

# IMPACTOS DO BIODIESEL À BASE DE SOJA NOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE SOJA NO MERCADO INTERNACIONAL

**Augusto Mussi Alvim**

Doutor em Economia. Professor Titular da PUCRS. E-mail: [augusto.alvim@pucrs.br](mailto:augusto.alvim@pucrs.br).

**Maria Inês Caetani**

Mestre em Economia do Desenvolvimento pela PUCRS. E-mail: [inescaetani@gmail.com](mailto:inescaetani@gmail.com)

## Resumo

Este estudo analisa os impactos do consumo de biodiesel a base de soja sobre os principais países produtores de soja. Para atingir tal objetivo, utiliza-se um modelo de equilíbrio parcial formulado como um Problema de Complementaridade Mista (PCM) o qual permite a inclusão de barreiras comerciais e a construção de cenários. São definidos quatro cenários: no primeiro cenário é simulado um choque de demanda no farelo e óleo de soja considerando o crescimento observado na demanda dos últimos dez anos. O segundo cenário avalia os efeitos de uma maior demanda por farelo, óleo e biodiesel. O terceiro cenário considera que não exista demanda por biodiesel a base de soja e permite observar as variações na produção de soja e no consumo de farelo e óleo vegetal. O último cenário avalia a redução e a eliminação de tarifas e subsídios nos mercados de grãos e de alimentos. A simulação do choque de demanda, definido com base nas expectativas de incremento no consumo de farelo, óleo e biodiesel, mostra que o Brasil é o único país exportador que apresenta um maior incremento no consumo do que na produção, refletindo em uma menor participação no comércio mundial de soja. Comparativamente, observa-se que os ganhos oriundos de uma eliminação de barreiras tarifárias e subsídios na produção de soja e no consumo de óleo e farelo são relativamente menores do que os ganhos potenciais de uma maior demanda por soja e derivados nos próximos anos. Por fim, o cenário contrafactual que simula a ausência de demanda de biodiesel, mostra que os preços de soja e de derivados são cerca de 8% maiores quando existe o uso da soja para a produção e consumo de biodiesel.

**Palavras-chaves:** biodiesel, farelo e óleo de soja, comércio internacional, PCM.

## Abstract

This study analyzes the impacts of soy-based biodiesel consumption on the main soybean producing countries. To achieve this goal, we use a partial equilibrium model formulated as a Mixed Complementarity Problem (PCM), which allows the inclusion of trade barriers and the construction of alternative scenarios. Four scenarios are defined: the first scenario is simulated a demand shock in soybean meal and oil considering the growth in demand observed over the past ten years. The second scenario evaluates the effects of increased demand for meal, oil and biodiesel. The third scenario assumes that there is demand for biodiesel from soybeans and can observe variations in production and consumption of soybean meal and vegetable oil. The last scenario evaluates the reduction and elimination of tariffs and subsidies in grain and food markets. The simulation of the demand shock, defined based on growth expectations in the consumption of meal, oil and biodiesel, shows that Brazil is the only country exporting presents a greater increase in consumption than in production, reflecting lower participation in world trade in soybeans. Comparatively, it is observed that the gains from an elimination of tariff barriers and subsidies in soybean production and consumption of oil and meal are relatively lower than the potential gains from an increased demand for soy and derivatives in the coming years. Finally, the counterfactual that simulates the absence of biodiesel demand shows that the prices and soybean derivatives are about 8% higher when there is the use of soy for the production and use of biodiesel.

**Key-words:** biodiesel, meal and vegetable oil, international trade and MCP.

**JEL:** Q17.

**Área 4:** Economia Agrária e Ambiental.

## 1. Introdução

Apesar de a atividade agrícola utilizar como insumo a energia elétrica e os derivados de petróleo para a produção de alimentos ao longo do século XX, a relação entre estes mercados sempre foi considerada pequena quando comparada com outros setores da economia. Todavia, com o crescimento da produção de biocombustíveis e o incremento significativo na produção de energia renovável a partir do uso de biomassa, tem aumentado a interação entre os dois mercados.

A produção de biocombustíveis inclui a produção de etanol e de biodiesel como alternativa ao uso dos derivados do petróleo. Esta produção foi estimulada inicialmente pelo aumento da demanda e pelos maiores preços dos combustíveis, associado a um conjunto de políticas de incentivos à produção e ao consumo de biocombustíveis. Este novo ambiente tem propiciado condições mais favoráveis para a pesquisa e o uso de novas fontes de energia renovável, em particular a bioenergia (ROSEGRANT, ZHU, MSANGI e SULSER, 2008).

No mundo, a produção de biodiesel está concentrada nos países da União Europeia (principalmente na França e na Alemanha), na Ásia (principalmente na Indonésia e na Malásia) e nos EUA, no Brasil e na Argentina. Para a produção de biodiesel na União Europeia (UE) a principal matéria-prima é óleo de canola. Já para a Indonésia e a Malásia o óleo de palma e de coco, e nos EUA, no Brasil e na Argentina são utilizadas, principalmente, o óleo de soja e a gordura animal (ROSEGRANT, ZHU, MSANGI e SULSER, 2008; e PAULILLO, VIAN, SHIKIDA e MELLO, 2007).

Associado a elevada demanda e o potencial de expansão deste mercado de bioenergia em termos mundiais, existe também um crescimento da demanda por farelo e por óleo vegetal para consumo humano. Com o rápido crescimento na renda nos países em desenvolvimento, houve o aumento por demanda de carne, o que por sua vez estimulou a produção de farelo e de óleos vegetais (HOCHMAN et al, 2009).

A maior demanda por farelo e por óleo para alimentação e como insumo na produção de biodiesel resultou em maior crescimento na produção, no consumo e no comércio de soja, refletindo em maiores preços no mercado internacional. Neste cenário, a produção de soja no Brasil cresceu a uma taxa de 7% ao ano, com um aumento de 4% na área plantada, considerando o período de 1990 a 2011 (FLIEHR, 2013).

Assim, o presente estudo avalia os efeitos desta maior demanda por biodiesel e por farelo e óleo vegetal sobre o mercado da soja nas principais regiões produtoras e consumidoras, assim como os ganhos potenciais da eliminação de barreiras tarifárias e subsídios no mercado da soja (soja em grão, farelo e óleo). Neste cenário de maior demanda por soja e derivados configura-se num ambiente favorável para a readequação das políticas agrícolas dos EUA e da UE, abrindo espaço para novas negociações de comércio que viabilizem maior acesso ao mercado de produtos agrícolas.

Rosegrant, Tingju Zhu, Msangi e Sulser (2008) concordam com a necessidade de políticas apropriadas e dizem que tal questão parece ser realmente um problema, mas que seriam necessárias somente no caso de uma forte expansão na produção dos biocombustíveis. Em um dos cenários desenvolvidos pelos autores a expansividade não teria maiores impactos para um padrão de produção moderado exceto diante de uma aceleração produtiva significativa, podendo prejudicar consistentemente e de forma significativa algumas regiões mais que outras.

No presente estudo são simulados quatro cenários de maneira a avaliar os efeitos do maior consumo do biodiesel a base da soja sobre os preços e quantidades produzidas e consumidas no mercado da soja. O primeiro cenário avalia os efeitos de uma maior demanda por farelo e óleo sobre os preços e quantidades produzidas, considerando que se mantenha o crescimento observado na demanda dos últimos dez anos. No segundo cenário, além de considerar o aumento na demanda por farelo e óleo vegetal, é avaliado um crescimento na demanda por biodiesel, considerando a possibilidade da adoção nos próximos anos de um maior percentual de biodiesel na mistura de diesel. O terceiro cenário avalia a redução e a eliminação de tarifas e subsídios nos mercados de grãos e de alimentos. Por fim, simula-se um cenário contrafactual onde se simula que não exista demanda por biodiesel a base de soja.

O artigo está organizado em três seções além desta introdução. A primeira seção apresenta o complexo da soja e a produção de biodiesel nos principais países e regiões. Na segunda seção é apresentada a metodologia, a base de dados e a caracterização dos cenários alternativos; na terceira são apresentados os resultados e discussão; por fim as conclusões.

