,70
1996	392,38	9.441,39	421,47	17.158,26	2,44	4.410,51	13.756,70
1997	394,01	10.635,33	535,54	19.441,58	2,36	5.407,66	13.798,80
1998	372,35	11.525,41	551,61	22.267,87	2,25	3.995,14	14.282,20
1999	351,50	11.675,01	595,76	20.937,53	1,99	2.138,07	13.756,70
2000	383,10	13.656,77	637,39	21.645,00	2,40	13.276,46	11.890,38
2001	368,82	13.985,10	813,37	21.578,00	2,71	16.005,13	12.335,18
2002	372,57	16.359,44	1.049,48	22.773,00	2,57	18.858,43	11.760,97
2003	427,28	18.524,77	1.425,30	27.447,13	2,80	20.637,41	12.965,68
2004	449,38	21.538,99	1.518,52	28.706,01	2,30	19.339,76	12.410,68
2005	394,75	22.948,87	1.319,82	29.859,52	2,23	22.547,39	11.549,43
2006	349,02	22.047,35	1.116,81	28.332,05	2,38	21.741,73	12.613,09
2007	415,63	20.565,28	1.241,81	31.484,69	2,81	22.451,51	13.767,43
2008	449,49	21.246,30	1.635,15	32.325,22	2,82	23.275,72	14.444,58
2009	432,37	21.750,47	1.860,06	30.426,27	2,64	26.848,85	13.654,72

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Ano	SB_PP	SB_AH	SB_RH	SB_CR	SB_YLD	SB_EX	MA_AH
2010	397,24	23.327,30	1.904,34	35.506,10	2,95	27.080,97	12.678,88
2011	393,15	23.968,66	2.055,51	37.270,17	3,12	32.791,73	13.218,89
2012	456,23	24.975,26	2.363,73	36.433,91	2,64	27.819,90	14.198,50
2013	447,98	27.906,68	2.691,18	36.238,00	2,93	40.857,43	15.279,65
2014	422,76	30.273,76	2.819,58	37.622,00	2,87	44.177,51	15.432,91
2015	386,56	32.181,24	3.035,93	40.556,00	3,03	53.388,86	15.406,01

Ano	SM_PP	SM_QC	SM_ST	SM_EX	SM_QP
1995	258,71	5.058,60	212,90	11.261,70	16.121,90
1996	344,84	2.956,94	457,00	10.010,82	13.211,86
1997	367,85	4.350,63	628,40	10.447,98	14.970,01
1998	260,30	6.474,08	869,70	10.430,88	17.146,26
1999	265,60	7.198,77	452,90	9.375,41	16.121,90
2000	342,59	4.690,62	1.256,90	11.270,73	16.666,65
2001	340,98	4.517,12	1.056,40	12.517,16	16.615,06
2002	308,15	4.851,62	1.590,20	12.517,42	17.535,21
2003	341,32	7.272,06	2.155,40	13.602,55	21.134,29
2004	353,30	7.930,51	2.030,60	14.485,80	22.103,63
2005	308,08	8.963,44	1.824,60	14.423,12	22.991,83
2006	271,73	9.676,43	1.782,60	12.333,68	21.815,68
2007	333,13	11.343,23	2.306,60	12.477,20	24.243,21
2008	365,61	11.972,63	3.053,00	12.288,71	24.890,42
2009	403,45	12.363,26	1.908,20	12.253,17	23.428,23
2010	334,80	13.569,63	2.049,10	13.668,64	27.339,70
2011	289,24	13.157,31	3.259,40	14.355,23	28.698,03
2012	403,95	16.160,76	868,70	14.289,06	28.054,11
2013	454,03	14.995,15	447,10	13.333,59	27.903,26
2014	453,64	15.431,77	268,80	13.716,46	28.968,94
2015	390,52	15.836,02	835,30	14.826,74	31.228,12

Ano	SL_PP	SL_QC	SL_ST	SL_EX	SL_QP
1995	821,57	2.649,53	277,80	1.283,10	3.816,00
1996	709,75	2.489,32	365,30	746,56	3.186,50
1997	756,92	2.319,22	326,10	1.534,30	3.559,80
1998	960,05	2.677,60	225,50	1.730,30	4.103,80
1999	743,33	2.649,53	277,80	1.283,10	3.816,00
2000	611,10	2.995,15	457,10	1.072,99	4.142,00
2001	667,20	2.705,03	284,10	1.651,53	4.111,00
2002	792,59	2.414,73	437,80	1.934,39	4.369,00

