

O ACORDO DE PARIS E AS EMISSÕES DE GASES: IMPACTOS SOBRE A PRODUÇÃO DE SUÍNOS NO BRASIL^{1,2}

Carolina Silva da Trindade³

Augusto Mussi Alvim⁴

Em 2016, o Brasil assumiu no Acordo de Paris o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de adotar os instrumentos necessários para conter o aquecimento global até 2030. Nesse contexto, este artigo analisa os possíveis impactos do compromisso brasileiro no Acordo de Paris de reduzir as emissões de GEE sobre a produção e a exportação de carne suína no Brasil em um período pré-pandemia covid-19. Para atingir tal objetivo, utiliza-se um modelo de equilíbrio parcial formulado como um problema de complementaridade mista (PCM), o qual permite a construção de dois cenários alternativos. O primeiro cenário propõe a cobrança de uma tarifa de carbono dos produtores de carne suína; no segundo, simula-se a concessão de subsídios equivalente a uma renda adicional potencial pela adoção do uso de biodigestores pelos produtores de carne suína. No primeiro cenário, os resultados indicam perdas econômicas para os produtores de carne suína no Brasil. Embora ocorra uma redução substancial nas emissões de GEE, a tarifa de carbono aplicada sobre os produtores de carne suína não é o suficiente para o Brasil atender às suas metas até 2030. Para o segundo cenário, os resultados mostram-se favoráveis aos produtores brasileiros e contribuem para uma maior diminuição nas emissões do que o cenário 1. Adicionalmente, nesse cenário, a produção de biogás tem potencial para aumentar em 10% a participação da bioenergia na matriz energética nacional, com base em 2016.

Palavras-chave: Acordo de Paris; GEE; suínos; tarifa de carbono; biodigestores; PCM.

THE PARIS AGREEMENT AND GAS EMISSIONS: IMPACTS ON SWINE PRODUCTION IN BRAZIL

In 2016, Brazil made a commitment to reduce greenhouse gas (GHG) emissions and to adopt the necessary instruments to contain global warming by 2030. This paper analyzes the possible impacts of the Brazilian commitment to the Paris Agreement to reduce greenhouse gas emissions on the production and export of swine in Brazil in a prepandemic period covid-19. To achieve this goal, a partial equilibrium model formulated as a Mixed Complementarity Problem (MCP) is used, which allows the construction of two alternative scenarios. The first scenario proposes a carbon tariff to swine producers; the second, it simulates the granting of subsidies equivalent to a potential additional income by the adoption of biodigesters by swine producers. In the first scenario, the results indicate economic losses to swine producers in Brazil. Although there is a substantial reduction in GHG emissions, the carbon tariff applied to producers is not enough for Brazil to meet its targets by

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppp61art3>

2. Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

3. Doutoranda em economia aplicada na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). *E-mail*: <carolinasilvatrindade1994@gmail.com>. Orcid: <<https://orcid.org/0000-0002-8240-3588>>.

4. Professor titular da Escola de Negócios da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS); coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE-PUCRS); e pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). *E-mail*: <augusto.alvim@pucrs.br>. Orcid: <<https://orcid.org/0000-0003-0130-6880>>.

2030. For the second scenario, the results are favorable to Brazilian producers and contribute to a greater decrease in emissions than scenario 1. Additionally in this scenario, biogas production has the potential to increase bioenergy's share in the national energy matrix in 10%, based on 2016.

Keywords: Paris Agreement; GHG; swine; carbon taxes and biodigesters; MCP.

EL ACUERDO DE PARÍS Y LAS EMISIONES DE GAS: IMPACTOS EN LA PRODUCCIÓN PORCINA EN BRASIL

En 2016, Brasil se comprometió a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a adoptar los instrumentos necesarios para contener el calentamiento global para 2030. Este documento analiza los posibles impactos del compromiso brasileño con el Acuerdo de París para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción y exportación de cerdos en Brasil en un período pre-pandémico covid-19. Para lograr este objetivo, se utiliza un modelo de equilibrio parcial formulado como un Problema Mixto de Complementariedad (PCM), que permite la construcción de dos escenarios alternativos. El primer escenario propone un arancel al carbono a los productores porcinos; en el segundo, simula la concesión de subvenciones equivalentes a un ingreso adicional potencial mediante la adopción de biodigestores por parte de los productores porcinos. En el primer escenario, los resultados indican pérdidas económicas para los productores porcinos en Brasil. Aunque hay una reducción sustancial de las emisiones de GEI, el arancel de carbono aplicado a los productores no es suficiente para que el Brasil cumpla sus objetivos para 2030. Para el segundo escenario, los resultados son favorables para los productores brasileños y contribuyen a una mayor disminución de las emisiones que el escenario 1. Además, en este escenario, la producción de biogás tiene el potencial de aumentar la participación de la bioenergía en la matriz energética nacional en 10%, basado en 2016.

Palabras clave: Acuerdo de París; GEI; porcinos; tarifa del carbono y biodigestores; PCM.

JEL: C63; Q17; Q51; Q52; Q54.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente é o maior produtor e exportador do agronegócio mundial. Em 2016, o setor representou 23% do produto interno bruto (PIB) brasileiro e teve exportações equivalentes a US\$ 83,34 bilhões, que corresponde à 45% do total exportado pelo país. Esse percentual foi influenciado pela comercialização de carnes (principalmente para os Estados Unidos e a União Europeia), que representou 22% das exportações totais do agronegócio. Desses 22%, 7% referem-se a exportações de carne suína. Assim, nos quesitos produção e exportação de suínos, o Brasil ocupa hoje a quarta posição (3,73 milhões de toneladas produzidas, com 732,9 mil toneladas exportadas). Em relação à produção, destaca-se mais de 900 mil vínculos empregatícios (diretos e indiretos) e a importância da agricultura familiar no conjunto da produção, a qual é responsável por 60% da carne suína produzida no país (Brasil, 2018a).

Conforme Imafiora (2014) e Observatório do Clima (2018), as emissões brasileiras de GEE crescem aproximadamente 4% ao ano (a.a.) desde 1970, e atingiram, em 2016, 2,27 bilhões de tCO₂, cerca de 20% advindos do setor agro-

pecuário. Com isso, o Brasil é o sétimo maior emissor de GEE no mundo. No âmbito da agropecuária, a carne (bovina, suína e de aves) é o produto que detém o maior percentual de impacto ambiental, tendo os resíduos derivados da produção de suínos uma representatividade de 2% no total de GEE emitido pelo setor. Logo, se os produtores não adotarem práticas de baixa emissão de GEE e sequestro de carbono, o processo de mudança climática será prejudicado.

Em virtude da preocupação mundial em relação ao aquecimento global, em 2015 iniciaram-se novas negociações para concretização de um novo acordo, a exemplo do Protocolo de Quioto, que pautasse esses problemas e fizesse que os países, juntos, pensassem em soluções para controlar essa situação. O acordo, ratificado pelo Brasil em 2015, foi chamado Acordo de Paris. Assim, com metas confeccionadas em 2016, o Brasil comprometeu-se a reduzir suas emissões de GEE em 37% até 2025, tendo como referência os níveis de 2005, e 43% até 2030; elevar em 18% a participação de bioenergia sustentável em sua matriz energética; restaurar 12 milhões de hectares de florestas; e atingir 45% de uso de energias renováveis até 2030 (ONU, 2015).

Sendo assim, o artigo tem como principal objetivo avaliar os impactos das metas brasileiras propostas no Acordo de Paris sobre a produção e a exportação de suínos no Brasil em um período pré-pandemia covid-19. Para tal, primeiramente caracterizou-se o cenário mundial de produção e comercialização de suínos. Após, foram construídos e analisados os cenários da imposição de uma tarifa de carbono e de implantação de biodigestor na produção por meio de simulações com o PCM.

2 A IMPORTÂNCIA DA CARNE SUÍNA PARA A PRODUÇÃO, A COMERCIALIZAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em 2016, o setor de carne suína ocupou a primeira posição no consumo mundial de proteína animal, com uma participação de 42,9%. Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2020), a produção de suínos atingiu 3,73 milhões de toneladas em 2016, e suas exportações registraram aumento de aproximadamente 30% em relação ao valor de 2015 (421,23 mil toneladas).

É importante destacar que a razão entre o total exportado e o produzido pelos países apresentados é relativamente baixa, conforme tabela 1. Isso ocorre devido a dificuldades de acesso a alguns mercados, causadas por incidência de barreiras não tarifárias. Isso pode ser observado para o Resto do Mundo, os Estados Unidos e para a Argentina, que consomem 93,27%, 76,92% e 100% de sua produção, respectivamente. O Brasil também teve suas exportações bastante prejudicadas entre 2014 e 2016, em função não somente das barreiras não tarifárias impostas às carnes brasileiras pela União Europeia, mas também da

ocorrência, em 2016, de um embargo Russo (principal importador do Brasil) ao complexo das carnes. Assim, embora seja um país exportador, nesse período o Brasil consumiu 77,55% do que produziu (Milho/Cepea..., 2015).⁵

Verifica-se, a partir da tabela 1, que os maiores produtores e consumidores são a China, a União Europeia e os Estados Unidos. Atentando-se para a China, identifica-se que essa compreende 46,73% do consumo mundial, pelo fato de a dieta de sua população ser baseada em proteína animal de origem suína (Guimarães *et al.*, 2017). Já a União Europeia e os Estados Unidos possuem elevada produção de carne suína em função dos problemas sanitários e fitossanitários enfrentados pela carne bovina a partir de 2013. Os principais exportadores são a União Europeia, os Estados Unidos e o Brasil. As exportações da região Resto do Mundo são também expressivas, especificamente porque essa região inclui a Rússia e o Canadá.⁶

TABELA 1

Consumo, produção e comercialização de carne suína (2014-2016)

	Países	Destino das exportações						Produção
		Argentina	Brasil	Estados Unidos	União Europeia	China	Resto do Mundo	
Origem das exportações	Argentina	464,54	-	-	-	-	-	464,54
	Brasil	23,51	2.852,25	-	-	187,86	614,45	3.678,07
	Estados Unidos	-	-	8.289,21	-	174,68	2.312,15	10.776,04
	União Europeia	-	-	121,79	20.352,54	917,23	1.953,32	23.344,88
	China	-	-	-	-	53.161,08	309,84	53.470,92
	Resto do Mundo	-	262,34	744,92	657,46	-	23.096,23	24.760,95
	Consumo	488,05	3.114,59	9.155,92	21.010,00	54.440,85	28.285,99	116.495,40

Fontes: UN Comtrade Database – *Trade statistics* (disponível em: <<https://bit.ly/3GPTwCJ>>; acesso em: 18 jun. 2018); FAO Database (disponível em: <<https://bit.ly/3MIZg3l>>; acesso em: 20 set. 2018).

Obs.: Dados em unidade de mil toneladas métricas/CWE.

