

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

OMAR INÁCIO BENEDETTI SANTOS

**O Antagonismo entre o Lucro e a Termodinâmica na
Decisão sobre o Uso dos Fertilizantes Minerais e a sua
Eficiência na Produção de Soja do Brasil**

Porto Alegre

2017

OMAR INÁCIO BENEDETTI SANTOS

**O Antagonismo entre o Lucro e a Termodinâmica na Decisão
sobre o Uso dos Fertilizantes Minerais e a sua Eficiência na
Produção de Soja do Brasil**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agronegócios da UFRGS como requisito
parcial para obtenção do grau de Doutor em
Agronegócios.

Orientador: Prof. Dr. Homero Dewes

Porto Alegre

2017

CIP - Catalogação na Publicação

Benedetti Santos, Omar Inácio

O Antagonismo entre o Lucro e a Termodinâmica na
Decisão sobre o Uso dos Fertilizantes Minerais e a
sua Eficiência na Produção de Soja do Brasil / Omar
Inácio Benedetti Santos. -- 2017.

157 f.

Orientador: Homero Dewes.

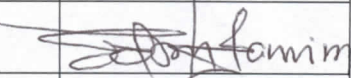

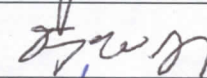
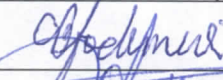

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em
Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios,
Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Fertilizantes. 2. Modelo de Máxima Entropia.
3. Segurança Alimentar. 4. Bioeconomia. 5. Soja. I.
Dewes, Homero, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS – CEPAN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS – PPG-Agronegócios

Curso de Doutorado em Agronegócios
Ata de Defesa de Tese de Doutorado

Aos trinta dias do mês de novembro de dois mil e dezessete, às 14 horas e 30 minutos, na Sala de Defesas 1 na Faculdade de Agronomia da UFRGS reuniu-se em ato público, a Banca Examinadora de Doutorado do aluno **Omar Inácio Benedetti Santos**, com orientação do Prof. Dr. Homero Dewes (PPG-Agronegócios)UFRGS), composta pelos professores examinadores Dr. Edson Talamini (CEPAN/UFRGS), Dr^a. Gabriela Alegretti, Dr. Tiago Wikstrom Alves (UNISINOS), Dr. Christian Bredemeier (UFRGS) e Dr. Antonio Domingos Padula (UFRGS); ocasião em que se realizou a arguição da tese intitulada: **“O Antagonismo entre Lucro e a Termodinâmica na Decisão sobre o Uso de Fertilizantes Inorgânicos e a sua Eficiência na Produção da Soja Brasileira”**.

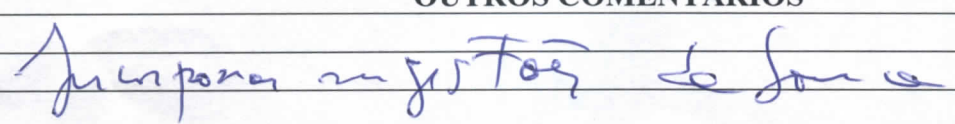
NOME	CPF	PARECER*	ASSINATURA
Prof. Dr. Edson Talamini	711.293.160-68	APROVADO	
Dr ^a . Gabriela Alegretti	773.619.620-68	APROVADO	
Prof. Dr. Tiago Wikstrom Alves	303.448.750-91	APROVADO	
Prof. Dr. Christian Bredemeier	562.811.880-04	APROVADO	
Prof. Dr. Antônio Domingos Padula	300.938.649-49	APROVADO	

* Aprovado ou reprovado

Após a avaliação da dissertação e da apresentação oral, os componentes da banca examinadora consideraram a tese

Aprovada

Reprovada

OUTROS COMENTÁRIOS



Prof. Dr. Homero Dewes
Presidente da Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer por uma segunda chance! Quero agradecer a todos que tornaram esse momento possível. Minha caminhada foi longa, quero que se registre. Mas tal como a viagem a Ítaca eu tentei aproveitar o caminho. Outra se inicia agora. Esse espaço de agradecimentos vai ser grande, pois tenho muito a agradecer. Peço paciência ao leitor.