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Ano	SL_PP	SL_QC	SL_ST	SL_EX	SL_QP
2003	898,36	2.954,34	319,90	2.485,99	5.285,99
2004	905,68	3.006,75	330,10	2.517,24	5.507,29
2005	783,10	3.092,81	279,00	2.697,05	5.735,57
2006	776,88	3.099,16	214,50	2.419,38	5.428,68
2007	954,02	3.685,72	275,10	2.342,54	6.044,81
2008	1.075,53	4.007,77	246,20	2.315,84	6.267,29
2009	839,10	4.273,72	302,20	1.593,65	5.895,96
2010	884,16	5.141,14	541,10	1.563,76	6.927,55
2011	945,75	5.489,30	651,00	1.741,41	7.340,49
2012	947,21	5.267,79	640,20	1.757,14	7.013,11
2013	878,13	5.777,27	580,50	1.362,47	7.075,00
2014	781,83	6.137,65	580,50	1.305,10	7.442,68
2015	749,92	6.711,48	298,70	1.669,95	8.074,35

Tabela 3. Equações do modelo de equilíbrio parcial para soja em grão.

Variável dependente	Equação
SB_AH (área colhida de soja em grão)	= B01+B02*SB_RH+B03*SB_EX
SB_CR (quantidade esmagada de soja em grão)	= B11+B12*SB_CRMAR ⁽¹⁾
SB_YLD (produtividade de soja em grão)	= B21+B22*FT_PP+B23*SB_EX
SB_EX (exportação de soja em grão)	= B31+B32*SB_PP+B33*ME_XR

Nota: as quantidades B_{ij} são parâmetros a ser estimados.

⁽¹⁾ $SB_CRMAR = \text{LOG}((SM_PP * SM_YLD + SL_PP * SL_YLD) / SB_PP)$.

todo o sistema é estimado de modo simultâneo. A evidência, portanto, é que choques de preço tendem a gerar maior efeito sobre a área colhida do que sobre a produtividade.

Considerou-se também o impacto de um aumento na taxa de câmbio nas equações comportamentais do mercado de soja em grão. Nesse contexto, supõe-se a presença de um mecanismo de cointegração entre índice de preços interno de fertilizantes (FT_PP) e taxa de câmbio (ME_XR). Essa relação sugere a manutenção do componente FT_PP no processo de estimação. Apesar de não estatisticamente significativa, FT_PP tem o sinal correto e pode ser tão baixo quanto -0,2130 (limite inferior do intervalo de confiança a 95%). De fato, as variáveis FT_PP e ME_XR comportam-se como processos integra-

dos de primeira ordem (raízes unitárias) e satisfazem as condições para cointegração via teste de Johansen (1995). Os valores probabilísticos em nível do teste de Dickey-Fuller aumentado são 0,3797 para FT_PP e 0,4729 para ME_XR. Supondo a presença de tendência linear sem intercepto na equação de cointegração, obtém-se significância de 0,0246 para inexistência de cointegração e 0,5849 para no máximo uma relação, segundo o critério do autovalor máximo, e 0,0412 e 0,5849, respectivamente, para o critério do traço. A elasticidade de longo prazo estimada é de 0,31199 ($\pm 0,07519$), sob a hipótese de normalização do preço de fertilizantes. Utilizando essa estratégia de *passthrough*, pode-se avaliar, por exemplo, o efeito na produção de um aumento exógeno de 1% na taxa de câmbio. Nesse

Tabela 4. Estimação GMM para soja em grão.