## 2. Complexo Agroindustrial da Soja e Biodiesel: produção, consumo, comércio e políticas

A produção de soja no mundo está concentrada em três países, EUA, Brasil e Argentina, os quais produzem 80,34% do total mundial. Segundo informações da OCDE/FAO (2015), o Brasil é o maior exportador de soja em grãos (39.481 mil t.), seguido pelos EUA (36.992 mil t.) e pela Argentina (10.181 mil t.). Por outro lado, os maiores importadores do grão são a China (62.940 mil t.) e a UE (12.663 mil t.). Juntos, a Argentina, o Brasil, os EUA, a UE e a China consomem 81,88% do total mundial (OCDE/FAO, 2015).

**Tabela 1-** Produção, consumo e exportações líquidas de soja, farelo e óleo (mil t.), biodiesel (em equivalente óleo, mil t.) - média 2011-2013

	Arg.	Brasil	EUA	UE	China	Outros
Prod. Soja	47.800	78.400	86.157	1.132	13.245	37.597
Cons. Soja	37.619	39.481	49.165	13.796	76.185	47.846
Exp. Líquida	10.181	38.919	36.992	-12.663	-62.940	-10.249
Prod. Farelo	27.309	28.300	36.767	10.279	51.420	29.620
Cons. Farelo	1.537	14.266	27.217	28.429	50.020	59.006
Exp. Líquida	25.772	14.034	9.549	-18.150	1.400	-29.386
Prod. Óleo	6.663	7.010	9.025	2.485	11.625	6.790
Cons. Óleo	2.675	5.563	8.460	1.999	12.749	11.939
Exp. Líquida	3.988	1.447	565	486	-1.124	-5.149
Prod. Biodiesel	1.869	2.204	3.432	7.490	664	4.352
Cons. Biodiesel	814	2.223	3.191	9.151	664	3.621
Exp. Líquida	1.055	-20	242	-1.661	0	731

Fonte: OCDE/FAO, 2015.

O farelo de soja é um dos principais subprodutos da soja e tem um papel importante na indústria de ração para a produção animal, principalmente para aves e suínos. Para este período a China (28,0%), os EUA (20,0%), o Brasil (15,4%) e a Argentina (14,9%) são os maiores produtores de farelo, representando 83,9% do total mundial. Já o consumo de farelo é maior na China, na UE, nos EUA e no Brasil, totalizando 66,5% do total mundial. Esta concentração regional no consumo de farelo deve-se ao uso deste nas rações de frango e de suíno, também produzidos intensamente nestas regiões.

A produção de óleo apresenta uma distribuição semelhante a do farelo em termos de participação de mercado. A China (26,7%), os EUA (20,7%), o Brasil (16,1%) e a Argentina (15,3%) mantém uma maior participação no mercado como os maiores produtores mundiais. Todavia, existem diferenças em termos de padrão de consumo de óleo, principalmente entre a UE e a China, o que resulta em uma exportação líquida de 486 mil t. de soja pela UE e uma importação de 1124 mil t. pela China.

A China apesar de produzir uma pequena parcela da soja mundial, é a maior produtora de farelo e de óleo de soja no mundo. Isto decorre do intenso crescimento da indústria de soja e de carnes na China, que produzem farelo para produção animal e óleo para consumo humano. Neste período, a China importou cerca de 70% do total de soja comercializado no mundo, exportando um excedente de farelo para as demais regiões, mas ainda sendo necessário importar parte do óleo de soja consumido no seu mercado.

A indústria da soja é importante também para a produção de biodiesel, de forma direta, a partir do óleo de soja e, indiretamente, a partir do uso da gordura animal de aves, suínos e bovinos que consomem farelo e produzem gordura a ser utilizada na produção de biodiesel.

Entre as opções disponíveis para a produção de biodiesel existem além da soja, a palma, palmiste, semente de algodão, canola, girassol, coco, amendoim e gordura animal. O óleo de soja é mais utilizado na Argentina, nos EUA e no Brasil, enquanto na UE o mais utilizado é o óleo de canola e nos Outros países (incluindo países como Indonésia e Malásia) a produção de óleo de palma e coco são predominantes.

A produção de biodiesel está concentrada nos países da UE e na Indonésia e na Malásia. Entre os maiores exportadores de biodiesel estão a Argentina, os EUA, a Malásia e a Indonésia. O maior consumidor e importador de biodiesel são os países da UE. Já o Brasil e a China produzem biodiesel para atender a demanda doméstica existente, não apresentando déficits ou excedentes significativos. (OCDE/FAO, 2015)

No Brasil a maior parte do biodiesel produzido (cerca de 80%) utiliza o óleo de soja como a principal matéria-prima. O processo de esmagamento da soja resulta na separação em óleo (18,6%) e farelo (78,7%) conforme apresentado na figura 1. A conversão do óleo de soja em biodiesel é realizada a partir da reação do óleo com o álcool, tendo como subproduto a glicerina. A glicerina é comercializada e utilizada na produção de vários produtos entre eles: resina, cosméticos, detergentes, anticongelantes e na indústria farmacêutica (PRADHAN et al, 2011).

Segundo Gelder, Kammeraat e Kroes (2008) o valor da produção da soja é determinado pelos custos de produção e pelos preços do farelo e do óleo, combinados de acordo com a sua participação relativa na soja. Em termos agregados, o valor do retorno financeiro (quantidade vezes preço) do óleo e do farelo é de 39% para o óleo e de 61% para o farelo.

A busca pela redução dos custos de produção é um fator determinante para ampliar a participação de mercado e elevar as exportações. Neste quesito, o Brasil e a Argentina apresentam vantagens comparativas em relação aos EUA. Segundo Nardi e Davis (2007) o custo de produção total da soja é de US\$ 124,17 por tonelada no Paraná e US\$ 132,70 por tonelada no Mato Grosso (Brasil), US\$ 133,20 por tonelada em Santa Fé (Argentina) e US\$ 250,20 por tonelada em Iowa no EUA para a safra de 2005/2006.

Por outro lado, o custo de comercialização da soja desde a fazenda até o mercado internacional é menor para os EUA do que para o Brasil e a Argentina. O custo de comercialização para Iowa é de US\$ 65,60 por tonelada, US\$ 71,30 por tonelada para o Paraná e 117,10 para o Mato Grosso, e US\$ 117,10 por tonelada para Santa Fé para a safra de 2005/2006 (NARDI e DAVIS, 2007).

De acordo com Ojima (2004) o problema da comercialização de soja no Brasil são as grandes distâncias que precisam ser percorridas para transportar o produto pela malha rodoviária deficiente. Já a Argentina apresenta maiores custos de comercialização em função da tarifa de exportação de 23,5%.

As políticas agrícolas e comerciais também contribuem para definir a dinâmica do mercado de soja e derivados. Em termos de política agrícola, o principal mecanismo de estímulo à produção são as transferências ou subsídios à produção da soja. Nos países selecionados existem diferenças em termos de valores e na forma de transferência deste apoio financeiro a produção. As transferências feitas pelo Brasil, pelos Estados Unidos e pela Argentina aos seus produtores podem ser através de uma taxa de juros subsidiada, ou seja, a diferença entre a taxa de empréstimos no mercado e o pagamento efetivo no momento da liquidação da operação pelo tomador de crédito. Dos três países, o Brasil é o que mais adere a este tipo de transferência. Os Estados Unidos disponibilizam também subsídios para a produção de soja na forma de pagamentos diretos e na forma de pagamentos contracíclicos.

Em termos de políticas comerciais no mercado internacional, segundo a OMC (2011), o Brasil e a Argentina são os países que aplicam as maiores tarifas de importação da soja, equivalendo a US\$ 0,08 por quilograma do grão. A China é o país que aplica a menor tarifa no valor de US\$ 0,03 por quilograma da oleaginosa. Os Estados Unidos e a UE não fazem uso da política tarifária em seus mercados, mas subsidiam o produto.

A partir do final da década de 1990 a China desenvolveu um conjunto de políticas para ampliar competitividade da indústria de soja e incrementar a produção de farelo e de óleo de soja. Entre as medidas estão o reembolso dos IVA para exportadores, a isenção de tributos no transporte terrestre, redução do imposto de renda para as empresas que investirem na China e apoio financeiro a indústria de oleaginosas (LÓPEZ, RAMOS, SIMKIEVICH, 2008).

Estas políticas permitiram a China consolidar o complexo agroindustrial da soja, viabilizando uma maior produção de farelo e de óleo competitiva e a posição de maior país importador de soja. Segundo Nassar et al (2011) esta estratégia chinesa contribui para atrair empresas processadoras de soja como a

Cargill, Bunge & Born, ADM e Louis Dreyfus o que, por sua vez, fez com que as importações de soja em grão aumentassem em 280% nos últimos dez anos.