Desde que comecei minha vida como cientista, nos idos de 2004, tenho tido a sorte de encontrar grandes mestres. Tenho o maior respeito e carinho por quem me abriu os olhos, e me tirou da caverna. Aprendi principalmente a duvidar, perguntar, investigar. As certezas são reservadas aos iluminados, grupo que me exluo por livre opção. Aprendi a vivenciar cada resposta como um passo, um novo caminho.

Agradeço ao Dr. Homero Dewes, que é muito mais que um orientador. Construímos uma forte amizade, um sentimento de amor fraterno que extrapola nossa vivência científica. Admiro sua conduta científica, sua obra de vida, e o mais importante, admiro a pessoa que ele é. Foi nesse tempo todo um pai que observou os tombos e percalços e soube me resgatar na hora certa. Admiro ainda a obra e vida do Dr. Antonio Padula, meu primeiro orientador. Ainda nos longínquos anos da formação em Ciências Econômicas ele foi, e é fundamental para minha formação e caminhada.

Quero agradecer a orientação do Prof. Dr. Christian Bredemeier, foi uma grata surpresa poder contar com seu conhecimento científico e generosidade. Ainda temos muito trabalho pela frente.

Ao amigo e membro da banca de avaliação Prof. Dr. Tiago Winckstrom Alves, sua capacidade crítica foi parte integrante, e importante, dessa construção.

A vida me deu colegas e um grupo de pesquisa que finalmente me deram um porto seguro. Meu sonho é incorporar outras pessoas especiais em nosso grupo. Finalmente encontrei meus pares nessa caminhada chamada Universidade. Pessoas em quem confio, respeito e admiro. Dentre esses colegas está o Dr. Edson Talamini, nosso coordenador no NEB/Agro. Sua coragem em iniciar o grupo de Bioeconomia vai ser pra sempre um marco científico na UFRGS, ainda que muitos sejam resistentes à ideia. A vida só tem um sentido, e evoluir é a razão da existência na natureza.

Um grande abraço para Gabriela Alegretti, que desde o início da minha caminhada foi uma ouvinte e debatedora fantástica, além de ter sido uma avaliadora atenta na banca. Ao Felipe Artuzzo, vulgo Pipinho, que me deu o apoio quando eu estava perdido em considerações da Ciência Agrônômica. A Fabiana Riva, que com seu jeito mais calado sempre foi uma parceira e debatedora atenta. Ao colega e amigo Henrich Hasenack, embora distante ele faz parte desse seletto grupo. E também o Rodrigo Xavier, embora distante fisicamente, sempre teremos essa conexão. A vocês meu respeito e carinho. Considero a cada um de vocês pessoas especiais.

Agradeço sempre a minha família. Meus sobrinhos-filhos (Andriel, Bianca e Maria Eduarda Benedetti). Aos meus outros sobrinhos, que também devoto meu amor (Leonardo, Daniel, Rafael, Justine, Fábio, Flávio e Isabela). A minhas irmãs – Alice, Inara e Márcia, meu incondicional apoio e amor nessa vida turbulenta. A minha mãe Inarde e meu pai Omar, que foram meus primeiros professores. Além de educação, me deram a oportunidade de me desenvolver intelectualmente. Desde os primeiros anos de minha vida fui estimulado a pensar da maneira mais livre possível. Alguns anos numa formação antiquada não me tiraram essa característica, que foi amplificada quando conheci meus outros mestres, já citados.

A minha sogra, Neusa de Carvalho, que durante os anos foi uma grande parceira. Uma mulher que soube vencer as adversidades, e também superar a perda de meu querido sogro,

Adriano de Carvalho, que faz falta em nossas vidas. Aos cumpadres, Gianni Dupke e Clarisse Dupke, que nos deram um grande presente chamado Arthur. Pudemos retomar uma amizade de infância que parecia perdida. Aos meus amigos do coração (que considero como irmãos): Armando e Márcia Webster, Rafael e Rita Stroher, Beta Stroher e William de Aguiar. Agradeço ainda aos meus amigos e companheiros do Lions. São muitos, mas cada um sabe de meu carinho e respeito.