Adequabilidade do ajuste

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
SB_AH	3	17	0,1184	0,9519
SB_CR	2	18	0,7697	0,3752
SB_YLD	3	17	0,1106	0,5992
SB_EX	3	17	7,3316	0,4786

Estimativa dos parâmetros por GMM

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B01	5,7670	0,1089	<0,0001
B02 (SB_RH)	0,3895	0,0896	0,0004
B03 (SB_EX)	0,1330	0,0706	0,0766
B11	10,0986	0,0415	<0,0001
B12 (SB_CRMAR)	3,0852	0,4700	<0,0001
B21	-0,17433	0,0904	0,0708
B22 (FT_PP)	-0,0063	0,1055	0,9530
B23 (SB_EX)	0,1193	0,0692	0,1028
B31	-34,5612	17,4884	0,0646
B32 (SB_PP)	7,2292	2,9396	0,0249
B33 (ME_XR)	1,4476	0,3236	0,0003

Nota: as variáveis instrumentais utilizadas na estimativa GMM foram: 1, TRND, TRND², ME_GDPI, ME_GDPI², AG_INV, AG_INV², ME_XR, SELIC, SELIC², FT_PP, FT_PP², ME_POP², CROSS1 (=TRND*SELIC), CROSS2 (=TREND*ME_GDPI), CROSS3 (=SELIC*ME_GDPI), LAG(SB_AH), LAG(SB_RH), LAG(SB_YLD).

caso, espera-se aumento de 0,31% no preço de fertilizantes. O efeito combinado na produtividade seria de aumento de $B22*0,31199+B33*B23 = 0,17\%$ ($\pm 0,09\%$; p-valor = 0,0619) e, na área colhida, de $B03*B33=0,19\%$ ($\pm 0,12\%$; p-valor = 0,1324) – Tabela 4. Ambas as quantidades são estimadas simultaneamente.

O mercado de farelo e óleo de soja

O modelo de comportamento do mercado de farelo e de óleo de soja compõe-se de seis equações: duas equações de comportamento de estoques (SM_ST e SL_ST), duas de consumo (SM_QC e SL_QC) e duas para o mercado de exportações (SM_EX e SL_EX), descritas na Tabela 5.

As equações dos mercados de farelo e de óleo de soja foram estimadas simultaneamente por mínimos quadrados em três estágios (Davidson & MacKinnon, 1993; Wooldridge, 2010; Greene, 2017). Não se obteve convergência com o método GMM. O teste de Sargan para validade dos instrumentos foi feito separadamente para cada equação utilizando a técnica descrita em Heij et al. (2004). Os p-valores obtidos foram: 0,7498 (15 gl) para SM_QC; 0,8074 (14 gl) para SM_ST; 0,6888 (14 gl) para SL_QC; 0,7577 (14 gl) para SL_ST; 0,7487 (15 gl) para SM_EX; e 0,7255 (15 gl) para SL_EX. A Tabela 6 mostra as estimativas para o modelo da Tabela 5.

O efeito do aumento de 10% no câmbio nos mercados de farelo e óleo de soja, dada a

Tabela 5. Equações dos mercados de farelo e óleo de soja.

Variável dependente	Equação
SM_QC (consumo de farelo de soja)	= B01+B02*PT_QP+B03*BV_QP
SM_ST (estoque de farelo de soja)	= B11+B12*SM_QP+B13*SM_PP+B14*LAG(SM_ST)
SL_QC (consumo de óleo de soja)	= B21+B22*SL_PP+B23*RENDAPCI+B24*ME_POP
SL_ST (estoque de óleo de soja)	= B31+B32*SL_QP+B33*SL_PP+B34*LAG(SL_ST)
SM_EX (exportação farelo de soja)	= B41+B42*ME_XR+B43*SM_PP
SL_EX (exportação óleo de soja)	= B51+B52*ME_XR+B53*SL_PP

independência adotada no processo de estimação, tem impacto somente nas componentes de exportação. Para o farelo, espera-se aumento de 2,60%; para o óleo, de 4,12%. As elasticidades de interesse para a demanda de óleo são -0,4084 ($\pm 0,1489$) para o preço do óleo e 1,7294 ($\pm 0,3705$) para a renda per capita.

Modelagem do mercado de milho

Variáveis

A Tabela 7 mostra a descrição das variáveis econômicas envolvidas na especificação e na estimação do modelo do mercado de milho, além daquelas já definidas para os mercados de soja, conforme Tabela 1. A Tabela 8 mostra a base de dados para a análise e corresponde a 1995–2015.