A dominância da utilização de barreiras não tarifárias em detrimento de barreiras alfandegárias é justificada pela exigência dos próprios consumidores em relação à qualidade do produto, o que compromete a relação comercial entre os países (Suínos..., 2018; Coser *et al.*, 2010). Unido a isso se tem a preocupação com a qualidade da produção total, algo que também tem interferência direta nas relações comerciais. Em 2016, o Brasil, visando beneficiar ainda mais sua produção

5. Food and Agriculture Organization (FAO) Database – *Value of agricultural production and trade indices*. Disponível em: <<https://bit.ly/3MIZg3l>>. Acesso em: 20 set. 2018.

6. Comex Stat Database. Disponível em: <<https://bit.ly/2LkJmvn>>. Acesso em: 10 jan. 2018; FAO Database. Disponível em: <<https://bit.ly/3MIZg3l>>. Acesso em: 20 set. 2018.

nacional, aplicou uma tarifa *ad valorem* de 10% às importações do produto, valor esse inferior apenas ao utilizado pela China (20%), conforme tabela 2. A alta tarifa de importação da China, entre 2014 e 2016, ampara-se nos grandes investimentos realizados pelo país na produção interna de carne suína, em função da significativa demanda nacional. Como já pontuado anteriormente, essa é a principal proteína animal utilizada na dieta da população chinesa.⁷

TABELA 2
Tarifas de importação (2016)¹
(Em %)

Países	Tarifas de importação
Argentina	10,00
Brasil	10,00
China	20,00
União Europeia	0,00
Estados Unidos	0,00

Fonte: World Trade Organization (WTO) Stats Portal – *Indicators*. Disponível em: <<https://bit.ly/3Ny0xFc>>. Acesso em: 6 jun. 2018.
Nota: ¹ *Ad valorem*.

A Argentina apresenta tarifa de importação igual à 10%. Entretanto, apenas 4,8% de seu consumo advém de importações, sendo essas do Brasil, não tendo, portanto, incidência de tarifas, pois ambos pertencem ao Mercosul, e, conforme acordos, não há aplicação de tarifas para comercialização desse produto entre países do bloco.⁸ Segundo a OECD,⁹ entre 2014 e 2016, apesar da não aplicação de tarifas, a União Europeia registrou recordes em utilização de barreiras não tarifárias (principalmente de cunho sanitário) para as carnes (bovinos, aves e suínos), devido a problemas encontrados na produção de seus principais parceiros (exemplo: Brasil).

Os Estados Unidos também não aplicaram tarifas no período estudado, devido às negociações (acordos) realizadas principalmente com a União Europeia e o Resto do Mundo (principais parceiros), no intuito de facilitar o acesso aos 9,46% do seu mercado, que é abastecido pelas importações. Esse baixo índice de importação de produtos agrícolas é fundamentado em sua preocupação com a procedência. Essa fez com que o país, nos últimos anos, priorizasse o consumo de suínos produzidos

7. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD): *Agricultural policy indicators* – OECD Statistics. Disponível em: <<https://bit.ly/3NIG9b5>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

8. World Trade Organization (WTO) Stats Portal – *Indicators*. Disponível em: <<https://bit.ly/3Ny0xFc>>. Acesso em: 6 jun. 2018; UN Comtrade Database. Disponível em: <<https://bit.ly/3GPTwCJ>>. Acesso em: 18 jun. 2018; FAO Database. Disponível em: <<https://bit.ly/3MIZg3l>>. Acesso em: 20 set. 2018.

9. OECD Statistics. Disponível em: <<https://bit.ly/3NIG9b5>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

em seu próprio território e importasse apenas o produto congelado.¹⁰ A preocupação com a procedência dos produtos (a exemplo de Estados Unidos e União Europeia), ainda, acabou por colocar uma questão paralela em pauta, principalmente para os países desenvolvidos, o quesito sustentabilidade.

2.1 Desenvolvimento sustentável

Segundo o Observatório do Clima (2017), o setor produtivo lança na atmosfera mais de 35,5 bilhões de toneladas de CO₂ por ano. A emissão desses poluentes acaba por prejudicar o desenvolvimento mundial, sob a ótica sustentável, e aumenta a busca por alternativas no intuito de confeccionar e pôr em prática medidas que auxiliem na diminuição dessas emissões. A primeira medida utilizada a ser destacada é o Protocolo de Quioto (1998), criado a partir da terceira reunião após a Convenção-Quadro da Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). O objetivo era a redução, por parte dos países industrializados, de cerca de 5% de suas emissões de gases estufa a níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012 (Brasil, 2000). Apesar disso, o Protocolo de Quioto enfrentou problemas devido ao tratamento diferenciado dado aos países desenvolvidos. Por outro lado, trouxe maior visibilidade aos países envolvidos e o meio que os cercam. Isso fez com que as conferências posteriores passassem a ter um papel fundamental de não apenas dar prosseguimento às propostas instauradas no Protocolo de Quioto, como também melhorá-las e atualizá-las às necessidades correntes, foi o caso do Acordo de Paris (Farina e Conejero, 2003).

2.1.1 Acordo de Paris

No ano de 2015, na XXI Conferência das Partes (COP21), em Paris, foi firmado um novo acordo por 195 países da UNFCCC cuja finalidade principal era não apenas reforçar a posição dos países envolvidos em relação às mudanças climáticas, mas também prepará-los para lidar com os impactos de suas atitudes. Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA (Brasil, 2017b), a concordata foi realizada no intuito de manter o crescimento médio da temperatura do planeta em ritmo menor (menos de 2 °C, idealmente chegando a 1,5 °C), priorizando, assim, o desenvolvimento sustentável. Em relação aos países em desenvolvimento, devido à existência de lacunas e necessidades atuais e emergentes, o comitê do Acordo de Paris estabeleceu alguns pontos importantes em relação à coerência e coordenação do desenvolvimento de capacidades. Assim, o comitê decidiu lançar um plano de trabalho que compreende o período de 2016 a 2020 e que buscasse elevar as sinergias por meio da cooperação, identificando problemas e propondo soluções quanto ao desenvolvimento das capacidades, além de incentivar o desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias (ONU, 2015).

10. FAO Database. Disponível em: <<https://bit.ly/3MIzg3l>>. Acesso em: 20 set. 2018; UN Comtrade Database. Disponível em: <<https://bit.ly/3GPtwCJ>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

Para melhor organização e controle, contudo, cada país que ratificou o Acordo de Paris precisou confeccionar suas pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), expondo suas pretensões para redução de emissões de GEE. Assim, de acordo com o MMA (Brasil, 2017b), o Brasil comprometeu-se a diminuir as emissões de gases estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025 e em 43% até 2030; restaurar 12 milhões de hectares de florestas; e elevar a participação de bioenergia sustentável em sua matriz energética em 18% até 2030, bem como de energias renováveis em 45% no mesmo período.

Com isso, até 2025 o país se comprometeu a emitir no máximo 1.346 MtCO₂ e até 2030, 1.208 MtCO₂. Para o setor agropecuário estima-se que, para alcance das metas, as emissões em 2025 e em 2030 devam atingir 470 MtCO₂ e 489 MtCO₂, respectivamente. Desde 1970, as emissões de GEE da agropecuária vêm crescendo em média 3,5% a.a. Os menores percentuais foram registrados em 2011 e 2014 (cerca de 1% a.a.), entretanto, a partir de 2014, o percentual de emissão voltou a subir (2% a.a.), segundo o Observatório do Clima (2018). Para atender às metas propostas pelo novo acordo, o desenvolvimento e a aplicação de políticas ambientais são necessários. Atualmente existem inúmeras ferramentas que podem realizar a gestão dos problemas ambientais, porém, na maioria dos países (como o Brasil), só alguns desses instrumentos são de fato utilizados, devido aos elevados custos adicionais gerados (Brasil, 2016a).

2.1.2 Políticas ambientais

Os instrumentos de política ambiental podem ser organizados em três grupos: instrumentos de controle e regulação, instrumentos de comunicação e instrumentos econômicos. Os primeiros determinam por intermédio de leis quais são as ações possíveis de serem tomadas pelos agentes econômicos. Os instrumentos de comunicação, por sua vez, são usados no intuito de auxiliar na promoção da conscientização e do fornecimento de informação à população e aos agentes responsáveis pela poluição sobre temas ambientais, fazendo que ambos atuem de forma benéfica em relação ao meio ambiente (exemplo: educação ambiental e selos verdes). Já os mecanismos de mercado (instrumentos econômicos) têm por finalidade diminuir a regulação e fornecer, conseqüentemente, maior flexibilidade aos indivíduos envolvidos nos processos, bem como reduzir os custos de controle relacionados aos problemas ambientais e estimular o investimento e a prática de energias limpas (Mueller, 2007). Para Hahn (2000), os mecanismos de mercado são preferidos em detrimento dos outros dois instrumentos, uma vez que possibilitam o atingimento de metas ambientais com um custo menor. São exemplos de políticas ambientais a cobrança da tarifa de carbono e a utilização de novas tecnologias limpas na produção, a exemplo dos biodigestores.

Tarifa de carbono

A tarifa de carbono é um instrumento econômico que visa diminuir gradativamente as emissões de gases (Brasil, 2016a). Com isso, o uso dessa taxa acaba por provocar um desincentivo monetário à emissão de carbono. O valor de imposto cobrado é calculado com base na quantidade de combustíveis extraídos da terra e colocados no fluxo comercial, ficando os processadores livres para repassarem o custo na medida em que houver adaptação do mercado (What's..., 2016). Alguns países já praticam a cobrança da tarifa de carbono. A nação pioneira foi a Irlanda. Entretanto, o país com implementação de maior sucesso foi o Reino Unido.

No Reino Unido, a cobrança é realizada desde 2013, dessa maneira, o imposto funciona como uma espécie de *preço mínimo* pago pelos emissores de CO₂. Assim, sempre que o preço de carbono em emissões é mais do que o mínimo estipulado, paga-se a somatória do mínimo e do equivalente à essa diferença representada pelo excedente ao governo local. A taxa cobrada em 2016 foi de €18 por tonelada métrica de CO₂, o que no Brasil equivale hoje à aproximadamente R\$ 72 por tonelada (Where..., 2016). Outro instrumento econômico que pode auxiliar no cumprimento das metas brasileiras é o uso de biodigestores na produção de carne suína.

Biodigestores

O manejo adotado em mais de 95% dos sistemas brasileiros de confinamento de suínos constitui-se no depósito de dejetos em esterqueiras.¹¹ Esse manejo é extremamente prejudicial ao meio ambiente, pois durante esse armazenamento os dejetos dos animais emitem elevada quantidade de metano (CH₄) e amônia (NH₃) que, uma vez aplicados ao solo, aumentam também a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e de óxido nitroso (N₂O) na atmosfera. Assim, uma alternativa para estabilizar e, inclusive, auxiliar na diminuição de emissões de GEE pela produção de suínos é a instalação de biodigestores na produção (Embrapa, 2015).

Os biodigestores são utilizados na produção do biogás. Este, por sua vez, é uma mistura gasosa, composta por metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂), que frequentemente é utilizado na geração de energia elétrica. Essa energia obtida por meio da queima do biogás é considerada fonte de energia limpa, podendo ser reaproveitada no próprio ciclo de produção (Andreazzi, Santos e Lazaretti, 2015). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2015), um biodigestor com tempo de retenção hidráulica de 30 dias (mais utilizado no Brasil) emite 84% menos GEE do que uma esterqueira (depósito de dejetos brutos padrão). E, quando se considera apenas a queima do metano (CH₄), a produção lança na atmosfera 53% menos de GEE.