Para o biodiesel as políticas possuem um papel crucial no estímulo e na viabilização da produção e do consumo no mundo. Entre as principais, estão às políticas mandatórias que definem um percentual mínimo de biodiesel no diesel comercializado, as barreiras tarifárias e os subsídios para a produção de biodiesel.

As políticas mais significativas de apoio ao biodiesel são as mandatórias que regulamentam um uso mínimo de biodiesel na mistura com o diesel. Na média os países exigem uma mistura mínima de 5% no biodiesel. A segunda forma de estímulo à produção de biocombustíveis se dá a partir do regime tarifário. Na UE existe uma tarifa de 6,5% sobre o biodiesel importado, enquanto nos EUA existe uma tarifa de importação de 4,5% (JOSLING, BLANDFORD e EARLEY, 2010). Os autores também estimam um total de subsídios para biodiesel nos EUA e na UE de 0,5-0,6 bilhões de dólares e 3,1 bilhões de dólares, respectivamente, para o ano de 2006.

### 3. Metodologia

O modelo de programação utilizado neste estudo diz respeito a uma formulação apresentada na forma de um Problema de Complementaridade Mista (PCM), conforme proposto por Takayama e Judge (1971), Waquil (1995, 2000), Rutheford (1995), Bishop, Nicholson e Pratt (2001), Alvim (2003), Nicholson e Bishop (2004) e Alvim e Waquil (2004).

O método é útil para relacionar a produção da soja e de seus derivados nas diversas regiões do mundo. Para cada produto analisado, se assume que os preços, quantidades ofertadas e demandadas e os fluxos comerciais sejam variáveis endógenas. Outros fatores, como a tecnologia, custos de processamento, composição dos produtos, as preferências e o crescimento populacional são variáveis exógenas ao modelo.

Assim, são levadas em consideração as funções de oferta de um produto agrícola (nível de produtor) e a demanda (nível de consumidor) em cada região para multiprodutos. Juntamente com os custos de transporte entre regiões e a presença de barreiras ao comércio é possível estimar as quantidades produzidas e consumidas, os fluxos comerciais e os preços em equilíbrio. Com estes resultados pode-se também calcular os níveis de bem-estar, medidos pelo excedente do produtor (EP) e excedente do consumidor (EC), bem como as variações ocorridas a partir de diferentes cenários simulados, permitindo a avaliação dos ganhos ou perdas em cada situação.

#### 3.1. Problema de Complementaridade Mista

O Problema de Complementaridade Mista (PCM) consiste em um sistema de equações simultâneas (lineares ou não), apresentado na forma de desigualdades, as quais são derivadas a partir das funções de oferta e demanda dos produtos considerados em cada uma das regiões analisadas. O PCM é equivalente às condições de primeira ordem (Kuhn-Tucker) do problema de maximização da função *Net Social Payoff*<sup>1</sup> (NSP), condições estas que são necessárias e suficientes para atingir um ponto de máximo do valor da função NSP, o que por sua vez implica na obtenção do equilíbrio em todos os mercados e em todas as regiões. Entretanto, o PCM tem a vantagem de permitir a incorporação de tarifas, quotas-tarifárias e subsídios com mais facilidade ao modelo.

O modelo permite também incorporar algumas variáveis relevantes na avaliação do setor de processamento de produtos, por exemplo, diferentes custos de processamento entre as regiões, as diferenças em termos de composição do produto agrícola e derivados e os diferentes níveis de proteção de mercados em cada nível de produção.

O quadro 1, a seguir, apresenta a notação utilizada e a definição das variáveis para a implementação do modelo. O conjunto das equações apresentadas logo abaixo corresponde ao PCM e representam as condições que permitem obter os preços, as quantidades produzidas e consumidas e os fluxos comerciais entre as regiões, levando em consideração as tarifas, quotas-tarifárias e subsídios aplicados nos mercados.

<sup>1</sup> Samuelson (1952) mostrou que o equilíbrio de mercado pode ser alcançado a partir da maximização da função de *Net Social Payoff* (NSP), obtida a partir da soma dos excedentes dos produtores e dos consumidores.

**Quadro 1.** Variáveis utilizadas no modelo de programação.

$q_i^s$	Quantidade ofertada de soja na região i (variável endógena).
$q_{j,k,m}^c$	Quantidade de m componentes de soja recebidos pela indústria k da região i. O produto recebido chega à indústria na forma não beneficiada (variável endógena).
$q_{i,k,m}^{prc}$	Quantidade de m componentes dos produtos beneficiados na indústria k, na região i (variável endógena).
$q_{i,k}^{prd}$	Quantidade de produtos beneficiados produzidos na indústria k, na região i. A existência desta variável é necessária para incluir os custos de processamento para cada unidade produzida (variável endógena).
$q_{j,k}^d$	Quantidade demandada de k produtos (farelo, óleo e biodiesel) na região j (variável endógena).
$X_{i,j,k}$	Fluxo de comércio de soja entre a região i e a indústria k, na região j (variável endógena).
$Xf_{i,j,k,l}$	Fluxo de comércio de farelo, óleo e biodiesel entre a indústria k na região i e os consumidores na região j (variável endógena).
$t_{i,j}^L$	Custo de transporte de soja da região i para a região j (variável exógena).
$t_{i,j,k}^D$	Custo de transporte de farelo, óleo e biodiesel da região i para a região j de k derivados do leite (variável exógena).
$tar_{i,j}^L$	Tarifa imposta sobre a soja originária da região i na região j (variável exógena).
$tar_{i,j,k}^D$	Tarifa imposta sobre o farelo, óleo e biodiesel originários da região i na região j (variável exógena).
$cp_{i,k}$	Custo de processamento de k indústrias de produtos beneficiados em i regiões (variável exógena).
$sr_{i,m}$	Proporção de m componentes da soja na região i (variável exógena).
$sf_{i,k,m}$	Proporção de m componentes dos produtos beneficiados na indústria k, na região i (variável exógena).
$\varphi_i$	Multiplicador de Lagrange: preço-sombra da soja na região produtora i (variável endógena).
$\lambda_{j,k,m}$	Multiplicador de Lagrange: preço-sombra de m componentes produto agrícola recebido pela indústria k na região j (variável endógena).
$\sigma_{i,k,m}$	Multiplicador de Lagrange: preço-sombra de m componentes do farelo, óleo e biodiesel na indústria k, na região i (variável endógena).
$\pi_{i,k}$	Multiplicador de Lagrange: preço-sombra de farelo, óleo e biodiesel em k plantas, na região i (variável endógena).
$\delta_{j,k}$	Multiplicador de Lagrange: preço-sombra na região consumidora j (variável endógena).
$\alpha_i$	Termo constante da função de oferta (variável exógena).
$\varepsilon_i$	Elasticidade preço da função de oferta (variável exógena).
$\beta_i$	Termo constante da função de demanda (variável exógena).
$\mu_i$	Elasticidade preço da função de demanda (variável exógena).

Fonte: organizado e elaborado pelos autores.

As equações (1) até (5) são fundamentais para delimitar os resultados do modelo. Junto com uma função objetivo apropriada, elas equivalem à formulação primal clássica de Samuelson-Takayama-Judge do modelo de equilíbrio espacial e vertical. Já as equações (6) até (11) equivalem à formulação dual clássica, aqui apresentada como um PCM.

Considerando a primeira equação, observamos que  $\varphi_i$  é uma variável complementar à expressão que restringe a soma das exportações do produto agrícola em questão da  $i$ -ésima região ao total produzido naquela região  $i$ , e representa o preço-sombra na região produtora  $i$ . Da mesma forma, a segunda equação apresenta uma variável  $\lambda_{j,k,m}$  que é complementar à expressão que restringe a quantidade de  $m$  componentes do produto agrícola que é recebido pela  $k$ -ésima indústria na região  $j$ , e representa o preço-sombra de  $m$  componentes do produto agrícola adquirido pela indústria.

A equação (3) assegura que a quantidade comercializada de componentes do produto agrícola com o consumidor final não possa exceder a quantidade processada na indústria, a variável  $\sigma_{i,k,m}$  é complementar a esta expressão e representa o preço-sombra de  $m$  componentes dos produtos derivados processados na indústria. Já a equação (4) permite que o modelo calcule a quantidade de  $m$  componentes nos produtos derivados processados pela indústria, o que torna possível calcular o custo de processamento por unidade de produto final, equivalente ao preço-sombra  $\pi_{i,k}$ .