Aos demais colegas que fizeram parte dessa caminhada meu abraço. E também a direção e coordenação do CEPAN. E também para a Débora Azevedo, nosso ponto focal na organização do centro. Sem a dedicação que as pessoas que ocupam esse cargo de Secretária o CEPAN seria inviável. Não posso deixar de agradecer a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a CAPES por destinar recursos em parte de minha formação. Foram importantes nessa caminhada.

E finalmente, e não menos importante, quero agradecer a Denise Benedetti, minha amada esposa, amiga e companheira. Durante os últimos 20 anos ela foi sem dúvida a pessoa que me fez levantar a cabeça e lutar. Conquistamos juntos muitas coisas. Passamos por diversos momentos difíceis, mas sempre juntos. Peço desculpas publicamente por ter de esperar o dobro do tempo para poder comemorar comigo esse momento em que atinjo o maior título dentro de uma Universidade. Te agradecer nunca será demais. Tuas observações e comentários sempre serão importantes em minha vida. Estou feliz, pois finalmente eu venci a batalha que considero importante: venci a mim mesmo. E isso se deve a última parte dessa caminhada, como bem sabes. Tenho orgulho de ser teu esposo. Tenho a sorte de ter te encontrado. Que fique para sempre registrado: Eu ti amo de uma forma que eu nunca achei possível antes de te conhecer!

Tese de Doutorado

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

O Antagonismo entre o Lucro e a Termodinâmica na Decisão sobre o Uso dos Fertilizantes Minerais e a sua Eficiência na Produção de Soja do Brasil

Autor: Omar Inácio Benedetti Santos

Orientador: Prof. Dr. homero dewes

RESUMO

A produção de alimentos no mundo está condicionada à oferta e ao consumo de fertilizantes inorgânicos, obtidos de fontes naturais não renováveis. Existe um limite entrópico para o atendimento das necessidades crescentes de alimentos. A sustentabilidade da dinâmica dos sistemas agrícolas dependerá da adequação da produção de alimentos à quantidade de recursos naturais disponíveis. No presente trabalho nós testamos essa sustentabilidade, procurando analisar a eficiência do uso de fertilizantes inorgânicos na produção de soja, um dos alimentos básicos nas cadeias alimentares globais, segundo uma abordagem da bioeconomia fundamentada na termodinâmica. Com base nos dados de produção e área cultivada de soja no Brasil, como disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), desenvolveu-se um modelo analítico baseado em programação matemática e no princípio de máxima entropia para estimar o uso de fertilizantes por extrato de área cultivada, bem como os respectivos custos totais de produção. Neste trabalho estimou-se a eficiência termodinâmica do uso de fertilizantes e a eficiência econômica da produção de soja nos diferentes extratos de área de produção. Para avaliar essas eficiências utilizou-se um conceito de retorno constante de produtividade da terra (RCP). Esse indicador define o rendimento relativo por hectare da produção de soja nos diferentes extratos de área. Assim, analisando o caso da produção de soja brasileira, verificou-se que no ano de 2008 o aumento de preços das matérias-primas para produzir fertilizantes levou a uma queda no seu respectivo consumo global. A partir dessa observação, procurou-se identificar os fundamentos da tomada de decisão do produtor de soja relativa ao emprego dos fertilizantes no Brasil. Verificou-se