11. Local onde se acumula, prepara e fermenta o esterco ou estrume de animais (Embrapa, 2015).

TABELA 3
Capacidade do biodigestor e estimativa da produção de biogás para suínos

Animais	Capacidade do biodigestor (m ³)	Produção de biogás (m ³ /dia)
20	6,44	7,12
40	12,88	14,24
60	19,32	21,36
80	25,76	28,48
120	32,20	35,60

Fonte: Calza *et al.* (2015).
Elaboração dos autores.

Segundo Fonseca, Araújo e Hengdes (2009), a estimativa de produção diária de biogás para os suínos corresponde a 0,356 m³/animal. Assim, unindo o volume produzido e o poder calorífico do biogás (5,5 kWh/m³), é possível calcular a quantidade de energia a ser produzida anualmente. Os cálculos a seguir consideram o custo anual dos biodigestores, com taxa de juros a 10% a.a., vida útil das máquinas de 20 anos e custos de manutenção e operação de 5% a.a. Dessa maneira, verifica-se o custo total da energia produzida para cada tipo de biodigestor em relação aos suínos. As quantidades de dejetos produzidas pelos suínos relacionam-se diretamente com a produção de biogás. Por meio da tabela 3, percebe-se que a produção de biogás aumenta cerca de 2 m³ em relação à capacidade do biodigestor quando a quantidade de suínos é pequena, porém há uma tendência de elevação proporcional vista entre as quantidades de 80 e 120.

Existem três tipos de biodigestores atualmente em uso, a saber: o indiano, o chinês e o canadense (Lucas Júnior, Souza e Lopes, 2003). A partir da tabela 4, corrobora-se que o biodigestor de modelo canadense é o que apresenta uma capacidade de atendimento a suínos mais elevada proporcionalmente em relação ao custo, além de ser o modelo mais moderno entre os três. Esses resultados, combinados com a facilidade de adaptação tanto em pequenas como em grandes produções, justificam a preferência dos produtores pela utilização desse modelo.

TABELA 4
Custo de construção e custo total anualizado para construção e instalação de biodigestores, por modelo, para diferentes capacidades

Capacidade do biodigestor (m ³)	Modelo indiano		Modelo chinês		Modelo canadense	
	Custo total anualizado (R\$)	Custo de construção (R\$)	Custo total anualizado (R\$)	Custo de construção (R\$)	Custo total anualizado (R\$)	Custo de construção (R\$)
20	1.796,60	5.065,70	1.437,30	4.052,50	746,20	2.104,00
40	2.517,80	7.099,30	2.014,00	5.679,40	1.121,80	3.162,00
60	3.348,00	9.440,20	2.678,40	7.552,10	1.485,70	4.188,00
80	4.068,30	11.470,90	3.254,60	9.176,70	1.849,60	5.214,00
100	4.428,40	12.486,30	3.830,80	10.801,40	2.213,40	6.240,00
120	5.028,60	14.178,60	4.407,00	12.426,00	2.577,30	7.266,00

Fonte: Calza *et al.* (2015).
 Elaboração dos autores.

Todavia, no Brasil, até o surgimento do modelo canadense, o mais utilizado foi o biodigestor indiano, devido à sua maior funcionalidade, o qual se ajustava facilmente ao tipo de solo e de clima local, e pela facilidade de construção em relação ao modelo chinês, apesar do maior custo em relação a este (Nishimura, 2009).

O Brasil possui uma capacidade renovável já instalada acumulada para geração de bioenergia de 11,5%, o que o deixa atrás apenas dos Estados Unidos, com 12,7% (Irena, 2015). Conforme o Ministério de Minas e Energia – MME (Brasil, 2017a), a produção de bioenergia do país em 2016 passou a ser a segunda fonte de geração de energia mais importante da matriz energética nacional, com 8% de representatividade. E, quando se trata da utilização de biodigestores, o país conta com 140 instalados, segundo o Ministério das Cidades (Brasil, 2016b). Hoje, 36,42% do total de biodigestores em operação no Brasil é destinado à suinocultura, e gera um total de energia de 459.518,65 m³/dia, 71,26% da qual se destina à energia elétrica.¹²

3 METODOLOGIA

Para analisar os possíveis efeitos do Acordo de Paris no setor de carne suína, é utilizado um modelo de equilíbrio parcial formulado com um PCM. Esse modelo considera as funções de oferta e demanda para a carne suína em cada região, os custos de transporte, a presença de barreiras ao comércio e outros custos comerciais. Como resultado são estimados as quantidades produzidas e consumidas, os fluxos comerciais e os níveis de preços em equilíbrio que devem reproduzir o comportamento observado nos mercados analisados.

12. Cibiogás: MapBiogás – Um retrato do biogás no Brasil. Disponível em: <<https://bit.ly/3MktKmy>>. Acesso em: 18 maio 2018.

O PCM consiste em um sistema de equações simultâneas (lineares ou não) apresentadas na forma de desigualdades e derivadas das funções de oferta e demanda dos produtos considerados em cada uma das regiões analisadas. Esse modelo é equivalente às condições de Karush-Kuhn-Tucker (KKT)¹³ do problema de maximização da função *Net Social Pay-off* (NSP),¹⁴ necessárias e suficientes para atingir um ponto de máximo do valor da função NSP, o que, por sua vez, implica a obtenção do equilíbrio em todos os mercados e em todas as regiões (Rutherford, 1995; Ferris e Munson, 2000; Bishop, Nicholson e Pratt, 2001; Caetani e Alvim, 2020).

O modelo de equilíbrio parcial formulado com um PCM tem vantagem em relação aos demais modelos de equilíbrio parcial, pois permite a incorporação de tarifas, quotas-tarifárias e subsídios com maior facilidade. Além disso, possui algumas vantagens em relação aos modelos de equilíbrio geral computável (iCGE) por permitir uma análise mais detalhada de setores específicos em termos de produção, consumo e preços. Ademais, os modelos de equilíbrio parcial também permitem analisar as mudanças em termos de custos comerciais, excedentes do produtor e do consumidor e emissões de gases.

O conjunto das equações (1), (2) e (3) corresponde ao PCM e representa as condições que permitem obter os preços (preço-sombra), as quantidades produzidas e consumidas e os fluxos comerciais entre as regiões, já incluindo as tarifas e subsídios para cada região “*i*”.

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

$$\lambda_j \geq 0, \left(q_j^d - \sum_i X_{i,j} \right) \cdot \lambda_j = 0, \forall i, j \text{ e} \quad (2)$$

$$X_{i,j} \geq 0, \left(\lambda_j - (\varphi_i - S_i + t_{i,j}) \cdot (1 + tar_{i,j}) \right) \cdot X_{i,j} = 0, \forall i, j. \quad (3)$$

Na equação (1), φ_i é o preço-sombra na região produtora *i* e uma variável complementar na expressão que restringe a soma das exportações da *i*-ésima região para a *j*-ésima região ($X_{i,j}$) ao total produzido na região *i* (q_i^s). Nesse caso, sempre que o preço-sombra da região produtora *i* for maior que zero, o termo entre parênteses na equação (1) deve ser igual a zero. Consequentemente, a soma dos fluxos comerciais da região *i* para todas as regiões (inclusive para ela própria, ou seja, produção para consumo na região mais as exportações) deve ser igual à quantidade produzida na região.

13. As condições de KKT, também conhecidas como condições de Kuhn-Tucker (KT), são as condições de primeira ordem necessárias para que uma solução de um modelo não linear seja ótima, desde que algumas restrições sejam satisfeitas (Chiang e Wainwright, 2005a).

14. Samuelson (1952) demonstra que o equilíbrio de mercado pode ser obtido a partir da maximização da função de NSP, equivalente à soma dos excedentes dos produtores e dos consumidores.

A equação (2) tem igual interpretação à da equação (1), porém a variável responsável pela restrição da soma das importações de determinada região j advinda da região i ($X_{i,j}$) ao total consumido na mesma região j (q_j^d), é λ_j . Já a equação (3) determina os fluxos comerciais considerando custos de transporte ($t_{i,j}$), subsídios (S_j) e tarifas ($tar_{i,j}$) entre as regiões. Essa equação estabelece, no caso em que os fluxos comerciais de uma determinada região i para uma região j sejam maiores do que zero, que o preço do produto na região consumidora j será resultado da combinação do preço na região produtora i , dos subsídios concedidos, dos custos de transporte da região i para j e da tarifa imposta sobre as importações originárias da região i . Se não houver comércio, é porque o preço internalizado do produto importado é maior do que o preço no mercado doméstico.

Paris, Drogué e Anania (2011) propõem um método de calibração e validação dos resultados que permite a convergência das equações (1), (2) e (3), incluindo uma equação adicional para estimar os custos das transações comerciais e assim permitir o fechamento do modelo. Esse método consiste em duas etapas: na primeira são estimados, além dos preços, das quantidades ofertadas, das demandadas e dos fluxos comerciais, os valores dos custos de transação comercial; na segunda etapa, esses custos calculados são incluídos como variáveis exógenas para permitir o fechamento do modelo no cenário-base.

3.1 Custos de transações comerciais no modelo PCM

O método de Paris, Drogué e Anania (2011), baseado em Samuelson (1952) e Takayama e Judge (1964; 1971), torna possível adicionar uma variável de ajuste aos problemas de programação matemática, viabilizando a calibração e o fechamento do modelo. De acordo com os autores, as especificações dos modelos exibem diferenças entre os resultados estimados e os dados observados de oferta, demanda e fluxo de comércio entre os países. Tais diferenças podem ser atribuídas à imprecisão dos custos que ocorrem nas transações comerciais, nas medidas dos parâmetros das funções de oferta e demanda, ou por ambos os motivos. A utilização do modelo sem a correção de tais diferenças pode resultar avaliações distorcidas de políticas.

O modelo desenvolvido por Paris, Drogué e Anania (2011) é adaptado ao PCM por Caetani e Alvim (2020). Originalmente a partir de uma formulação primal-dual, as estimativas são adaptadas ao modelo de equilíbrio parcial formulado com um PCM por meio de duas fases: na primeira fase, são estimados os custos das transações comerciais,¹⁵ as quantidades e os preços de oferta e de demanda, as quantidades do fluxo comercial e os custos de transporte.

15. A variável custo de transações comerciais inclui todos os custos de comercialização existentes entre duas regiões menos os custos de transporte e tarifários. Por exemplo, incluem outros custos, como resultado de corrupção, burocracia, contrabando, perdas de mercadorias, ineficiência no sistema de logística, custos de crédito e subsídios não declarados.