Na equação (5) a variável  $\delta_{j,k}$  é uma variável complementar à expressão que restringe a soma das importações de produtos derivados da  $j$ -ésima ao total consumido na região  $j$ . Em outras palavras, a quantidade demandada por derivados não pode ser maior do que a quantidade comercializada com esta região.

Formulação do Problema de Complementaridade Mista:

$$\varphi_i \geq 0, \quad \left( \sum_j \sum_k X_{i,j,k} - q_i^s \right) \cdot \varphi_i = 0, \forall i, k \quad (1)$$

$$\lambda_{j,k,m} \geq 0, \quad \left( q_{j,k,m}^c - \sum_i (sr_{j,m} \cdot X_{i,j,k}) \right) \cdot \lambda_{j,k,m} = 0, \forall j, k, m \quad (2)$$

$$\sigma_{i,k,m} \geq 0 \quad \left( \sum_j \sum_l X_{i,j,k,l}^f - q_{i,k,m}^{prc} \right) \cdot \sigma_{i,k,m} = 0, \forall i, k, m \quad (3)$$

$$\pi_{i,k} \geq 0, \quad \left( \sum_j \sum_k X_{i,j,k,l}^f - q_{i,k}^{prd} \right) \cdot \pi_{i,k} = 0, \forall i, k \quad (4)$$

$$\delta_{j,k} \geq 0, \quad \left( q_{j,k}^d - \sum_i \sum_l X_{i,j,k,l}^f \right) \cdot \delta_{j,k} = 0, \forall j, k \quad (5)$$

$$q_i^s \geq 0, \quad \left( \left( \frac{q_i^s}{\alpha_i} \right)^{1/\varepsilon_i} - \varphi_i \right) \cdot q_i^s = 0, \forall i \quad (6)$$

$$X_{i,j,k} \geq 0, \quad \left( (\varphi_i + t_{i,j}^L)(1 + tar_{i,j}^L) - \sum_m (sr_{j,m} \cdot \lambda_{j,k,m}) \right) \cdot X_{i,j,k} = 0, \forall i, j, k \quad (7)$$

$$q_{i,k,m}^{prc} \geq 0, \quad (\lambda_{j,k,m} - \sigma_{i,k,m}) \cdot q_{i,k,m}^{prc} = 0, \forall i, k, m \quad (8)$$

$$q_{i,k}^{prd} \geq 0, \quad (cp_{i,k} - \pi_{i,k}) \cdot q_{i,k}^{prd} = 0, \forall i, k \quad (9)$$

$$q_{j,k}^d \geq 0, \quad \left( \delta_{j,k} - \left( \frac{q_{j,k}^d}{\beta_{j,k}} \right)^{1/\mu_{j,k}} \right) \cdot q_{j,k}^d = 0, \forall i, j, k \quad (10)$$

$$Xf_{i,j,k,l} \geq 0, \quad \left( \left( \left( \sum_m^M sf_{i,k,m} \cdot \sigma_{i,k,m} \right) + \pi_{i,k} + t_{i,j,k}^D \right) (1 + tar_{i,j,k}^D) - \delta_{j,k} \right) \cdot Xf_{i,j,k,l} = 0, \forall i, j, k, l \quad (11)$$

Para a equação (6), quando a quantidade ofertada  $q_i^s$  for maior ou igual a zero, o preço que os produtores do produto agrícola estão interessados em vender deverá ser maior ou igual ao o preço de mercado. Já a equação (7) define as condições para que exista comercialização entre os produtores e as indústrias. Para que ocorra comércio  $X_{i,j,k}$ , o preço de mercado do produto agrícola (mais o custo de transporte e tarifas) deverá ser igual ao preço do produto agrícola na indústria k. O preço do produto agrícola na indústria é calculado com base na soma do valor dos componentes ( $\lambda_{j,k,m}$ ) multiplicado pela composição do produto recebido pela indústria.

A equação (8) representa o comportamento maximizador de lucros por parte das indústrias processadoras. Em outras palavras, quando a quantidade processada  $q_{i,k,m}^{prc}$  pela indústria for maior do que zero, os preços pagos pelos componentes presentes no produto agrícola devem ser iguais aos preços de m componentes dos produtos derivados processados na indústria k.

A equação (9) determina que quando a produção de k indústrias  $q_{i,k}^{prd}$  for maior do que zero, o custo de processamento de cada unidade de produto deve ser igual ao preço-sombra associado a esta atividade de processamento. Caso contrário, quando o custo de processamento for maior do que o preço-sombra, a quantidade produzida pela indústria será igual a zero.

O PCM permite delimitar o conjunto de soluções do problema, cujo resultado final é obtido na medida em que as condições representadas pelas equações forem obedecidas. Enquanto no modelo primal os resultados são calculados com base nas condições de Kuhn-Tucker, no problema de PCM a solução ótima é obtida a partir da convergência das equações complementares a zero. Os resultados obtidos no modelo primal (onde os preços apresentam-se na forma implícita) são exatamente iguais ao PCM (onde os preços apresentam-se como variáveis explícitas), todavia este último permite simular diretamente mudanças de ordem política que operam sobre os preços de mercado, como, por exemplo, as barreiras tarifárias.

A inclusão das barreiras tarifárias é um ponto fundamental na medida em que o comércio entre os diversos países e regiões do mundo utiliza destes mecanismos para protegerem os seus mercados.

### 3.2 Base de dados

A área de estudo abrange o mercado mundial de soja, farelo, óleo e biodiesel que inclui todos os países produtores, exportadores, importadores e consumidores. Para viabilizar o processo de modelagem e a análise dos cenários, alguns países são agrupados em regiões. O critério para escolha leva em conta a relevância em termos de produção, importações e exportações, como também considera as regiões com maior interesse comercial para o Brasil.

Os países e regiões selecionadas incluem os principais produtores, a Argentina, o Brasil e os EUA, e os principais consumidores a China e a União Europeia (UE). Os demais países e regiões estão agrupados no grupo “Resto do Mundo”. Os preços, as quantidades consumidas e ofertadas de soja, farelo e óleo para a implementação do modelo são obtidas através do banco de dados da OECD/FAO.

As quantidades consumidas de biodiesel a base de soja são estimadas a partir de OCDE/FAO. Como não está disponível para todas as regiões analisadas o total de biodiesel consumido a base de soja, foi utilizado o percentual do consumo de soja em relação ao total consumido de oleaginosas para estimar a quantidade de biodiesel que é consumida a partir da soja. Os preços de biodiesel são obtidos a partir do banco de dados de Kingsman Energy from Nature.

São também utilizadas as elasticidades-preço de oferta e de demanda. Estas são necessárias para definir as funções de oferta e demanda e são obtidas a partir do *United States Department of Agriculture – Economic Research Service* (USDA-ERS) e do *Food and Agriculture Policy Research Center* (FAPRI).



Os custos totais de transporte entre as regiões em estudo foram calculados com base no custo de transporte de uma tonelada de produtos a granel e refrigerados via marítima (US\$/milhas marítimas), obtido a partir do USDA e das distâncias (milhas marítimas) entre os países/regiões em estudo.

Já os custos de processamento e transformação da soja em farelo e óleo vegetal foram obtidos a partir de Mandarino (2001) e considerados iguais para todas as regiões do estudo. Os custos de processamento de Biodiesel foram obtidos a partir de Barros et al.

A proporção dos componentes da soja ( $sr_{i,m}$ ) e dos utilizados na indústria – farelo e óleo ( $sf_{i,k,m}$ ) está disponível em Gelder, Kammeraat e Kroes (2008). A proporção dos componentes do biodiesel na indústria foi calculada a partir de Barros et al.

Por fim, como não existe uma tarifa comum em todos os países pertencentes às regiões definidas na área de estudo, foram utilizadas as tarifas médias dos países importadores dos blocos ou regiões escolhidas. As tarifas e os subsídios foram obtidos a partir da *United Nations Conference on Trade and development* (UNCTAD); *United States Department of Agriculture – Economic Research Service* (USDA-ERS); *The International Customs Tariff Bureau* (BITD, 2007).

Com base nestas variáveis, o cenário-base é calibrado de maneira a representar de forma apropriada a produção, o consumo e comércio das regiões analisadas. A partir deste cenário-base são simulados três cenários. O cenário 1 de choque de demanda no farelo e no óleo de soja; o cenário 2 que simula um choque no farelo, no óleo de soja e no biodiesel; o cenário 3 simula que não exista demanda por biodiesel, supondo a eliminação de políticas mandatórias de produção de biocombustíveis e outras políticas de estímulo ao consumo e produção de biocombustíveis; e o cenário 4 que simula o livre comércio com a eliminação de tarifas e subsídios.