O mercado de milho

O sistema de equações que define o mercado brasileiro de milho segue abordagem semelhante ao de soja em grão e as linhas gerais do modelo Aglink-Cosimo (OECD, 2015). Para a oferta, considera-se a área colhida (MA_AH), a produtividade (MA_YLD) e o estoque (MA_ST). Adiciona-se ao modelo as exportações (MA_EX), uma componente de demanda. Uma modelagem adicional é necessária para o milho destinado a ração (MA_FE) e alimentação (MA_FO). Não foi possível uma abordagem sistêmica e, nesse contexto, as equações foram estimadas separadamente por GMM. Como no caso do mercado

de soja, as funções resposta são definidas em logs naturais e, portanto, pertencem à família Cobb-Douglas.

A Tabela 9 mostra o conjunto de equações aqui utilizado – o excessivo número de parâmetros não viabiliza a estimação sistêmica dos modelos.

As Tabelas de 10 a 15 mostram os resultados do ajuste econométrico para o mercado de milho. O modelo estimado para MA_AH tem $R^2 = 54\%$ e o teste de Hansen vale 5,74, com p-valor = 0,3326 (5 gl). Os demais modelos estimados com GMM têm estatísticas de Hansen: 7,89 (MA_YLD, p-valor = 0,4443, 8 gl); 11,03 (MA_EX, p-valor = 0,6105, 6 gl); 9,85 (MA_FE, p-valor = 0,6288, 12 gl); 5,54 (MA_FO, p-valor = 0,7853, 9 gl); e 8,56 (MA_ST, p-valor = 0,2861, 7 gl). Os valores de R^2 são, respectivamente, 81%, 66%, 68%, 86% e 10%. As elasticidades de interesse são a elasticidade-preço da demanda por alimento, -0,26 ($\pm 0,05$), e a elasticidade-renda da demanda, 1,10 ($\pm 0,16$). O efeito do aumento de 10% da taxa de câmbio, com reflexo de aumento de 3,02% no preço de fertilizantes, tem impacto negativo na área plantada de milho de 0,14%.

Conclusões

Este trabalho apresentou modelagens econométricas para os mercados de soja em grão, em farelo e em óleo e para o mercado de milho.

Todos os modelos ajustados passam pelos testes usuais de especificação quando ajustados via método de momentos generalizado e míni-

Tabela 6. Estimação com Mínimos Quadrados em Três Estágios para farelo e óleo de soja.**Adequabilidade do ajuste**

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
SM_QC	3	17	0,7334	0,8534
SL_QC	4	16	0,1546	0,9325
SM_EX	3	17	0,1567	0,5455
SL_EX	3	17	0,8676	0,5579
SM_ST	4	16	4,2943	0,5570
SL_ST	4	16	1,6545	0,3074

Estimativa dos parâmetros

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B01	-2,9659	2,1797	0,1914
B02 (PT_QP)	1,1141	0,1877	<0,0001
B03 (BV_QP)	0,2127	0,3621	0,5647
B11	7,1313	4,8468	0,1606
B12 (SM_QP)	0,2832	0,4991	0,5783
B13 (SM_PP)	-1,0905	0,6258	0,1006
B14 (LAG(SM_ST))	0,4967	0,1245	0,0011
B21	8,1832	11,2764	0,4785
B22(SL_PP)	-0,4084	0,1489	0,0145
B23 (RENDAPCI)	1,7294	0,3705	0,0003
B24 (ME_POP)	1,9510	0,5643	0,0032
B31	1,9976	3,4427	0,5698
B32 (SL_QP)	0,0906	0,3049	0,7702
B33 (SL_PP)	0,1280	0,5676	0,8244
B34 (LAG(SL_ST))	0,3822	0,1842	0,0545
B41	7,7170	0,7839	<0,0001
B42 (ME_XR)	0,2694	0,0660	0,0008
B43 (SM_PP)	0,2627	0,1356	0,0695
B51	-0,6423	2,4575	0,7970
B52 (ME_XR)	0,4234	0,1342	0,0058
B53 (SL_PP)	1,1604	0,3655	0,0055

Nota: as variáveis instrumentais utilizadas na estimativa em mínimos quadrados em três estágios foram: 1, TRND, ME_GDPI, ME_XR, LSELIC, ME_GDPI2, LSELIC2, TRND2, PT_QP, PK_QP, BV_QP, CROSS1, CROSS2, CROSS3, L1SL_ST, L1SM_ST, RENDAPC2, ME_POP2.

mos quadrados em três estágios, no caso de óleo e farelo de soja. Os modelos são ajustados separadamente em grupos ou isoladamente, pois o número de observações disponíveis não viabiliza a estimativa simultânea de todos os parâmetros.