A variável custos das transações comerciais entre a região produtora i e consumidora j é endógena ao modelo e é definida como $\gamma_{i,j}$. A expressão matemática do PCM na primeira fase,¹⁶ para a obtenção da variável de custos das transações comerciais, é dada por:

$$\sum_j^J X_{i,j} \leq q_i^s \quad \varphi_i \geq 0 \quad [q_i^s - \sum_j^J X_{i,j}] \varphi_i = 0, \quad (4)$$

$$q_j^d \leq \sum_i^I X_{i,j} \quad \lambda_j \geq 0 \quad [\sum_i^I X_{i,j} - q_j^d] \lambda_j = 0, \quad (5)$$

$$X_{i,j} = \bar{X}_{i,j} \quad \gamma_{i,j} = \text{livre} \quad [X_{i,j} - \bar{X}_{i,j}] \gamma_{i,j} = 0 \quad e \quad (6)$$

$$\lambda_j \leq \varphi_i + t_{i,j} + \gamma_{i,j} \quad X_{i,j} \geq 0 \quad (\gamma_{i,j} + (t_{i,j} + \varphi_i)(1 + \text{tar}_{i,j}) + S_i - \lambda_j) X_{i,j} = 0. \quad (7)$$

A equação (4) demonstra que, quando o preço de mercado ao produtor, que é representado pelo preço-sombra φ_i , for igual a zero, a soma total comercializada do país i para o país j será menor que a quantidade ofertada pelo país i . Entretanto, se o preço que os produtores desejam receber for maior do que zero, então o volume total comercializado do país i para o país j será igual à quantidade ofertada no país i . De acordo com a equação (5), quando o preço de mercado ao consumidor, representado pelo preço-sombra λ_j , for igual a zero, a soma total comercializada do país i para o país j será maior que a quantidade demandada pelo país j . Porém, se o preço que os consumidores desejam pagar for maior do que zero, então o volume total comercializado do país i para o país j será igual à quantidade demandada no país j . A equação (6) representa o fluxo do comércio entre as regiões i e j , dado pela relação de igualdade entre o fluxo observado e o fluxo estimado. Essa é a parte do sistema de equações que permite estimar uma medida para os custos das transações ($\gamma_{i,j}$).

A equação (7) determina os fluxos comerciais entre as regiões associando aos diferenciais de preços e levando em consideração os custos de transporte, os subsídios, as tarifas e os custos das transações comerciais. Essa equação implica, no caso em que os fluxos comerciais de uma determinada região i para uma região j sejam maiores do que zero, que o preço do produto na região consumidora j será resultado da combinação do preço na região produtora i , subsídios concedidos, custos de transporte da região i para j , custos de transação comercial e tarifa imposta sobre as importações originárias da região i .

A variável custos das transações comerciais é a única no modelo que pode assumir valores positivos ou negativos (livre). Os valores negativos podem ocorrer, de acordo com Paris, Drogué e Anania (2011), devido ao efeito de políticas de comércio, como, por exemplo, os subsídios, que, quando são mais elevados que

16. A primeira fase é apresentada detalhadamente e no formato da programação do Gams no anexo C.

os custos das transações comerciais, tornam essa variável negativa. As variáveis positivas são condicionadas por inequações e as variáveis livres, por equações, conforme Ferris e Munson (2000).

A condição de complementaridade dada pela equação (7) determina que o preço de mercado da região de demanda j (λ_j) deve ser menor que o preço de oferta da região i (φ_i) acrescido dos custos de levar a mercadoria até a região de demanda (t_{ij}), dos custos das transações comerciais ($\gamma_{i,j}$), dos subsídios e do percentual de tarifa correspondente ao produto, que depende das políticas de cada país. Se essa soma ultrapassar o preço de mercado da região j , o fluxo comercial do produto da região de oferta i para a região de demanda j não se efetivará. Assim, a condição na qual a soma dos preços e dos custos ultrapassa a disposição a pagar do consumidor deve levar a uma tendência de redução do comércio, ou seja, custos excessivamente altos podem restringir o fluxo comercial entre as regiões e/ou países.

Na segunda fase do problema,¹⁷ a variável dos custos das transações comerciais gerados na primeira fase é introduzida no modelo. Nessa fase, essa variável é considerada exógena. Desse modo, são estimadas as quantidades e os preços de oferta e de demanda, ou seja, a quantidade de fluxo comercial passa a ser variável endógena. As expressões matemáticas do PCM na segunda fase são idênticas às da primeira fase, à exceção da equação (7), a qual passa a ser substituída pela (8), pois agora $\gamma_{i,j}$ passa a ser exógeno $\hat{\gamma}_{i,j}$:

$$\lambda_j \leq \varphi_i + t_{i,j} + \gamma_{i,j} \quad X_{i,j} \geq 0 \quad (\hat{\gamma}_{i,j} + (t_{i,j} + \varphi_i)(1 + \text{tar}_{i,j}) + S_i - \lambda_j)X_{i,j} = 0. \quad (8)$$

A solução ótima é obtida a partir da convergência das equações complementares (4), (5) e (8) nessa segunda fase. A partir dos resultados obtidos nessa fase, podem ser criados o cenário-base e os alternativos.

3.2 Descrição do cenário-base e dos alternativos

No cenário-base, está presente a atual configuração das políticas internacionais e brasileiras. As políticas internacionais para o comércio são representadas pelo atual grau de proteção comercial e pelos fluxos de comércio entre o Brasil e os principais parceiros. Já o acordo ambiental é representado pela principal iniciativa multilateral, o Acordo de Paris para mudanças climáticas (figura 1).

Em termos de políticas nacionais, o cenário base é caracterizado pelas políticas associadas as atividades agrícolas: a política ambiental e agrícola. Em termos de política ambiental brasileira o principal instrumento utilizado são os de comando e controle que são representados pela atual legislação ambiental brasileira (figura 1). Especificamente tem-se como exemplo o Plano Nacional de Controle e Prevenção

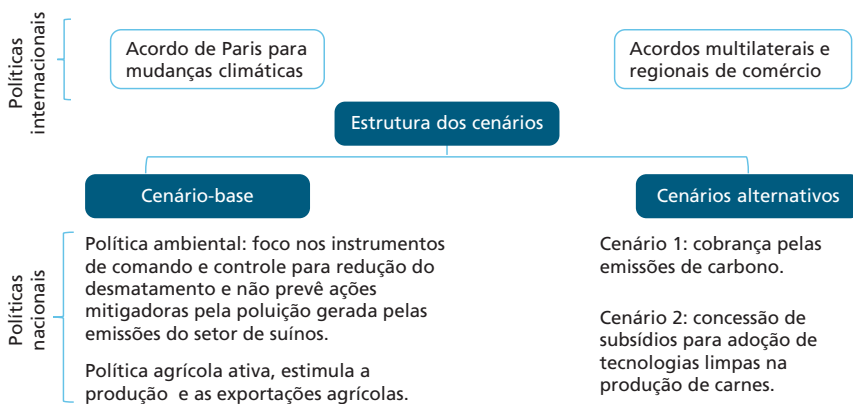
17. A segunda fase é apresentada detalhadamente e no formato da programação do Gams no anexo D.

do Desmatamento, o Plano ABC para agricultura de baixa emissão de carbono e os incentivos à produção de biocombustíveis (Brasil, 2004; 2010).

O Brasil possui uma política agrícola consolidada que tem por objetivo aumentar continuamente a produtividade, a produção e as exportações agrícolas. Para isso o Brasil utiliza uma política de apoio com crédito rural, preços mínimos e taxa de juros abaixo da média de mercado (subsídio). Como resultado dessa política, a produção e as exportações de carne suína cresceram nos últimos anos, entre 2010 e 2019, cerca de 2% e 7%, respectivamente (ABPA, 2020).

FIGURA 1

Estrutura do cenário-base e dos alternativos para o setor de carne suína



Elaboração dos autores.

A partir do cenário-base, são simulados dois desdobramentos: o primeiro cenário alternativo propõe a cobrança de uma tarifa aos produtores de suínos pelas emissões de GEE; no segundo, é simulada a concessão de subsídios para adoção de tecnologias limpas na produção de carne suína, concedendo uma renda adicional aos produtores que utilizem biodigestores. Para ambos cenários se propõe uma política ambiental diferenciada, com o uso de instrumentos econômicos aplicados ao setor de carne suína brasileiro.

Os dois cenários também permitem analisar a relação entre a produção, o consumo e o fluxo comercial de carnes entre o Brasil e seus parceiros. A partir disso, torna-se possível avaliar os benefícios de cada cenário em termos econômicos e ambientais, considerando a redução potencial nas emissões de GEE no contexto do Acordo de Paris.

No primeiro cenário, a simulação é feita a partir de imposição da tarifa na produção de carne suína no Brasil, o que provoca um desincentivo à emissão de gases de efeito estufa. Nesse cenário, o valor do choque equivale à precificação das emissões de GEE e é calculado como a razão percentual entre o valor das emissões de carbono

(toneladas de emissões de carbono multiplicadas pelo preço das emissões de carbono por tonelada) e o valor de produção de cada setor. As emissões totais são estimadas a partir do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).¹⁸ Os preços para emissões de carbono é R\$ 72,00/t de CO₂ ou €18/t de CO₂ como observado no estudo Carbon Tax Center (Where..., 2016). Já o valor de produção de cada setor analisado foi obtido a partir da base de dados da FAO.¹⁹ Por fim, a tarifa aplicada ao setor de carne suína brasileira é de 0,021 reais/kg, simulando no cenário 1 os efeitos dessa cobrança sobre a produção, o consumo, os preços e os fluxos comerciais nas diversas regiões consideradas.

O segundo cenário é simulado considerando a receita adicional potencial gerada a partir da produção de biogás com o uso de biodigestores por parte dos produtores brasileiros de carne suína. O uso de biodigestores permite reduzir as emissões de gases oriundas dos dejetos animais e produzir o biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia elétrica. Essa geração de energia elétrica e a renda adicional do biogás, por sua vez, são calculadas conforme Noronha *et al.* (2009). Para calcular essa receita adicional é considerado um biodigestor tipo canadense dimensionado para 60 animais, com uma média de 100 kg (com capacidade de produzir 20 m³/dia).

A partir das informações da tabela 4 é possível identificar o custo anualizado (taxa de juros a 10% a.a., vida útil 20 anos e custos de manutenção/operação 5% a.a.) de R\$ 746,20 por ano para um biodigestor. O próximo passo foi calcular o custo total considerando que todos os produtores brasileiros utilizassem esta tecnologia, ou seja, que a toda a produção de esterco dos animais fosse aproveitada e utilizada em biodigestores. De um total de 39.225.283 suínos (FAO, 2018), o custo estimado total anualizado é de R\$ 487.831.770, com uma produção de biogás equivalente a 5.027.112.269 m³/ano.²⁰ Considerando o preço do m³ do gás natural canalizado de 0,1 R\$/m³ (Brasil, 2018b), o valor da produção de biogás equivalente é de 502.711.227 R\$/m³. Como resultado, a renda líquida adicional total com a implantação dos biodigestores é de R\$ 14.879.457, ou seja, uma renda adicional de 0,379 reais/kg de carne suína.

3.3 Fonte dos dados

As regiões escolhidas para análise do mercado de carne suína foram selecionadas com base em dois aspectos: a relevância em termos de produção e os principais parceiros comerciais do Brasil. Além do Brasil, são analisados os mercados da Argentina, dos Estados Unidos, da União Europeia, da China e do Resto do Mundo.