Para analisar o comportamento dos preços da soja frente a diferentes mudanças de cenários, de maneira complementar, compara-se os efeitos de choques de demanda diferenciados sobre a demanda por farelo, óleo de soja e biodiesel (5%, 20% e 50%) com o cenário de inexistência de consumo e produção de biodiesel e o de livre comércio.

## 4. Resultados

Na seção de resultados inicialmente são apresentados os resultados para o cenário-base e a calibração do modelo aferindo que os preços e quantidades produzidas e consumidas no mercado de soja e derivados são equivalentes aos estimados pelo modelo de equilíbrio parcial. Como próximo passo são expostos os resultados para o cenário alternativo, onde são apresentadas as variações em termos de produção de soja e consumo de farelo, óleo de soja e biodiesel. Por fim, nos resultados para análise de sensibilidade são avaliados os efeitos de mudanças nas elasticidades de oferta e de demanda sobre a produção e o consumo de soja e derivados.

### 4.1. Cenário-base e calibragem do modelo

Os modelos de equilíbrio parcial são validados comparando os resultados obtidos com a situação observada no mercado. Existem várias razões para os resultados não serem idênticos aos observados. Entre eles destacam-se os seguintes aspectos: a existência de custos não observáveis, erros de medidas nas estimativas das funções de demanda e de oferta e diferenças em termos de produtos comercializados.

Para o presente estudo quando avaliadas as variáveis como produção, consumo e preços, verifica-se que a diferença máxima entre os valores estimados e observados é de 9%. Desta forma, o modelo pode ser validado no cenário-base, visto que os resultados são condizentes àqueles observados no mundo real.

A tabela 2 apresenta os principais produtores e consumidores de soja e derivados no período de 2011 a 2013. Para o cenário-base observa-se que a produção de soja está concentrada em três países, a saber: os Estados Unidos (33,82%), o Brasil (28,97%) e a Argentina (17,89%). Conforme comentado anteriormente a soja em grão pode ser transformada e consumida como farelo, óleo vegetal e biodiesel. O consumo de farelo é maior nos países que possuem uma significativa produção animal, como a China, UE, EUA e Brasil que possuem uma participação no mercado de 28,67%, 19,44%, 12,85% e 8,03%, respectivamente.

**Tabela 2-** Produção de soja e consumo de farelo, óleo e biodiesel a base de soja no cenário-base (média 2011-2013)

Países	Produção		Consumo - Farelo		Consumo - óleo		Consumo - biodiesel	
	1000 t.	%	1000 t.	%	1000 t.	%	1000 t.	%
Argentina	46.133,33	17,89	1.270,00	0,72	2605,00	6,23	665,77	8,68
Brasil	74.600,00	28,93	14.083,33	8,03	5376,33	12,85	2.156,76	28,11
EUA	85.915,00	33,32	27.461,00	15,66	8133,67	19,44	2.509,56	32,71
EU	1.122,00	0,44	29.248,33	16,68	2182,33	5,22	1.885,06	24,57
China	14.205,00	5,51	46.969,33	26,79	11999,33	28,67	205,83	2,68
RM	35.859,33	13,91	56.301,67	32,11	11550,00	27,60	248,42	3,24
Total	257.834,66	100,00	175.333,66	100,00	41846,66	100,00	7.671,40	100,00

Fonte: resultados de pesquisa.

Considerando as regiões selecionadas, o consumo de óleo vegetal é mais significativo na China, nos EUA e no Brasil conforme apresentado na tabela 2. A China é o maior consumidor de óleo de soja do mundo com 11,999 milhões de toneladas, equivalente a 28,67% do total consumido no mundo.

Por fim, o consumo de biodiesel a base de soja é maior nos EUA, no Brasil e na EU com uma participação no total mundial de 32,71%, 28,11% e 24,57%, respectivamente. Este maior consumo de biodiesel à base de soja deve-se a maior disponibilidade de matéria-prima no Brasil e nos EUA e às políticas de incentivo adotadas em todas as regiões consideradas.

#### 4.2. Cenários alternativos

O primeiro cenário apresentado na tabela 3 simula um choque de demanda de 20% sobre o farelo e o óleo de soja mantendo a demanda por biodiesel constante. Em termos gerais observa-se que a produção de soja aumentou ao redor de 9% para a maior parte das regiões consideradas, chegando a um aumento de 11,54% na produção de soja chinesa. Este crescimento na oferta de soja se deve a maior demanda por óleo e farelo simulada neste cenário. A expansão na demanda por farelo e óleo faz com que haja um aumento nos preços do farelo, de óleo e, conseqüentemente, nos preços do biodiesel. Pelo aumento nos preços do biodiesel ocorre uma redução na demanda por biodiesel, mostrando claramente o efeito substituição entre o óleo vegetal (alimento) e o biodiesel (combustível).

O cenário 2 considera um choque de demanda no farelo, no óleo e no biodiesel de 20%. As mudanças na produção de soja são ligeiramente superiores às do cenário 1, observando-se uma variação de produção que varia de 8,58% na EU até uma variação de 12,18% na China. Devido a simulação de um choque de demanda simultâneo no farelo, no óleo e no biodiesel, observa-se menores variações no consumo de farelo e de óleo.

Todavia, no caso do biodiesel existe uma diferença mais significativa entre o cenário 1 e 2. No primeiro cenário observa-se uma redução no consumo de biodiesel devido ao aumento no consumo de óleo vegetal, uma menor variação de 16,31% para a Argentina e o Brasil (inferior) e uma maior variação de 22,99% no caso da China. Por outro lado, esta variação reduz de forma significativa no cenário 2 para 0,53% no Brasil e para 8,90% no caso da China. Ao analisar os cenários 1 e 2 observa-se que o reduzido consumo de biodiesel a base de soja contribui para que exista um maior impacto do choque de demanda do farelo e do óleo sobre a produção de soja nas regiões analisadas.

**Tabela 3-** Variação na produção de soja e no consumo de farelo, óleo e biodiesel em cenários alternativos

Países	Variação na produção (%)	Variação no consumo (%)			Variação nos preços (%)			
		Farelo	Óleo	Biodiesel	Soja	Farelo	Óleo	Biodiesel
Cenário 1 - choque de demanda nos alimentos								
Argentina	9,10	9,25	9,31	-16,31	31,33	30,81	30,57	22,72
Brasil	9,51	9,41	15,36	-16,31	30,64	30,29	30,05	22,43
EUA	8,39	9,78	14,95	-16,71	28,67	28,96	28,79	21,72
EU	8,13	7,23	9,17	-16,84	28,67	28,42	28,26	21,42
China	11,54	10,35	9,61	-22,99	27,29	27,05	26,92	19,98
RM	9,41	13,02	9,60	-17,58	27,53	27,11	26,95	20,66
Cenário 2 - choque de demanda nos alimentos e biocombustíveis								
Argentina	9,60	8,72	8,78	-0,54	33,33	32,85	32,44	24,11
Brasil	10,03	8,88	15,13	-0,53	32,60	32,29	31,88	23,80
EUA	8,85	9,27	14,69	-1,03	30,50	30,60	30,55	23,05
EU	8,58	6,60	8,63	-1,19	30,28	30,03	29,99	22,73
China	12,18	9,86	9,08	-8,90	29,00	28,78	28,51	21,22
RM	9,93	12,66	9,07	-2,14	29,30	28,64	28,60	21,92
Cenário 3 - sem produção de biodiesel								
Argentina	-3,21	3,57	3,54	--	-9,52	-9,30	-9,45	--
Brasil	-3,33	3,50	1,48	--	-9,56	-9,14	-9,29	--
EUA	-2,93	3,35	1,60	--	-8,72	-9,02	-8,90	--
EU	-2,84	4,23	3,54	--	-8,94	-8,85	-8,74	--
China	-3,92	3,11	3,37	--	-8,53	-8,44	-8,37	--
RM	-3,24	2,22	3,37	--	-8,37	-8,44	-8,33	--
Cenário 4 - eliminação das barreiras tarifárias e subsídios								
Argentina	0,31	-0,33	-0,33	-0,61	1,00	1,16	1,05	0,78
Brasil	0,18	-0,32	-0,14	-0,60	0,49	1,14	0,92	0,68
EUA	-0,65	-0,24	-0,12	-0,48	-1,83	0,55	0,66	0,50
EU	0,23	-0,62	-0,52	-0,99	0,69	1,34	1,40	1,06
China	-0,72	0,56	0,60	-0,68	-1,71	-1,49	-1,60	0,41
RM	0,35	-0,23	-0,35	-0,73	1,10	1,02	0,93	0,71