Em geral, todos os sinais concordam com as expectativas, mas não necessariamente concordam em grandeza com a calibragem do modelo Aglink-Cosimo, mais próximo da modelagem aqui proposta. A elasticidade-preço

Tabela 7. Variáveis para o mercado de milho.

Variável	Tipo	Descrição	Unidade
MA_AH	Endógena	Área colhida com milho	1.000 ha
MA_RH	Exógena	Retorno do milho por hectare	R\$/ha
MA_PP	Endógena	Preço pago ao produtor de milho	R\$/t
MA_YLD	Endógena	Produtividade da cultura do milho	t/ha
MA_FO	Endógena	Uso de milho como alimento	1.000 t
MA_FE	Endógena	Uso de milho como ração animal	1.000 t
MA_EX	Endógena	Exportação de milho	1.000 t
MA_ST	Endógena	Estoques finais de milho	1.000 t
RI_CP	Exógena	Preço ao consumidor do arroz	R\$/t

da demanda de milho é - 0,2596, e a elasticidade-renda é 1,0958. No caso do consumo de óleo de soja, as quantidades correspondentes são - 0,4084 e 1,72 94.

As equações de oferta são derivadas das equações de área colhida e produtividade. No caso da soja em grão, as equações são especificadas com a componente exportação, permitindo desse modo a avaliação das elasticidades-preço com sinais corretos. Nessa instância, a elasticidade-preço estimada tem valor de 0,9618 para a área colhida e de 0,1727 para a produtividade (valor Aglink-Cosimo = 0,1310). Outro aspecto importante é que o modelo de oferta ajustado captou corretamente o sinal do índice de preço de fertilizantes. No caso do milho, a produtivi-

dade depende da defasagem de um período do preço, e a elasticidade tem valor de 0,3330 (valor Aglink-Cosimo = 0,1000).

A análise de cointegração dos pares taxa de câmbio e índice de preço de fertilizantes ao produtor indica uma relação de longo prazo entre essas variáveis que permite a avaliação de choques no câmbio com reflexo na produção de soja em grão e de milho. Os efeitos marginais do aumento de câmbio são avaliados diretamente das respectivas equações para todos os mercados.

Não se observou cointegração entre os preços de soja em grão e de milho, o que inviabiliza a avaliação de efeitos de choque no preço da soja ou do milho via mecanismos de *passthrough*.

Tabela 8. Variáveis usadas na modelagem do mercado de milho.

Ano	MA_AH	MA_RH	MA_PP	MA_YLD	MA_QP	MA_QC
1995	13.756,70	199,11	110,78	2,36	32.404,70	35.637,08
1996	13.756,70	293,61	132,85	2,57	35.404,70	35.156,95
1997	13.798,80	295,58	119,63	2,35	32.487,63	33.974,04
1998	14.282,20	333,09	137,49	2,62	37.441,90	40.602,84
1999	13.756,70	359,66	165,74	2,36	32.404,70	34.463,02
2000	11.890,38	479,61	213,67	2,72	32.321,00	34.089,86
2001	12.335,18	522,51	158,85	3,40	41.962,48	35.810,03
2002	11.760,97	687,43	267,78	3,06	35.940,83	37.074,57
2003	12.965,68	942,02	315,75	3,73	48.327,32	38.216,48
2004	12.410,68	1.005,78	290,49	3,37	41.787,56	37.849,51
2005	11.549,43	951,21	277,88	3,04	35.113,31	39.316,96
2006	12.613,09	884,07	257,22	3,38	42.661,68	39.560,27
2007	13.767,43	1.105,67	357,03	3,79	52.112,22	42.260,95
2008	14.444,58	1.395,90	400,24	4,08	58.933,35	48.954,38
2009	13.654,72	1.341,20	312,85	3,71	50.719,82	44.649,95
2010	12.678,88	1.315,62	293,32	4,37	55.364,27	46.554,82
2011	13.218,89	1.528,59	433,15	4,21	55.660,24	47.026,86
2012	14.198,50	1.865,50	424,39	5,01	71.072,81	53.112,28
2013	15.279,65	2.003,69	381,31	5,25	80.273,17	52.441,64
2014	15.432,91	2.014,93	382,18	5,18	79.881,61	54.249,71
2015	15.406,01	2.144,66	415,68	5,54	85.284,66	63.776,96