18. Disponível em: <<https://bit.ly/3aw9Asw>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

19. Disponível em: <<https://bit.ly/3MIZg3l>>. Acesso em: 20 set. 2018

20. A produção de biogás para 60 suínos é 7689,6 m³/ano (calculada a partir da tabela 3).

As quantidades produzidas e consumidas foram obtidas para cada região por meio do UN Comtrade²¹ e as quantidades exportadas e importadas, a partir da OECD.²² Neste artigo, utiliza-se a média de 2014, 2015 e 2016 para a produção, o consumo e os fluxos de comércio, de maneira a minimizar os efeitos de variações esporádicas devido a choques de oferta e de demanda não permanentes.

As tarifas de importação foram obtidas a partir da base de dados da WTO.²³ Já os fretes marítimos entre as regiões selecionadas foram obtidos do World Freight Rates,²⁴ para o transporte de carne suína em *containers* de 40 pt. As elasticidades²⁵ de oferta e de demanda foram adquiridas na Food and Agricultural Policy Research Institute (Fapri).²⁶ Por fim, as informações referentes à produção de biogás para o ano de 2016 têm como base de dados o Cibiogás.²⁷

As simulações foram realizadas com o uso do General Algebraic Modelling System (Gams), por meio do solver “*Path*”. A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos, inicialmente com a apresentação da calibração do cenário-base e a aderência desse aos valores observados nos diversos mercados de carne suína. Na sequência, são analisados os cenários alternativos e as principais mudanças em termos de produção, consumo e preços de carne suína.

4 RESULTADOS

4.1 Calibração do modelo

Com o intuito de corrigir possíveis distorções entre os dados observados (reais) e os estimados, foi realizada a calibração do modelo. Para tal, foram calculados, na primeira fase, com base em informações reais, os custos de transações comerciais (de maneira agregada), juntamente com os preços de equilíbrio do mercado – preço-sombra (Paris *et al.*, 2011).

Os valores estimados equivalem à realidade e, portanto, confirmam a adequação dos coeficientes e da estrutura do modelo, conforme visto na tabela 6. Assim, constatou-se que, em relação às variáveis produção, consumo, preços e exportação, o modelo estimado representa devidamente o mercado internacional de carne suína no período selecionado, considerando os países parceiros destacados. Os custos

21. Disponível em: <<https://bit.ly/3GPTwCJ>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

22. Disponível em: <<https://bit.ly/3NIG9b5>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

23. Disponível em: <<http://stats.wto.org/>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

24. Calculadora de fretes. Disponível em: <<https://bit.ly/3NqhVwc>>. Acesso em: 4 set. 2018.

25. Os coeficientes de elasticidade são incluídos nas restrições das equações (4) e (5) para substituir as quantidades produzidas e consumidas pelas seguintes expressões: $q_i^s = a_i p_i^{d_i}$ e $q_j^d = c_j p_j^{d_j}$.

26. Elasticity Database. Disponível em: <<https://bit.ly/3Q4IMzA>>. Acesso em: 2 dez. 2018.

27. BiogasMap. Disponível em: <<https://bit.ly/3x5JmER>>. Acesso em: 18 maio 2018; MapBiogás. Disponível em: <<https://bit.ly/3MktKmy>>. Acesso em: 18 maio 2018.

de transações comerciais mencionados anteriormente encontram-se ordenados decrescentemente por valor na tabela 5.

Os maiores custos de transações ocorrem quando Argentina e Brasil relacionam-se com o Resto do Mundo (US\$ 373 e US\$ 337) e a China (US\$ 336 e US\$ 307), e os menores quando comercializam com a União Europeia, onde possuem respectivamente US\$ 60 e US\$ 35. Já os menores custos encontrados foram para a União Europeia. Reforça-se que esses custos de transação comercial (custos não observados) são calculados na primeira fase do modelo, diferentemente das tarifas, dos fretes etc.

TABELA 5

Custos das transações comerciais no mercado internacional de carne suína para as regiões selecionadas – Média (2014-2016)

Países		Custo das transações	Países		Custo das transações
Exportador	Importador	US\$/t.	Exportador	Importador	US\$/t.
Argentina	Resto do Mundo	373	União Europeia	Resto do Mundo	219
Argentina	China	337	Estados Unidos	China	215
Brasil	Resto do Mundo	336	União Europeia	China	102
Brasil	China	307	Argentina	União Europeia	60
Estados Unidos	Resto do Mundo	296	Brasil	União Europeia	35

Elaboração dos autores.

Obs.: Estimativas geradas pelo modelo PCM – Gams.

Os custos de transações são fundamentais para realização do melhor ajuste do cenário-base (estimado) em relação aos valores observados para as variáveis utilizadas na pesquisa, pois auxiliam favoravelmente no fechamento do modelo. Em seguida, são apresentados o cenário-base e os alternativos.

4.2 Cenário-base e cenários alternativos

Para a construção dos cenários, utilizaram-se as mesmas variáveis já apresentadas. O cenário-base é utilizado como referência para os cenários alternativos e é gerado a partir dos resultados da segunda fase do modelo. Esses resultados são convalidados por meio da comparação com aqueles obtidos na primeira fase. Utilizou-se o documento de análise confeccionado por Observatório do Clima e Imafora (2018) para investigação dos resultados em relação às metas brasileiras do Acordo de Paris. A tabela 6 apresenta as quantidades (oferta e demanda) e os preços após a realização da referida calibração, com inclusão dos custos de transações comerciais expostos na tabela 5.

Os percentuais expressos na tabela 6 indicam que os preços e os valores de oferta e demanda praticamente não tiveram alterações em relação aos estimados na primeira fase. Por isso, confirma-se que esses valores (cenário-base) podem ser utilizados como referência para comparação com os cenários alternativos. Atentando-se aos preços, vê-se que Argentina e Brasil detêm os menores valores, o que se justifica pelo baixo custo de produção encontrado nesses países. Segundo a Embrapa,²⁸ em 2016 o custo brasileiro foi de 246,70 R\$/t., atrás apenas dos Estados Unidos (1,81% mais barato), devido a um aumento no custo da ração no país ocorrido no referido ano (o aumento deveu-se à crise do milho). Além disso, outros elementos contribuem para a baixa precificação, como o clima tropical, o baixo custo da mão de obra, a capacitação para o manejo e sua própria extensão territorial e elevada capacidade produtiva de grãos, como a soja, que serve de alimento para os animais (Moreira, Fehr e Duarte, 2017).

TABELA 6

Valores estimados (primeira fase) e o cenário-base para quantidades e preços no mercado internacional de carne suína – Média (2014-2016)

Países	Oferta			Demanda			Preços		
	1ª fase	Cenário-base	Diferença	1ª fase	Cenário-base	Diferença	1ª fase	Cenário-base	Diferença
	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	%	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	%	US\$/t.	US\$/t.	%
Argentina	464,54	464,55	0,00	488,05	488,07	0,00	1.720	1.720	0,00
Brasil	3.678,07	3.678,27	0,01	3.114,59	3.114,67	0,00	1.760	1.760	0,00
Estados Unidos	10.776,07	10.776,06	0,00	9.155,92	9.155,95	0,00	1.880	1.880	0,00
União Europeia	23.344,88	23.346,64	0,01	21.010,00	21.010,98	0,00	1.990	1.990	0,00
China	53.470,92	53.470,07	0,00	54.440,85	54.441,02	0,00	2.740	2.740	0,00
Resto do Mundo	24.762,00	24.761,03	0,00	28.285,99	28.285,94	0,00	2.970	2.970	0,00

Elaboração dos autores.

Obs.: Estimativas geradas pelo modelo PCM – Gams.

Com a crise financeira argentina, a população passou a apreciar e consumir em maior quantidade a carne suína, uma vez que, além das propriedades nutricionais, o preço do produto destacava-se em relação aos demais tipos de carne. Além disso, a Argentina possui condições geográficas e climáticas favoráveis (a exemplo do Brasil) para produção do produto, inclusive é uma região considerada como *livre de febre aftosa* desde 2006. Essas questões, juntamente com a elevação na quantidade de frigoríficos em operação no país, serviram de impulso para que em 2016 o principal

28. Embrapa Suínos e aves – Central de Inteligência de Aves e Suínos: estatísticas. Disponível em: <<https://bit.ly/3mk5yWA>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

parceiro brasileiro do Mercosul aumentasse sua produção de suínos e buscase a retomada de suas exportações. Atualmente, o país possui acordos de importação do produto com o Brasil e os Estados Unidos (De Zen, 2017). As condições climáticas desfavoráveis chinesas (calor extremo, que dificulta o controle das temperaturas nos galpões pelos agricultores, o que resulta em um maior número de venda desses animais e, conseqüentemente, uma menor quantidade de abate) e sua alta demanda por carne suína justificam o fato de seu preço ser aproximadamente 56% superior ao brasileiro. Já os mercados dos Estados Unidos e da União Europeia têm grande proteção (barreiras tarifárias e não tarifárias), e conseqüentemente, níveis de importação bastante baixos, 9,46% e 3,12%, respectivamente. Assim, apesar de possuírem baixos custos de produção, a elevada incidência de medidas protetivas faz que seus preços atinjam patamares medianos (Guimarães *et al.*, 2017).

O primeiro cenário alternativo, retratado no anexo A, simula a imposição para os produtores brasileiros de uma tarifa de R\$/kg 0,021. Com essa imposição, apesar de os importadores (Argentina, China e Resto do Mundo) e exportadores (Brasil, Estados Unidos e União Europeia) líquidos permanecerem os mesmos em relação ao cenário-base, os fluxos comerciais entre as regiões alteraram-se. Assim, no que se refere à produção mundial dos países parceiros do Brasil, as perdas dos consumidores são compensadas pelos ganhos dos produtores, e seus preços de oferta e demanda elevam-se em média 0,1%. Quanto às relações de comércio, a Argentina continua a não realizar exportações, porém importa dos Estados Unidos exatamente a quantidade que antes era negociada com o Brasil (contudo, antes não havia cobrança de tarifas). Os Estados Unidos, que exportavam para a China e o Resto do Mundo e importavam da União Europeia e do Resto do Mundo, agora comercializam apenas para Argentina e União Europeia. Destaca-se que as negociações, antes não existentes entre Estados Unidos e União Europeia, agora são bastante significativas (quase 100% das exportações dos Estados Unidos são destinadas à União Europeia, e o contrário corresponde a 40%). A China também passou a negociar com a União Europeia o que antes negociava com o Resto do Mundo, e o Resto do Mundo agora consome tudo o que produz.

A produção brasileira diminuiu 1,53% e os preços de oferta reduziram em 4,32%, enquanto a demanda e o seu respectivo preço quase não sofreram alterações, o que indica que o cenário favorece os consumidores e prejudica os produtores. As exportações brasileiras, que antes eram destinadas à Argentina (2,85%), à China (22,75%) e ao Resto do Mundo (74,40%), elevaram-se e passaram a destinar-se totalmente à China. Devido à elevação dos preços de oferta dos países parceiros e da queda do preço brasileiro, o país destinou sua produção ao consumo chinês, que possui um preço de demanda cerca de 36% superior ao seu e menor exigência sanitária, com vistas a maiores ganhos. Já as importações foram realizadas da União Europeia, fato que gerou um ganho para o Brasil de US\$ 4,5 milhões.