Fonte: resultados de pesquisa

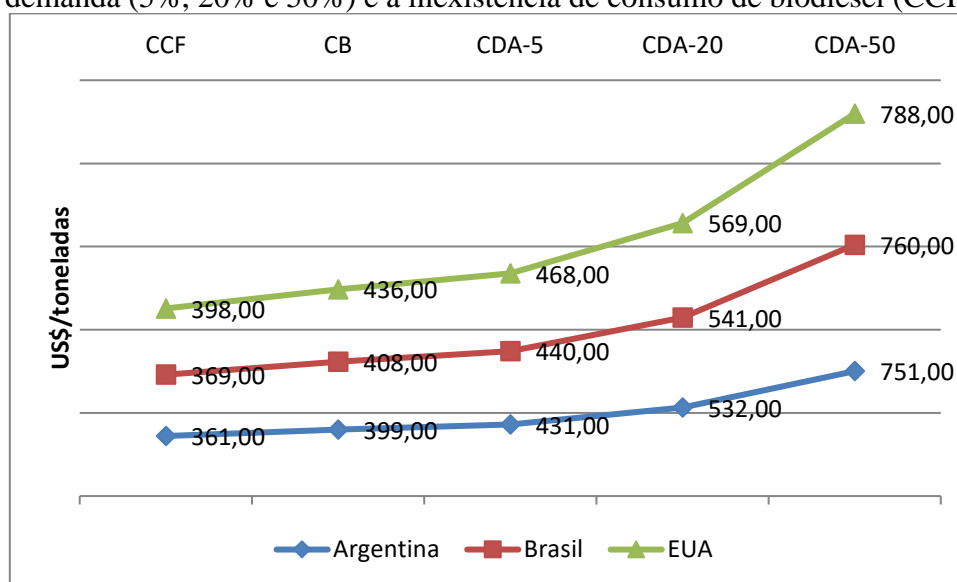
O cenário 3 considera que não exista produção e consumo de biodiesel, apenas a produção de soja e o consumo de farelo e óleo de soja. Neste sentido, este cenário considera que todas as políticas de suporte a produção e ao consumo de biodiesel são eliminadas. Conforme a tabela 3 a produção de soja diminui em todas as regiões com uma maior redução observada na China de 3,92% e uma menor redução de 2,84% na EU. Para este cenário os preços diminuem para todos os níveis de produção (soja em grão) e de consumo (farelo e óleo de soja), conseqüentemente, a quantidade demandada por farelo e óleo aumento neste cenário.

No cenário 4 simula-se a eliminação das barreiras tarifárias e dos subsídios apenas para a soja em grão, farelo e óleo vegetal, mantendo as políticas de suporte a produção do biodiesel. Neste cenário se observam pequenas variações na produção, no consumo e nos preços dos produtos considerados. Entre os principais produtores do mundo, como o Brasil e a Argentina tem aumentos na produção de 0,18% e 0,31%, respectivamente. No caso dos EUA e da China, a produção diminui em 0,72% e 0,65%, respectivamente. No caso dos EUA, um dos maiores produtores de soja, a produção diminui em função da eliminação dos subsídios concedidos aos produtores. Para a China, o maior consumidor e importador de soja, existe uma redução na produção em função dos menores preços vigentes no mercado interno, propiciados pelo processo de liberação comercial.

Conforme descrito na metodologia, para uma análise mais detalhada do comportamento dos preços são comparados dois grupos; no primeiro é apresentado o conjunto de preços para a Argentina, Brasil e EUA considerando diferentes choques de demanda sobre os preços do farelo, do óleo de soja e do biodiesel e a eliminação do consumo de biodiesel com base na produção de soja. No segundo grupo é apresentado para o mesmo grupo de países as variações nos preços entre o cenário-base e o cenário de livre comércio com a eliminação das barreiras tarifárias e dos subsídios à soja.

Na figura 1 são apresentados os efeitos de um choque de demanda de 5% (CDA-5), 20% (CDA-20) e 50% (CDA-50%) no consumo de farelo, óleo e biodiesel. Nesta mesma figura é apresentado os efeitos sobre os preços considerando que não haja consumo de biodiesel a base de soja. Considerando um choque de demanda de 20%, os preços da soja na Argentina, no Brasil e nos EUA aumentam em 33,3%, 32,6% e 30,5%, respectivamente. Para o caso dos preços de soja no Brasil, estes passam de 408 dólares por tonelada no CB para 541 dólares por tonelada no cenário que prevê um choque de 20% na demanda. Quando se simula a ausência de demanda de biodiesel, os preços da soja na Argentina, Brasil e nos EUA reduzem em 9,5%, 9,6% e 8,7%, respectivamente. No caso brasileiro, quando se considera a ausência de demanda por biodiesel, estima-se que o preço da soja caia para 369 dólares por tonelada. Os preços máximos observados ocorrem quando se considera um choque de demanda de 50%, para o Brasil, os preços chegam a 760 dólares por tonelada.

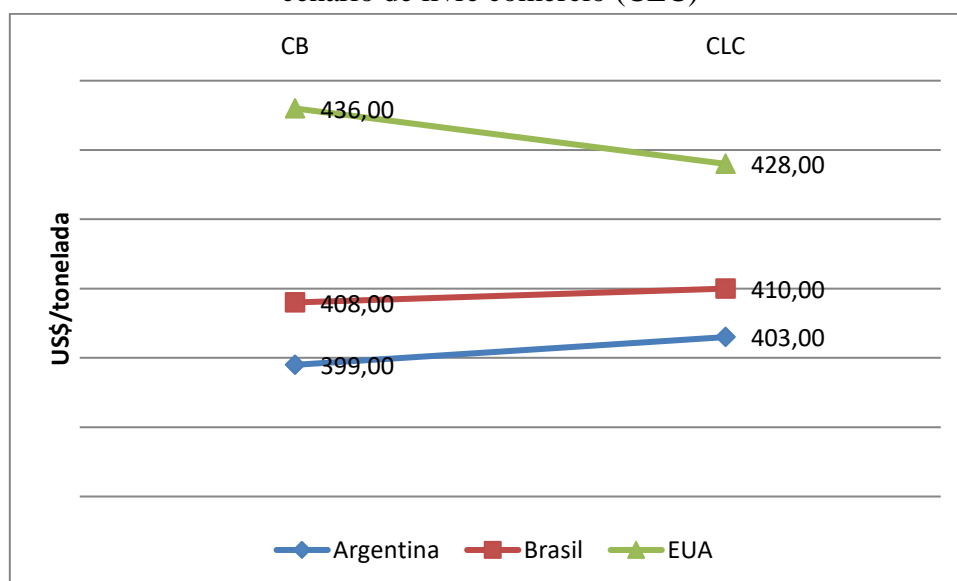
**Figura 1-** Preços de soja em grão para a Argentina, Brasil e EUA considerando diferentes choques de demanda (5%, 20% e 50%) e a inexistência de consumo de biodiesel (CCF)



Fonte: resultados de pesquisa.

Já na figura 2 são apresentados os efeitos do livre comércio para os preços de soja em grão para a Argentina, Brasil e EUA. Para este cenário, observa-se que os efeitos sobre os preços derivados desta simulação podem ser diferentes conforme o país em questão. Apesar de em termos agregados ocorrer um pequeno aumento nos preços de soja em função do livre comércio, para os EUA os preços passam de 436 dólares por tonelada no cenário-base (CB) para 428 dólares por tonelada no cenário de livre comércio (CLC).

**Figura 2-** Preços de soja em grão para a Argentina, Brasil e EUA considerando o cenário-base (CB) e o cenário de livre comércio (CLC)



Fonte: resultados de pesquisa.

Em termos de preços pagos ao produtor de soja nas regiões consideradas, observa-se que os efeitos da liberação comercial sobre os preços são significativamente menores do que as possíveis variações na demanda de farelo, óleo de soja e biodiesel. Diferentemente das políticas comerciais aplicadas a soja, farelo e óleo, as políticas mandatórias e comerciais de estímulo à produção de biodiesel têm um papel relevante sobre a formação de preços da soja.