Ano	MA_FO	MA_FE	MA_EX	MA_ST
1995	8.995,12	23.520,47	608,00	5.961,00
1996	8.873,93	23.203,58	82,30	6.632,80
1997	8.575,36	22.422,87	1,78	6.458,10
1998	10.248,53	26.797,88	2,85	4.666,10
1999	8.698,78	22.745,59	1,08	3.590,80
2000	8.604,59	22.499,31	1,08	3.590,80
2001	9.038,78	23.634,62	5.625,70	4.739,60
2002	9.357,96	24.469,21	2.739,77	1.208,30
2003	9.646,19	25.222,88	3.561,80	8.553,50
2004	9.553,56	24.980,68	5.018,60	7.801,70
2005	9.923,96	25.949,19	1.058,39	3.135,40
2006	9.985,37	26.109,78	3.924,55	3.268,30
2007	10.667,05	27.892,23	10.914,63	3.300,20
2008	12.356,53	32.309,89	6.370,67	7.675,50
2009	11.270,05	29.468,97	7.765,37	7.112,90
2010	11.750,86	30.726,18	10.792,58	5.589,20
2011	11.870,01	31.037,73	9.459,47	5.419,00
2012	13.406,02	35.054,10	19.775,33	4.433,79
2013	13.236,75	34.611,48	26.610,21	6.562,99
2014	13.650,03	35.804,81	20.638,76	12.327,46
2015	16.150,21	42.092,79	23.803,47	10.401,26

Tabela 9. Equações do modelo de equilíbrio parcial do mercado de milho.

Variável dependente	Equação
MA_AH (área colhida de milho)	$= B01+B02*LAG(SB_RH)+B03*LAG(MA_RH)+B04*LAG(MA_AH)+B05*FT_PP$ (1, LAG(SB_RH), LAG(MA_RH), LAG(MA_AH), FT_PP, ME_XR, ME_GDPI, ME_POP, TRND, AG_INV)
MA_YLD (produtividade de milho)	$= B11+B12*LAG(MA_PP)+B13*SELIC$ (1, ME_XR, TRND, LAG(MA_PP), ME_POP, ME_GDPI, AG_INV, SELIC, SELIC^2, ME_POP^2, ME_XR^2, FT_PP)
MA_EX (exportação de milho)	$= B21+B22*MA_PP+B23*ME_XR$ (1, SELIC, ME_XR, TRND, LAG(MA_PP), ME_POP, ME_GDPI, AG_INV, CROSS1, CROSS2, CROSS3, SELIC^2, ME_POP^2, FT_PP, ME_XR^2)
MA_FE (uso de milho para ração)	$= B31+B32*MA_PP+B33*PT_QP$ (1, SELIC, ME_XR, TRND, TRND^2, PT_QP, CROSS1, CROSS2, CROSS3, SELIC^2, ME_XR^2, LAG(MA_FE)), ME_POP, ME_GDPI, AG_INV)
MA_FO (uso de milho para alimentação humana)	$= B41+B42*MA_PP+B43*RENDAPC+B44*ME_POP+B45*RI_CP$ (1, SELIC, RENDAPC, ME_POP, RI_CP, CROSS1, CROSS2, CROSS3, SELIC^2, TRND^2, TRND, AG_INV, ME_POP^2, ME_GDPI, ME_GDPI^2)
MA_ST (estoques finais de milho)	$= B51+B52*TRND+B53*MA_PP$ (1, SELIC, ME_XR, CROSS1, CROSS2, CROSS3, SELIC^2, TRND^2, TRND, ME_XR^2)

Notas: as quantidades Bij são parâmetros a ser estimados; as variáveis entre parêntesis são instrumentais; CROSS1 (=TRND*SELIC); CROSS2 (=TREND*ME_GDPI); CROSS3 (=SELIC*ME_GDPI).

Tabela 10. Estimativa GMM para MA_AH.

Adequabilidade do ajuste

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
MA_AH	5	15	0,0676	0,5404

Estimativa dos parâmetros por GMM

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B01	3,0552	1,1094	0,0148
B02 [LAG(SB_RH)]	-0,2598	0,1401	0,0835
B03 [LAG(MA_RH)]	0,3216	0,1818	0,0972
B04 [LAG(MA_AH)]	0,6742	0,1256	<0,0001
B05 (FT_PP)	-0,0460	0,0688	0,5143

Tabela 11. Estimação GMM para MA_YLD.