Observa-se que, dos 499 MtCO₂ emitidos pela agropecuária em 2016, 2% advêm dos suínos. Comparando-se com as metas brasileiras, se implementada a cobrança da tarifa, haveria uma redução das emissões de GEE no setor de suínos de aproximadamente 14%, até 2025, e 21%, até 2030, o que representaria uma diminuição de aproximadamente 2% (até 2025) e 3% (até 2030) nas emissões totais da agropecuária, em referência a 2016. Entretanto, mesmo com essa redução, com base em um crescimento anual de 3,5% das emissões do setor (Observatório do Clima, 2018), as emissões da agropecuária alcançariam 646,21 MtCO₂ e 738,52 MtCO₂, respectivamente em 2025 e 2030, superior 37% à meta prevista pelo Brasil no Acordo de Paris para 2025 (470 MtCO₂) e 51% em 2030 (489 MtCO₂). Assim, os resultados apontados pelo cenário apresentam pouca variação nas quantidades produzidas, e não demonstram, pois indícios relevantes em relação a uma possível diminuição da emissão de CO₂ por parte da produção de suínos no Brasil. Indica-se, portanto, que apenas a imposição da tarifa de carbono no setor de carne suína no país não é suficientemente eficaz no combate à emissão de GEE.

No segundo cenário, ocorre a concessão de um subsídio, derivado da renda adicional obtida por utilização de biodigestor na produção de suínos brasileira. Essa renda tem o valor de R\$/kg 0,379. Os resultados dessa simulação são vistos no anexo B, no qual os países parceiros do Brasil possuem perdas na oferta, que são parcialmente compensadas pela demanda. Entretanto, destaca-se que há diminuição tanto nos preços de oferta (com exceção do Brasil) quanto nos preços de demanda. Em relação aos fluxos comerciais, é importante apontar que, apesar das alterações existentes em comparação ao cenário-base e ao primeiro cenário, os importadores e exportadores líquidos são os mesmos.

Ainda sobre os novos fluxos comerciais, destaca-se a expansão das exportações da União Europeia para os Estados Unidos, além da grande participação da China em importações e exportações. Argentina, Estados Unidos, União Europeia e Brasil negociam com a China com vistas a atingir maiores ganhos ao final das transações, uma vez que, mesmo diminuindo, o preço Chinês ainda é maior que o preço de ambos os parceiros do Mercosul bem como dos Estados Unidos e da União Europeia. Essa estratégia mostra-se interessante, principalmente pelo lado brasileiro, pois há grande aumento de seu preço de oferta (aproximadamente 60%). O mesmo aumento, porém, não é acompanhado pelo preço da demanda. Assim, garantir ganhos na exportação pode compensar as perdas internamente.

Destaca-se que os consumidores brasileiros não sofrem perdas nesse cenário, uma vez que há um pequeno aumento na demanda e a redução ocorrida no preço de demanda acompanha a diminuição mundial média de 1,4%. Entretanto, seu preço de oferta aumenta consideravelmente, em função não só da elevação da quantidade produzida em 18%, mas também dos custos com a implantação dos biodigestores, ficando 70% mais alto do que o obtido no cenário-base.

Apesar de o primeiro cenário ser mais favorável aos países parceiros do Brasil, para os produtores brasileiros a implementação de biodigestores mostra-se melhor em relação ao cenário que considera a aplicação da tarifa quando o objetivo é a redução de emissões de GEE. Com a utilização dos biodigestores há uma redução nas emissões de GEE no setor de suínos de 18%, até 2025, e 28%, até 2030, o que, conseqüentemente, ocasionaria diminuição nas emissões da agropecuária de 6%, até 2025, e 9%, até 2030, em relação ao nível de 2016. Assim, o valor estimado de emissão para 2025 seria de 626,25 MtCO₂ e para 2030, de 698,60 MtCO₂.

Além disso, a geração do biogás contribuiria para o aumento de 10% (44 MtCO₂) na participação de bioenergia na matriz energética do país quando comparada com os valores de 2016. Todavia, se as mudanças ficarem restritas ao setor de carne suína, a meta de elevação da participação em 18% (617 MtCO₂) até 2030 não será alcançada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas pesquisas foram desenvolvidas com o método PCM no intuito de avaliar cenários potenciais do mercado agrícola brasileiro, como Alvim (2003), Alvim e Waquil (2004), Oliveira e Silveira (2014), Bosio (2018) e Caetani e Alvim (2020), entretanto nenhum teve viés voltado à sustentabilidade ou referiu-se ao Acordo de Paris como esta pesquisa. Neste estudo, foram estimados os cenários de cobrança da tarifa de carbono (primeiro) e de concessão de subsídios à utilização de biodigestores na produção (segundo).

Observa-se, em relação ao primeiro cenário alternativo, que os preços de oferta e demanda dos países parceiros do Brasil se elevam em média 0,1% e que as perdas de seus consumidores são compensadas pelos ganhos na produção. Assim, esse cenário é favorável aos países parceiros e consumidores brasileiros e prejudicial aos produtores, uma vez que houve retração de 1,53% e 4,32% na produção e no preço de oferta do país, respectivamente, enquanto a demanda e o seu preço quase não sofreram alterações. As exportações brasileiras aumentaram e passaram a destinar-se totalmente à China, que possui um preço cerca de 36% superior ao seu e menor exigência sanitária.

No que se refere ao Acordo de Paris e às metas brasileiras, a redução no primeiro cenário não é suficiente para cumprir as metas do setor agropecuário de 470 MtCO₂ (2025) e 489 MtCO₂ (2030). Com os resultados obtidos nesse cenário, os percentuais de emissão dos suínos serão reduzidos em 14% (até 2025) e 21% (até 2030), entretanto, mesmo com essa redução, as emissões do setor agropecuário ainda seriam superiores aos percentuais propostos em 37%, em 2025, e 51%, em 2030, que alcançam as respectivas quantidades emitidas de 646,21 MtCO₂ (2025) e 738,52 MtCO₂ (2030). Indica-se, portanto, que apenas a imposição da tarifa de

carbono para a produção de suínos não é suficientemente eficaz para o objetivo proposto, isso considerando um crescimento anual de 3,5% das emissões do setor, conforme dados do Observatório do Clima (2018).

Quanto ao segundo cenário, frisa-se que as perdas na quantidade de oferta existentes para os países parceiros do Brasil são parcialmente compensadas pelos ganhos na demanda. O preço de oferta aumenta em função não só da elevação da quantidade produzida em 18%, mas também dos custos com a implantação dos biodigestores. A redução de emissões brasileiras pode ser maior com a implementação de biodigestores, com uma destinação sustentável a esses resíduos. Desse modo, os resultados do segundo cenário contribuem para uma redução no setor de suínos de 18% (até 2025) e 28% (até 2030), o que, conseqüentemente, resulta em diminuição nas emissões do setor agropecuário, até 2025, de 6% e, até 2030, de 9% em relação à quantidade de 2016. Em 2025, as emissões atingirão 626,25 MtCO₂ e em 2030, 698,60 MtCO₂, o que ainda indicaria percentuais superiores em 32,5% e 42% aos das metas propostas para a agropecuária em 2025 (470 MtCO₂) e 2030 (489 MtCO₂), respectivamente.

Dessa forma, para atingir a meta de emissões brasileira, em 2025, de 1.343 MtCO₂ (37% inferior ao valor de 2005) e, em 2030, de 1.208 MtCO₂ (43% inferior ao valor de 2005), é necessário que os demais setores da agropecuária compensem essa excessiva emissão. Além disso, os biodigestores contribuem para o aumento do percentual de participação de bioenergia na matriz energética do país por meio da geração do biogás. Essa elevação, contudo, não será suficiente para o alcance da meta (aumento de 18% até 2030). Hoje a bioenergia representa 8% (33,84 MtCO₂) da energia gerada pelo setor energético. Com o incremento advindo desse cenário de 44 MtCO₂ até 2030, esse percentual aumentará em 10%, em nível de 2016. Todavia, apesar da contribuição fornecida pelo estudo no âmbito do desenvolvimento sustentável, esse apresentou uma limitação pontual que impossibilitou a introdução de valores referentes aos subsídios nos cenários estudados, pois não foram encontradas bases de dados que dispusessem dessas informações para os mercados dos Estados Unidos e da União Europeia.

Os resultados para o setor de carne suína mostram que as mudanças devem ser ainda mais amplas para garantir o compromisso com as metas brasileiras de redução de emissões. Nesse sentido, a implantação de biodigestores ou a aplicação de tarifas devem ser ampliadas para os demais tipos de carnes, principalmente o setor bovino, que representou 79% das emissões agropecuárias em 2016.

A geração do biogás permite uma produção sustentável não só no setor de carnes, mas também em outras atividades agrícolas que utilizam os dejetos dos animais como adubo orgânico para sua produção. O Plano ABC, criado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, é um exemplo de política que pode estimular

o uso de biodigestores na produção de carnes suínas, mas também na produção de aves e bovinos. O uso dessa tecnologia para outros sistemas produtivos e a sua integração com outras atividades agrícolas devem potencializar os benefícios para o meio ambiente.

Essa integração já é defendida pelo Cibiogás.²⁹ Ela também pode vir a fornecer, inclusive, condições para a criação de uma rotulagem verde, específica para produtores que utilizam biogás, e agregar valor a seus produtos. Esse é um ponto interessante na discussão de um consumo mais sustentável, principalmente no que diz respeito às carnes, uma vez que o uso de biodigestores torna seu processo produtivo menos nocivo à natureza.

REFERÊNCIAS

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Suinocultura: estatísticas do mercado interno – Produção brasileira de carne suína** (mil ton.). São Paulo: ABPA, 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3R48bdh>>. Acesso em: 31 ago. 2020.

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**. 2003. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ALVIM, A. M.; WAQUIL, P. D. O problema de complementaridade mista: um modelo de alocação espacial aplicado ao setor agrícola. *In*: SANTOS, M. L.; VIEIRA, W. C. (Org.). **Métodos quantitativos em economia**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. p. 161-190.

ANDREAZZI, M. A.; SANTOS, J. M. G.; LAZARETTI, R. M. J. Destinação de resíduos da suinocultura em granjas das regiões noroeste e sudoeste do Paraná. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 744-751, set.-dez. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3Mvptgd>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

BISHOP, P. M.; NICHOLSON, C. F.; PRATT, J. E. **Tariff-rate quotas: difficult to model or plain simple**. Wellington: NZIER, 2001. (Discussion Paper, n. 7). Disponível em: <<https://bit.ly/3ub7s08>>.

BOSIO, E. L. **Os efeitos do acordo de associação transpacífico (TPP) e do acordo de parceria transatlântico de comércio e investimento (TTIP) sobre o mercado**

29. MapBiogás. Disponível em: <<https://bit.ly/3MktKmy>>. Acesso em: 18 maio 2018.

internacional de fertilizantes. 2018. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Protocolo de Quioto**. Brasília: MCTI, 2000. Disponível em: <<https://bit.ly/3xgqRi5>>. Acesso em: 26 set. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal**. Brasília: MMA, 2004. Disponível em: <<https://bit.ly/3QXGXFb>>.