Considerando os preços nos três principais produtores de soja, as políticas associadas ao consumo e a produção de biodiesel permitem uma variação nos preços de soja na Argentina, no Brasil e nos EUA de 9,52%, 9,56% e 8,72%, respectivamente.

#### 4.3. Análise de sensibilidade

Considerando estes dois grupos principais analisados, como próximo passo é realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo, avaliando as variações em termos de produção de soja e de consumo de farelo, de óleo vegetal e de biodiesel frente a mudanças nas elasticidades de preço de oferta e de demanda. Para atingir tal objetivo, simula-se uma variação positiva e negativa de 50% nas elasticidades para os cenários 2 e 4.

A análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo tem por objetivo identificar as mudanças em termos de produção e consumo decorrentes de diferentes reações por parte dos produtores e consumidores frente a mudanças nos preços. Portanto, quando simulamos diferentes valores para elasticidades de oferta e de demanda estão considerando a possibilidade de termos diferenças decorrentes de alterações tecnológicas na produção ou na comercialização, assim como mudanças em termos de preferências do consumidor.

**Figura 3-** Análise de sensibilidade para a produção de soja e consumo de farelo, óleo vegetal e biodiesel considerando mudanças nas elasticidades de oferta e de demanda, cenário 2



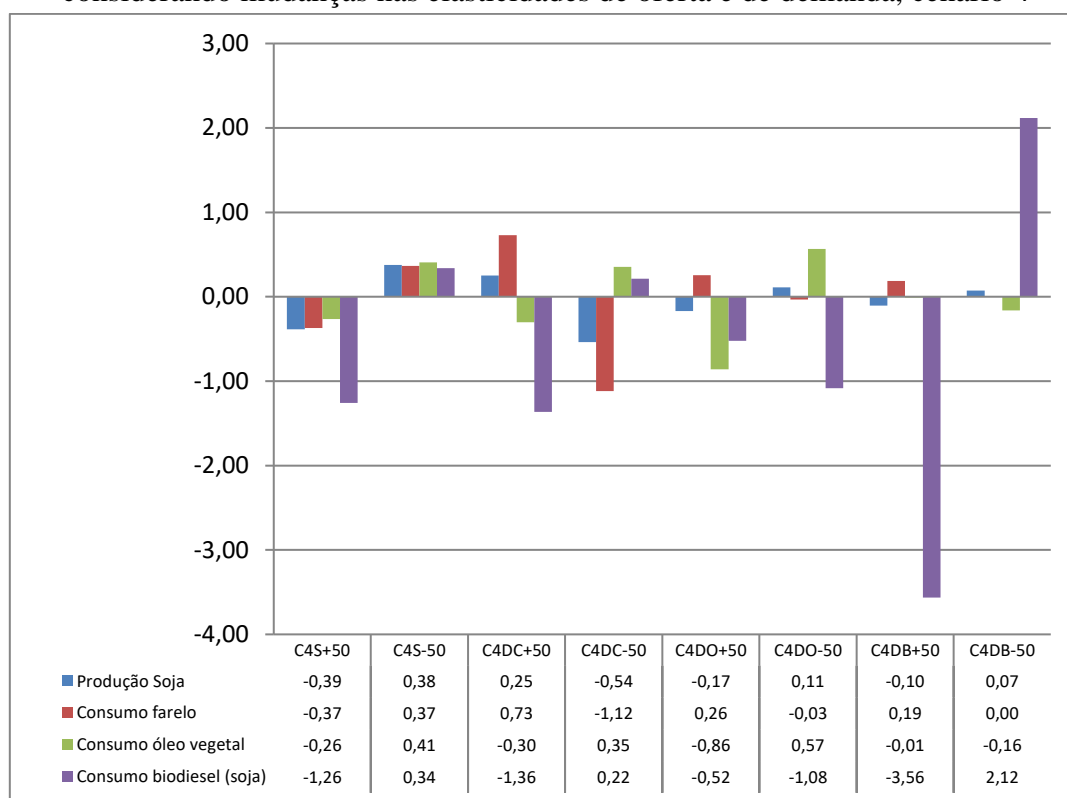
Fonte: resultados de pesquisa.

Na figura 3 são apresentadas as variações totais na produção e no consumo frente a mudanças nas elasticidades de preço de oferta (C2S+50) e (C2S-50) e elasticidade de preço de demanda de farelo (C2DC+50) e (C2DC-50), óleo vegetal (C2DO+50) e (C2DO-50) e biodiesel (C2DB+50) e (C2DB-50) em todas as regiões analisadas.

A análise de sensibilidade para o cenário 2 mostra que as mudanças de elasticidade de oferta e de demanda altera no máximo em 5% para a produção de soja e o consumo de óleo e farelo. Todavia, as variações no consumo de biodiesel são mais significativas, principalmente quando se simula variações nas elasticidades de demanda por biodiesel. Por exemplo, quando se simula uma redução na elasticidade de demanda do biodiesel, o consumo de biodiesel aumenta em 12,5% em relação ao cenário 2 original. Neste caso, em função do maior consumo de biodiesel existe um estímulo maior a produção de soja e uma redução no consumo de farelo e de óleo em razão dos maiores preços estimulados pelo maior consumo de biodiesel.

De forma semelhante, é realizada a análise de sensibilidade para o cenário 4 que simula a eliminação de tarifas e subsídios para a soja em grão, farelo e óleo vegetal. Na figura 4 são apresentadas as mudanças na elasticidade preço de oferta (C4S+50) e (C4S-50) e elasticidade de preço de demanda de farelo (C4DC+50) e (C4DC-50), óleo vegetal (C4DO+50) e (C4DO-50) e biodiesel (C4DB+50) e (C4DB-50) para todas as regiões analisadas.

**Figura 4-** Análise de sensibilidade para a produção de soja e consumo de farelo, óleo vegetal e biodiesel considerando mudanças nas elasticidades de oferta e de demanda, cenário 4



Fonte: resultados de pesquisa.

Para este cenário a análise de sensibilidade não mostrou variações maiores do que 4% para todos os produtos. Embora as variações na produção e no consumo tenham sido menores, as variações observadas no consumo de biodiesel mantêm o maior percentual de variação. Neste cenário a variação positiva de 50% na elasticidade de demanda do biodiesel (C4DB+50) determinam uma redução de 3,6% no consumo de biodiesel, enquanto a redução de 50% na mesma elasticidade resulta em um aumento de 2,12 em relação ao cenário 4 original.

Por fim, observa-se a partir da análise de sensibilidade sobre os dois cenários selecionados que as mudanças percentuais na produção de soja e no consumo de farelo, óleo vegetal e biodiesel são relativamente pequenas em termos relativos e nominais. Neste sentido, mudanças nos parâmetros das funções de oferta e de demanda alteram pouco os resultados obtidos em cada cenário, mantendo a melhor posição do cenário 1 e 2 em termos de incrementos potenciais na oferta de soja em grão.

## 5. Conclusões

Hochman et al (2014) analisaram o comportamento de preços de alimentos e de combustíveis na última década do sec. XXI. Segundo os autores, os dois principais fatores determinantes desta tendência de crescimento foram a maior demanda pelo crescimento da renda nos países em desenvolvimento e o maior uso de biocombustíveis, principalmente nos países desenvolvidos.

O maior crescimento da renda nos países em desenvolvimento determinou não apenas um maior consumo per capita por alimentos, mas também a diversificação da dieta, incluindo mais carnes, produtos lácteos e óleos vegetais. Este aspecto, por sua vez, ampliou a demanda por grãos e por oleaginosas.

Já o segundo aspecto mais relevante foi o crescimento significativo do uso de biocombustíveis, resultado de um estímulo ao consumo, através de políticas mandatórias, e à produção através da proteção de mercados e da concessão de subsídios. Este maior estímulo à produção e ao consumo de biocombustíveis ocorreu como resposta ao aumento do preço do petróleo e aos impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis.

Os incentivos concedidos à produção e ao consumo de biocombustíveis resultaram, por sua vez, em aumentos nos preços dos produtos agrícolas e de alimentos na última década. Hochman et al (2014) estimam que os aumentos nos preços de produtos agrícolas e alimentos variaram no intervalo de 20-60% na primeira década do século XXI.