Adequabilidade do ajuste

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
MA_YLD	3	17	0,2586	0,8110

Estimativa dos parâmetros por GMM

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B11	0,1656	0,9583	0,8648
B12 (LAG(MA_PP))	0,3330	0,1175	0,0115
B13 (SELIC)	-0,2672	0,1244	0,0465

Tabela 12. Estimação GMM para MA_EX.

Adequabilidade do ajuste

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
MA_EX	3	17	84,1457	0,6590

Estimativa dos parâmetros por GMM

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B21	-30,8321	2,9415	<0,0001
B22 (MA_PP)	6,5906	0,5612	<0,0001
B23 (ME_XR)	1,5168	0,5775	0,0177

Tabela 13. Estimação GMM para MA_FE.

Adequabilidade do ajuste

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
MA_FE	3	17	0,2009	0,6776

Estimativa dos parâmetros por GMM

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B31	6,4983	0,4361	<0,0001
B32 (MA_PP)	-0,1204	0,0698	0,1025
B33 (PT_QP)	0,4837	0,0838	<0,0001

Tabela 14. Estimação GMM para MA_FO.

Adequabilidade do ajuste

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
MA_FO	5	16	0,0749	0,8852

Estimativa dos parâmetros por GMM

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B41	8,5156	6,3845	0,2009
B42 (MA_PP)	-0,2596	0,0535	0,0002
B43 (RENDAPCI)	1,0958	0,1636	<0,0001
B44 (ME_POP)	0,9185	0,4355	0,0510
B45 (RI_CP)	0,5802	0,1451	0,0010

Tabela 15. Estimação GMM para MA_ST.

Adequabilidade do ajuste

Equação	GL (modelo)	GL (resíduo)	SSE	R ²
MA_ST	3	18	4,7040	0,0956

Estimativa dos parâmetros por GMM

Parâmetro	Estimativa	Desvio padrão	Pr > t
B51	16,5024	3,5733	0,0002
B52 (TRND)	0,1410	0,0504	0,0118
B53 (MA_PP)	-1,7219	0,7514	0,0342

Referências

DAVIDSON, R.; MACKINNON, J.G. **Estimation and Inference in Econometrics**. Oxford: Oxford University, 1993. 896p.

GREENE, W.H. **Econometric Analysis**. 8th ed. New Jersey: Pearson, 2017. 1168p.

HEIJ, C.; DE BOER, P.; FRANCES, P.H.; KLOEK, T.; DIJK, H.K. van. **Econometric Methods with Applications in Business and Economics**. Oxford: Oxford University, 2004. 787p.

HORRIDGE, M.; JERIE, M.; MUSTAKINOV, D.; SCHIFFMANN, F. **GEMPACK Manual**. Melbourne: Victoria University, 2018. Disponível em: <<https://www.copsmodels.com/gpmanual.htm>>. Acesso em: 25 out. 2018.

JOHANSEN, S. **Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models**. Oxford: Oxford University, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1093/0198774508.001.0001>.

OECD. **Aglink-Cosimo Model Documentation: a partial equilibrium model of world agricultural markets**. Paris, 2015. Disponível em: <<http://www.agri-outlook.org/about/Aglink-Cosimo-model-documentation-2015.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025. Paris: OECD, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en>. Acesso em: 1 nov. 2017.

OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026. Paris: OECD, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en>. Acesso em: 1 nov. 2017.

SOUZA, G.S.; GOMES, E.G.; TALAMINI, D.J.D.; MARRA, R. The meat market: a dea international perspective and an econometric behavioral model for Brazil. **Production**, v.24, p.594-604, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000057>.

USDA. United States Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Washington: Office of the Chief Economist, 2017. Disponível em:

<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2017.

WALMSLEY, T.L.; AGUIAR, A.H.; NARAYANAN, B. **Introduction to the Global Trade Analysis Project and the GTAP Data Base**. [West Lafayette]: Purdue University, 2012. (GTAP Working Paper No. 67). Disponível em: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=3965. Acesso em: 1 nov. 2017.

WOOLDRIDGE, J.M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. 2nd ed. Cambridge: MIT, 2010. 1096p.