_____. **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento – Cerrado**. Brasília: MMA, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/3NsHKv3>>.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano ABC – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. Brasília: Mapa, 2016a. Disponível em: <<https://bit.ly/3tf3ROa>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

_____. Ministério das Cidades. **Iniciativas do Projeto Brasil-Alemanha de fomento ao aproveitamento energético do biogás no Brasil**. Brasília: MDR, 2016b. Disponível em: <<https://bit.ly/3OAinc1>>.

_____. Biomassa é a segunda maior fonte de energia em 2016. **Ministério de Minas e Energia**, 2017a. Disponível em: <<https://bit.ly/3y9lnoM>>. Acesso em: 18 maio 2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Brasília: MMA, 2017b. Disponível em: <<https://bit.ly/3R2UrQf>>. Acesso em: 18 maio 2018.

_____. Saldo comercial do agronegócio alcança US\$ 7,79 bilhões em março. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2018a. Disponível em: <<https://bit.ly/3I5kli4>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural**. Brasília: MME, 2018b. Disponível em: <<https://bit.ly/3xZ9qBW>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

CAETANI, M. I.; ALVIM, A. M. Mercado internacional da soja: modelando os efeitos dos custos das transações e das barreiras comerciais. **Revista Análise Econômica**, v. 38, n. 77, p. 81-108, set. 2020.

CALZA, L. F. *et al.* Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 6, p. 990-997, nov.-dez. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3x6v9Yj>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

CHIANG, A. C.; WAINWRIGHT, K. (Ed.). **Fundamental methods of mathematical economics**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.

COSER, F. J. *et al.* Estrutura de mercado internacional de carne suína e a participação brasileira. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 40, n. 12, p. 14-25, dez. 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/3xiGc1E>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

DE ZEN, S. (Coord.). **Custos trimestrais de suínos**: março 2017, São Paulo, mar. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3ueiBNV>>.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Emissões de GEE**. Brasília: Embrapa, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3nuOMVm>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

FARINA, E.; CONEJERO, M. (Org.). **Mercado de carbono e as “regras do jogo”**. São Paulo: FEA/USP, 2003.

FERRIS, M. C.; MUNSON, T. S. (Ed.). **GAMS/PATH user guide**: version 4.3. Washington: GAMS Development Corporation, 2000.

FONSECA, F. S. T.; ARAÚJO, A. R. A.; HENDGES, T. L. Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas-MA: um estudo de caso. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Anais...** Porto Alegre: Sober, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/3ufSINE>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

GUIMARÃES, D. *et al.* Suinocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES. **Agroindústria**: BNDES Setorial, v. 1, n. 45, p. 85-136, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3GZAzZx>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

HAHN, R. W. The impact of economics on environmental policy. **Journal of Environmental Economics and Management**, San Francisco, v. 39, n. 3, p. 375-399, May 2000.

IMAFLOTA – INSTITUTO DO MANEJO E CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA. **Análise das emissões de GEE no Brasil (1990-2012)**: setor agropecuário. São Paulo: Observatório do Clima, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/3Ml7zfU>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable power generation costs in 2014**. Masdar: Irena, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3x5YEJO>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. F.; LOPES, J. D. S. (Org.). **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa, MG: CPT, 2003. 176 p.

MILHO/CEPEA: incertezas quanto à produtividade e alta do dólar elevam preço interno. **Cepea-Esalq/USP**, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3mbPpLZ>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

MOREIRA, B. A.; FEHR, L. C. F. A.; DUARTE, S. L. Análise das variáveis de custos de produção de suínos nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 24., 2017, Florianópolis, Santa Catarina. **Anais...** Florianópolis: CBC, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3nsqH1l>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

MULLER, C. C. (Org.). **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. 1. ed. Brasília: Ed. UnB/Finatec, 2007.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos**: implementação de aplicativo computacional. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

NORONHA, A. *et al.* Mensuração dos custos de implantação de biodigestores na suinocultura. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador, Bahia. **Anais...** 2009.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise de emissões de GEE no Brasil (1970-2014)**. São Paulo: Observatório do Clima, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3xpnSD4>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

_____. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris**. São Paulo: Observatório do Clima, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2H9hJ60>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA; IMAFLORA – INSTITUTO DO MANEJO E CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA. **Emissões de GEE no Brasil: 2018 – documento de análise**. São Paulo: Observatório do Clima, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3AgSUzP>>.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Acordo de Paris sobre o Clima**. Paris: ONU, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3I6rNJR>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

OLIVEIRA, A. L. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. (Org.). **Implicações dos sistemas de segregação do milho na logística de transportes brasileira**: aplicação de um problema de complementaridade mista. Campinas: Ed. Unicamp, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/3tin1ma>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

PARIS, Q.; DROGUÉ, S.; ANANIA, G. Calibrating spatial models of trade. **Economic Modeling**, Brussels, v. 28, n. 6, p. 2509-2516, Nov. 2011.

RUTHERFORD, T. F. Extension of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis. **Journal of Economic Dynamics and Control**, Brussels, v. 19, n. 8, p. 1299-1324, Nov. 1995.

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

SUÍÑOS: EMBARGO RUSSO afeta mercado interno. **Cepea-Esalq/USP**, São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3x9pmBd>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

TAKAYAMA, T.; JUDGE, G. Spatial equilibrium and quadratic programming. **Journal of Farm Economics**, v. 46, p. 67-93, 1964.

_____. Spatial and temporal price and allocation models. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1971.

WHAT'S a carbon tax? **Carbon Tax Center**, New York, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/3GRXExo>>. Acesso em: 3 mar. 2018.

WHERE carbon is taxed (overview). Carbon Tax Center, New York, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/395dSqk>>. Acesso em: 5. mar. 2018.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

COSER, F. J. *et al.* Suínos/Cepea: exportação recorde não garante bom desempenho do setor em 2016. **Cepea-Esalq/USP**, Piracicaba, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3Oyq6HC>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **USDA data**. Washington: USDA, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3zjPzj3>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

ANEXO A

TABELA A.1
Cenário-base (CB) e o cenário alternativo com imposição da tarifa de carbono (CTC) no mercado internacional de carne suína – Média (2014-2016)

País	Quantidade de oferta					Quantidade de demanda					Preço de oferta					Preço de demanda					
	CB	CTC	Diferença	%		CB	CTC	Diferença	%		CB	CTC	Diferença	%		CB	CTC	Diferença	%		
	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	
Argentina	464,55	464,73	0,04	488,07	487,92	-0,03	1.720	1.722	0,12	1.720	1.722	0,12	1.720	1.722	0,12	1.720	1.722	0,12	1.720	1.722	0,12
Brasil	3.678,27	3.621,94	-1,53	3.114,67	3.113,90	-0,02	1.760	1.684	-4,32	1.760	1.684	-4,32	1.760	1.762	0,11	1.760	1.762	0,11	1.760	1.762	0,11
Estados Unidos	10.776,06	10.776,17	0,00	9.155,95	9.153,05	-0,03	1.880	1.882	0,11	1.880	1.882	0,11	1.880	1.882	0,11	1.880	1.882	0,11	1.880	1.882	0,11
Europa	23.346,64	23.354,40	0,03	21.010,98	21.007,06	-0,02	1.990	1.992	0,10	1.990	1.992	0,10	1.990	1.992	0,10	1.990	1.992	0,10	1.990	1.992	0,10
China	53.470,07	53.494,23	0,05	54.441,02	54.436,11	-0,01	2.740	2.742	0,07	2.740	2.742	0,07	2.740	2.742	0,07	2.740	2.742	0,07	2.740	2.742	0,07
Resto do Mundo	24.761,03	24.768,34	0,03	28.285,94	28.281,77	-0,01	2.970	2.972	0,07	2.970	2.972	0,07	2.970	2.972	0,07	2.970	2.972	0,07	2.970	2.972	0,07

Elaboração dos autores.

Obs.: Estimativas geradas pelo modelo PCM – Gams.

ANEXO B

TABELA B.1
 Cenário-base (CB) e o cenário alternativo com receita adicional devido à implantação de biodigestores na produção (CRB) no mercado internacional de carne suína – Média (2014-2016)

País	Quantidade de oferta				Quantidade de demanda				Preço de oferta				Preço de demanda							
	CB	CRB	Diferença	%	CB	CRB	Diferença	%	CB	CRB	Diferença	%	CB	CRB	Diferença	%	CB	CRB	Diferença	%
	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)		mil t.(CWE)	mil t.(CWE)	mil t.(CWE)		US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.		US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.		US\$/t.	US\$/t.	US\$/t.	
Argentina	464,55	462,49	-0,44	-0,44	488,07	488,69	0,13	0,13	1.720	1.695	-1,45	-1,45	1.720	1.691	-1,69	-1,69	1.720	1.691	-1,69	-1,69
Brasil	3.678,27	4.362,14	18,6	18,6	3.114,67	3.124,81	0,33	0,33	1.760	2.865	62,8	62,8	1.760	1.731	-1,65	-1,65	1.760	1.731	-1,65	-1,65
Estados Unidos	10.776,06	10.774,59	-0,01	-0,01	9.155,95	9.201,20	0,49	0,49	1.880	1.855	-1,33	-1,33	1.880	1.854	-1,38	-1,38	1.880	1.854	-1,38	-1,38
União Europeia	23.346,64	23.226,19	-0,52	-0,52	21.010,98	21.052,13	0,20	0,20	1.990	1.965	-1,26	-1,26	1.990	1.964	-1,31	-1,31	1.990	1.964	-1,31	-1,31
China	53.470,07	53.217,92	-0,47	-0,47	54.441,02	54.500,97	0,11	0,11	2.740	2.714	-0,95	-0,95	2.740	2.710	-1,09	-1,09	2.740	2.710	-1,09	-1,09
Resto do Mundo	24.761,03	24.676,44	-0,34	-0,34	28.285,94	28.350,98	0,23	0,23	2.970	2.945	-0,84	-0,84	2.970	2.936	-1,14	-1,14	2.970	2.936	-1,14	-1,14

Elaboração dos autores.

Obs.: Estimativas geradas pelo modelo PCM – Gams.