Neste contexto, o presente artigo se propõe a analisar os impactos do consumo de biodiesel a base de soja sobre o mercado de soja e derivados nos principais países produtores e consumidores. Os resultados apontam que os maiores ganhos potenciais para os produtores/exportadores de soja ocorrem no cenário onde se simula um aumento da demanda por alimentos, considerando a mesma taxa de crescimento observada nos últimos dez anos. O aumento da renda nos países em desenvolvimento, principalmente na China, reverteu-se em uma maior demanda por soja, utilizada para a produção de farelo e óleo vegetal.

O cenário que simula a ausência de demanda por soja para a produção de biodiesel, avalia como seria o mercado de soja, caso não houvesse políticas de suporte a produção e a demanda de biodiesel no mundo. Como resultado observa-se que os preços da soja são 8% mais elevados em função da demanda de soja para a produção de biodiesel, o que explica em parte, a maior produção de soja observada nos últimos dez anos.

O cenário de livre comércio mostrou-se pouco promissor. Mesmo que todas as barreiras comerciais e subsídios concedidos para a produção de soja, farelo e óleo vegetal fossem eliminados, os efeitos sobre a produção, consumo e comércio de soja e derivados seriam significativamente menores do que as variações observadas nos demais cenários simulados.

Em termos de longo prazo, caso as variações de demanda previstas nos cenários analisados se mantenham para os próximos anos e o comércio entre as regiões consideradas seja estimulado com a redução de barreiras comerciais, ocorrerá a necessidade de manter a ampliação de oferta de soja e derivados no mundo. Neste sentido, o Brasil e a Argentina são as duas principais regiões produtoras/exportadoras com maior potencial de ampliar a oferta de soja e derivados.

Todavia, para atingir tal objetivo de ampliar a oferta de soja no Brasil e na Argentina será necessário ampliar os investimentos em pesquisa e em termos de infraestrutura necessária para estimular o comércio entre as regiões produtoras e as consumidoras.

## 6. Referências Bibliográficas

- ALVIM, A.M. **Os Impactos dos Novos Acordos de Livre Comércio sobre o Mercado de Arroz no Brasil: um modelo de alocação espacial e temporal.** Porto Alegre: UFRGS, 2003. Tese Doutorado em Economia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- ALVIM, A. M., WAQUIL, P. D. O Problema de Complementaridade Mista: um modelo de alocação espacial aplicado ao setor agrícola. In: Maurinho Luiz dos Santos; Wilson da Cruz Vieira (EDs). **Métodos Quantitativos Aplicados à Economia.** Viçosa: UFV, 2004.
- BARROS, G. S. C.; SILVA, A. P.; PONCHIO, L. A.; ALVES, L. R. A.; OSAKI, M.; CENAMMO, M. Custos de Produção de Biodiesel no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, ano XV, n.3, 2006, p. 36-50.
- BITD (The International Customs Tariff Bureau). **Tariffs Database.** 2007. Disponível em: <http://www.bitd.org>.
- BISHOP, P.M., NICHOLSON, C.F., PRATT, J.E. **Tariff-Rate Quotas: difficult to model or plain simple.** Wellington: NZIER, 2001. Paper presented at the annual conference of the New Zealand Agricultural and Resource Economics Society. Disponível em: <http://www.nzier.co.nz>. Acesso: 15/dez/02.
- FAPRI (Food and Agriculture Policy Research Center). **Elasticities Databases.** 2014. Disponível em: <http://www.fapri.org>. Acesso: 30 de junho de 2014.
- FLIEHR, O. **Analysis of Transportation and Logistics Processes for Soybeans in Brazil.** Thünen Working Paper 4. July 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/78249>. Acesso: 4/02/2015.



HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; TIMILSINA, G.; ZILBERMAN, D. Quantifying the causes of the global Food Commodity Price Crisis. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 68, 106-114. 2014.

GELDER, J. W van; KAMMERAAT, K.; KROES, H. **Soy Consumption for Feeds and Fuel in European Union**. Profundo Economic Research. 28 October 2008. Disponível em: <https://milieudefensie.nl/publicaties/rapporten/soy-consumption-for-feed-and-fuel-in-the-european-union>. Acesso: 15/02/2015.

JOSLING, T.; BLANDFORD, D.; EARLEY, J. **Biofuel and Biomass Subsidies in the U.S., EU and Brazil: towards a transparent system of notification**. IPC (International Policy Council) Position Paper, September 2010. Disponível em: <http://www.agritrade.org/BiofuelSubsidiesUSEUBrazil.html>. Acesso: 12/12/2014.

LÓPEZ, A.; RAMOS, D.; SIMKIEVICH, C. **A Study of the Impact of China's Global Expansion on Argentina** (Soybean value chain analysis: final report). Buenos Aires: CENIT, 2008. Disponível em: [www.uea.ac.uk/.../1.113468!2%20ARGENTINA%20SOYBEAN.pdf](http://www.uea.ac.uk/.../1.113468!2%20ARGENTINA%20SOYBEAN.pdf). Acesso: 12/12/2014.

Mandarino, José Marcos Gontijo. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. (Documentos 171), 40p.

NARDI, M. G.; DAVIS, T. D. **Soybean Landed Cost Competitiveness Analysis for Argentina, Brazil and United States**. VI International PENSA Conference. 24-26<sup>th</sup> October 2007. Disponível em:

Nassar, A.; Antoniazzi, L. B.; Brandão, J. e Moura, P. **Soy Strategic Gap Analysis: Brazil and Argentina**. São Paulo, Brazil: Institute for International Trade Negotiations, 2011. Disponível: <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/20a0cf004a95fc41ad32edeec99f439e/Soy+Gap+Analysis.English.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso: 12/12/2014.

NICHOLSON, C. F; BISHOP, P. M. **US Dairy Product Trade: Modeling Approaches and the Impact of New Product Formulations**. Final Report for NRI Grant # 2001-35400-10249, March 2004.

OECD/FAO (Organisation for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization of United Nations). **The agricultural outlook database**. Disponível em: <http://www.oecd.org>. 2007.

OJIMA, A. L. R. O. **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática**. 79 f. 2004. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas - SP.

OMC (Organização Mundial do Comércio). **Tarifas**. Disponível em: <http://tariffanalysis.wto.org/default.aspx>. Acesso em 15 julho de 2013.

PAULILLO, L. F; VIAN, C. E. F; SHIKIDA, P. F. A; MELLO, F. T. Álcool Combustível e Biodiesel no Brasil: quo vadis? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 45, n°3, jul/set 2007.

PRADHAN, D. S.; SHRESTHA, A.; MCALOON, A.; YEE, W.; HASS, M.; DUFFIELD, J. A. Energy Life-Cycle Assessment of Soybean Biodiesel Revisited. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. Vol. 54(3): 1031-1039. 2011.

HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; TIMILSINA, G.; ZILBERMAN, D. **The Role of Inventory Adjustments in Quantifying Factors Causing Food Price Inflation**. Policy Research Working Paper 5744. The World Bank, August 2011. Disponível em: <http://econ.worldbank.org>. Acesso: 02/02/2015.

ROSEGRANT, M. W; ZHU, T; MSANGI, S; SULSER, T. Global Scenarios for Biofuel: impacts and implications. **Review of Agricultural Economics**, vol. 30, number 3, 2008.

RUTHEFORD, T.F. Extension of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis. **Journal of Economics Dynamics & Control**. 19, p. 1299-1324. 1995.

SAMUELSON, P. B. Spatial price equilibrium and linear programming. *American Economic Review*, v.42, 1952. p. 283-303.

TAKAYAMA, T., JUDGE, G. *Spatial and temporal price and allocation models*. Amsterdam/London: North-Holland Publishing Company, 1971.

UNCTAD (United Nation Conference on Trade and Development). **UNCTAD –Trains** (Trade Analysis and Information System), 2013. Disponível em: <http://www.unctad.org>. Acesso: 15 de dezembro de 2014.

USDA-ERS (United State Department of Agriculture – Economic Research Service). **Commodity and Food Elasticities**. 2014. Disponível em: <http://www.ers.usda.gov/Data/Elasticities/query.aspx>.

WAQUIL, P.D. **Primal-dual spatial equilibrium model with intermediate products: application to the agricultural sector in the MERCOSUR**. Madison: University of Wisconsin, 1995. Dissertation (Ph.D.) - University of Wisconsin, 1995.

----- . Equilíbrio espacial: modelagem e aplicação ao setor de grãos em três cenários de integração regional. In: MONTOYA, A. e PARRÉ, J. L. (Eds). *O Agronegócio brasileiro no final do século XX*. Passo Fundo: UPF, v. 2, 2000.