ANEXO C

PROGRAMAÇÃO DA PRIMEIRA FASE

option limrow=0, limcol=0;

sets

i “regioes de oferta” /ar,br,ue,eua,ch,rm/

k “produto” /suinos/

alias(i,j);

parameter es(i,k) “tabela de elasticidades - preço”

/ar.suinos 0.3, br.suinos 0.35, ue.suinos 0.40, eua.suinos 0.01, ch.suinos 0.50,
rm.suinos 0.40/;

parameter ed(j,k) “tabela de elasticidades - renda”

/ar.suinos 0.2, br.suinos 0.2, ue.suinos 0.15, eua.suinos 0.36, ch.suinos 0.1,
rm.suinos 0.2/;

mil toneladas

parameter qs(i,k) “quantidade ofertada”

/ar.suinos 464.54, br.suinos 3678.07, ue.suinos 23344.88, eua.suinos 10776.04,
ch.suinos 53470.92, rm.suinos 24760.95/;

mil toneladas

parameter qd(j,k) “quantidade demandada”

/ar.suinos 488.05, br.suinos 3114.59, ue.suinos 21010.00, eua.suinos 9155.92,
ch.suinos 54440.85, rm.suinos 28285.99/;

Preço = US\$/quantidade exportada (kg)

parameter prs(i,k) “precos”

/ar.suinos 1.72, br.suinos 1.76, ue.suinos 1.99, eua.suinos 1.88, ch.suinos 2.74,
rm.suinos 2.97/;

parameter prd(j,k) “precos”

/ar.suinos 1.72, br.suinos 1.76, ue.suinos 1.99, eua.suinos 1.88, ch.suinos 2.74,
rm.suinos 2.97/;

table xo(i,j,k) “Exportação líquida entre as regiões i e j”

	suínos
ar.ar	464.54
ar.br	0.00
ar.eua	0.00
ar.ue	0.00
ar.ch	0.00
ar.rm	0.00
br.br	2852.25
br.ar	23.51
br.eua	0.00
br.ue	0.00
br.ch	187.86
br.rm	614.45
ue.ue	20352.74
ue.ar	0.00
ue.br	0.00
ue.eua	121.79
ue.ch	917.23
ue.rm	1953.32
eua.eua	8289.21
eua.ar	0.00
eua.br	0.00
eua.ue	0.00
eua.ch	174.68
eua.rm	2312.15
ch.ch	53161.08
ch.ar	0.00
ch.br	0.00
ch.eua	0.00

ch.ue	0.00
ch.rm	309.84
rm.rm	23096.23
rm.ar	0.00
rm.br	262.34
rm.ue	657.46
rm.eua	744.92
rm.ch	0.00;

Distâncias (milhas náuticas/000)

table tf(i,j,k) “Custos de transporte”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0.00	104.11	250.83	210.29	282.59	240.05
br	104.11	0.00	233.23	195.19	267.15	227.80
eua	250.83	233.23	0.00	119.61	224.28	138.30
ue	210.29	195.19	119.61	0.00	208.47	85.87
ch	282.59	267.15	224.28	208.47	0.00	141.05
rm	240.05	227.80	138.30	85.17	141.05	0.00;

table tariffs(i,j,k) “tarifas de importacao em i regioes em relacao a j regioes”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.325
br	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.325
eua	0.100	0.100	0.000	0.000	0.200	0.325
ue	0.100	0.100	0.000	0.000	0.200	0.325
ch	0.100	0.100	0.000	0.000	0.000	0.325
rm	0.100	0.100	0.000	0.000	0.200	0.000;

transferencia US\$/quantidade (kg)

table subsi(i,j,k) “subsídios ao produtor”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
br	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
eua	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ue	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000
ch	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
rm	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000;

Parameters

$\alpha(i,k)$ “coeficiente de participacao da funcao de oferta”

$\beta(j,k)$ “coeficientes de participacao da funcao de demanda”;

$\alpha(i,k) = q_s(i,k) * (p_{rs}(i,k) ** (-e_s(i,k)))$;

$\beta(j,k) = q_d(j,k) * (p_{rd}(j,k) ** (-e_d(j,k)))$;

positive variables

$x(i,j,k)$ “fluxo estimado entre a regio produtora e a consumidora”

$p_{oferta}(i,k)$ “preco sombra do produto consumido na regio i”

$p_{demanda}(j,k)$ “preco sombra do produto produzido na regio j”

free variables

$p_m(i,j,k)$ “preco sombra dos custos de transacao”

equations

oferta(i,k)

demanda(j,k)

fluxo(i,j,k)

$Z(i,j,k)$ “condicao de lucro zero”;

oferta(i,k).. $\alpha(i,k) * (p_{oferta}(i,k) ** (e_s(i,k))) = g = \sum((j), x(i,j,k))$;

demanda(j,k).. $\sum((i), x(i,j,k)) = g = \beta(j,k) * (p_{demanda}(j,k) ** (-e_d(j,k)))$;

$z(i,j,k)$..

$p_m(i,j,k) + (1 + tariffs(i,j,k)) * (p_{oferta}(i,k) + tf(i,j,k) / 1000 + subsi(i,j,k)) = g = p_{demanda}(j,k)$;

$\text{fluxo}(i,j,k).. \text{xo}(i,j,k)=e=x(i,j,k);$

model espacial /z.x, oferta.p_oferta, demanda.p_demanda,fluxo.p_m/;

$\text{p_demanda.l}(j,k) = \text{prd}(j,k);$

$\text{p_oferta.l}(i,k) = \text{prs}(i,k);$

solve espacial using mcp;

display p_oferta.l;

display p_demanda.l;

display x.l;

display p_m.l;

Calculo das quantidades ofertadas e demandadas

parameter

producao(i,k);

$\text{producao}(i,k) = \alpha(i,k) * (\text{p_oferta.l}(i,k))^{es(i,k)};$

display producao;

parameter consumo(j,k);

$\text{consumo}(j,k) = \beta(j,k) * (\text{p_demanda.l}(j,k))^{-ed(j,k)};$

display consumo;

ANEXO D

PROGRAMAÇÃO DA SEGUNDA FASE

option limrow=0, limcol=0;

sets

i “regioes de oferta” /ar,br,eua,ue,ch,rm/

k “produto” /suinos/

alias(i,j);

parameter es(i,k) “tabela de elasticidades - oferta”

/ar.suinos 0.3, br.suinos 0.35, eua.suinos 0.01, ue.suinos 0.4, ch.suinos 0.5, rm.suinos 0.4/;

parameter ed(j,k) “tabela de elasticidades - demanda”

/ar.suinos 0.2, br.suinos 0.2, eua.suinos 0.36, ue.suinos 0.15, ch.suinos 0.1, rm.suinos 0.2/;

mil toneladas

parameter qs(i,k) “quantidade ofertada”

/ar.suinos 464.54, br.suinos 3678.07, eua.suinos 10776.04, ue.suinos 23344.88, ch.suinos 53470.92, rm.suinos 24760.95/;

mil toneladas

parameter qd(j,k) “quantidade demandada”

/ar.suinos 488.05, br.suinos 3114.59, eua.suinos 9155.92, ue.suinos 21010.00, ch.suinos 54440.85, rm.suinos 28285.99/;

Preço = US\$/quantidade exportada (kg)

parameter prs(i,k) “precos”

/ar.suinos 1.72, br.suinos 1.76, ue.suinos 1.99, eua.suinos 1.88, ch.suinos 2.74, rm.suinos 2.97/;

parameter prd(j,k) “precos”

/ar.suinos 1.72, br.suinos 1.76, eua.suinos 1.88, ue.suinos 1.99, ch.suinos 2.74, rm.suinos 2.97/;

table p_m(i,j,k) “custos de transacao”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0.000	-0.064	-0.091	0.060	0.337	0.373
br	-0.144	0.000	-0.113	0.035	0.307	0.336
eua	-0.624	-0.565	0.000	-0.010	0.215	0.296
ue	-0.700	-0.644	-0.230	-1.689E-4	0.102	0.219
ch	-1.605	-1.548	-1.084	-0.959	0.000	-0.847
rm	-1.811	-1.758	-1.228	-1.065	-0.993	0.000 ;

Distâncias (milhas nauticas/000’)

table tf(i,j,k) “Custos de transporte”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0.00	104.11	250.83	210.29	282.59	240.05
br	104.11	0.00	233.23	195.19	267.15	227.80
eua	250.83	233.23	0.00	119.61	224.28	138.30
ue	210.29	195.19	119.61	0.00	208.47	85.87
ch	282.59	267.15	224.28	208.47	0.00	141.05
rm	240.05	227.80	138.30	85.17	141.05	0.00;

Quotas (U\$ mil tonnes)

table qli(i,j,k) “quota-tarifaria imposta sobre as importacoes da regioa i”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0	0	0	0	0	0
br	0	0	0	0	0	0
eua	0	0	0	0	0	0
ue	0	0	0	0	0	0
ch	0	0	0	0	0	0
rm	0	0	0	0	0	0;

table tariffs(i,j,k) “tarifas de importacao em i regioes em relacao a j regioes”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.325
br	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.325
eua	0.100	0.100	0.000	0.000	0.200	0.325
ue	0.100	0.100	0.000	0.000	0.200	0.325
ch	0.100	0.100	0.000	0.000	0.000	0.325
rm	0.100	0.100	0.000	0.000	0.200	0.000;

transferencia US\$/qtd em kg

table subsi(i,j,k) “subsídios ao produtor”

	ar.suinos	br.suinos	eua.suinos	ue.suinos	ch.suinos	rm.suinos
ar	0	0	0	0	0	0
br	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13
eua	0	0	0	0	0	0
ue	0	0	0	0	0	0
ch	0	0	0	0	0	0
rm	0	0	0	0	0	0;

Parameters

$\alpha(i,k)$ “coeficiente de participacao da funcao de oferta”

$\beta(j,k)$ “coeficientes de participacao da funcao de demanda”;

$\alpha(i,k) = q_s(i,k) * (pr_s(i,k) ** (-es(i,k)))$;

$\beta(j,k) = q_d(j,k) * (pr_d(j,k) ** (ed(j,k)))$;

positive variables

$x(i,j,k)$ “fluxo estimado entre a regio produtora e a consumidora”

$p_oferta(i,k)$ “preco sombra do produto na regio i”

$p_demanda(j,k)$ “preco sombra do produto na regio j”

equations

oferta(i,k)

demanda(j,k)

```
Z(i,j,k) “condicao de lucro zero”;
oferta(i,k).. alpha(i,k)*(p_oferta(i,k)**(es(i,k))) =g= sum((j), x(i,j,k));
demanda(j,k).. sum((i), x(i,j,k)) =g= beta(j,k)*(p_demanda(j,k)**(- ed(j,k)));
z(i,j,k)..p_m(i,j,k)+(1+tarifs(i,j,k))*(p_oferta(i,k)+tf(i,j,k)/1000
+subsi(i,j,k))=g=p_demanda(j,k);
```

model espacial /z,x, oferta.p_oferta, demanda.p_demanda/;

```
p_demanda.l(j,k) = prd(j,k);
```

```
p_oferta.l(i,k) = prs(i,k);
```

```
*p_m(i,j,k)=-0.00
```

```
*tarifs(i,j,k)=0.00
```

solve espacial using mcp;

```
display p_oferta.l;
```

```
display p_demanda.l;
```

```
display x.l;
```

Calculo das quantidades ofertadas e demandadas

```
parameter
```

```
producao(i,k);
```

```
producao(i,k)= alpha(i,k)*(p_oferta.l(i,k)**(es(i,k)));
```

```
display producao;
```

```
parameter consumo(j,k);
```

```
consumo(j,k)= beta(j,k)*(p_demanda.l(j,k)**(-ed(j,k)));
```

```
display consumo;
```

Data da submissão em: 8 ago. 2019.

Primeira decisão editorial em: 3 ago. 2020.

Última versão recebida em: 1^o set. 2020.

Aprovação final em: 2 out. 2020.