que o produtor de soja brasileiro decide as quantidades de fertilizantes que vai empregar, baseando-se na expectativa do lucro da respectiva safra. Os resultados apontam que essa decisão leva a um emprego ineficiente de fertilizantes inorgânicos entre os diferentes extratos de área, principalmente nos extratos inferiores a 20 hectares, em relação a produtores com área superior a 2500 hectares. Essa ineficiência relativa se dá devido ao fato de que, embora a taxa de aplicação de fertilizantes por hectare apresente diferenças pouco significativas entre os extratos de área, as respectivas produtividades são evidentemente distintas. A produtividade da terra em soja é menor nos extratos até 20 hectares, quando comparada à produtividade nos extratos superiores, ocorrendo casos em que essa diferença venha a ser até de duas toneladas de soja por hectare. No período de 1975 a 2011, anos selecionados para este estudo, outros extratos menores, mas superiores a 20 hectares, também apresentaram menor eficiência em relação ao uso de fertilizantes em comparação aos extratos superiores a 2500 hectares. Em relação à respectiva eficiência econômica, verificou-se que os custos de fertilizantes por tonelada de soja são similares entre os extratos, sugerindo-se uma homogeneidade em termos de estrutura de comercialização dos fertilizantes, o que acaba por impactar na lucratividade relativa da produção de soja. Os custos totais de produção refletem também a estrutura tecnológica adotada em cada extrato de área. Ao utilizar-se o conceito de RCP, verifica-se que extratos abaixo de 500 hectares possuem uma menor eficiência econômica quando comparadas com os extratos acima de 2500 hectares. Esses resultados indicam a necessidade de uma escala mínima de produção para o produtor manter-se competitivo do ponto de vista econômico. Desses resultados, e aproveitando-se a modelagem desenvolvida por este estudo, foram derivados alguns cenários pertinentes ao cultivo de soja no Brasil, relativos à produção, área, produtividade e uso de fertilizantes, bem como os custos de produção associados. O modelo desenvolvido para estimar as quantidades de fertilizantes inorgânicos utilizados pelos diferentes extratos de área, relativos à produção de soja, tem como principal característica oferecer a possibilidade de testar-se hipóteses sobre produção, área, produtividade e uso de fertilizantes. Esse modelo pode ser uma ferramenta de apoio à decisão, tanto para gestores de investimentos públicos na agricultura, quanto para a gestão nas unidades de produção agrícola. Os resultados deste presente trabalho sugerem que na produção de soja brasileira o uso de fertilizantes inorgânicos está desconectado de determinantes tecnológicos agrônômicos, assim como está dissociado de questões relativas à segurança alimentar ou da sustentabilidade ambiental. Isso porque a tomada de decisão sobre o uso de fertilizantes inorgânicos na agricultura ignora a termodinâmica do processo produtivo como um todo. Para que a produção de soja no Brasil seja efetivamente eficiente e

sustentável, do ponto de vista bioeconômico, ou seja, integrador das dimensões econômica, agrônômica e termodinâmica, é necessário levar-se em consideração de que são imprescindíveis extratos de produção agrícola de áreas superiores, que contenham uma certa área mínima para a produção de soja, e que se redesenhe com propriedade as tecnologias empregadas nos seus respectivos sistemas de produção, levando-se em conta o limite entrópico da disponibilidade de fertilizantes inorgânicos no mundo.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizantes, Máxima Entropia Generalizada, Segurança Alimentar, bioeconomia, Soja.

Doctoral Thesis

Federal University of Rio Grande do Sul

The Antagonism between Profit and Thermodynamics in the Decision on the Use of Mineral Fertilizers and their Efficiency in Brazil's Soybean Production

Author: Omar Inácio Benedetti Santos

Advisor: Prof. Dr. Homero Dewes

ABSTRACT

Food production worldwide is conditioned to supply and consumption of inorganic fertilizers that are obtained from nonrenewable natural sources. The satisfaction of the increasing food needs is limited by an entropic threshold. Therefore, sustainability of the agricultural systems' dynamics will depend on the adequacy of food production to the amount of available natural resources. In this paper, we examine such sustainability, seeking to analyze the efficiency of the inorganic fertilizers' use in the production of soybean, one of the basic foods from the global food chain, according to a bioeconomic approach grounded on thermodynamics. Based on data on the soybean production and cultivated areas in Brazil, made available by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IGBE, from the Brazilian Portuguese: "Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística"), we have developed an analytical model, which is based on mathematical programming and on the generalized maximum entropy principle, to estimate the use of fertilizers per level of cultivated land, as well as its full production costs. In this paper, we have estimated the efficiency of thermodynamics regarding the use of fertilizers and the economical efficiency of soybean production in different levels of cultivated land. To evaluate such efficiencies, a concept of constant return on land productivity (RCP, from the Brazilian Portuguese: "Retorno Constante de Produtividade") has been used. This indicator defines the yield per hectare of soybean production in different

levels of cultivated land. Thus, analyzing the case of Brazilian soybean production, it's been asserted that during 2008 the increased price of raw materials used to produce fertilizers lead to a decline in its global consumption. From that observation, we have sought to identify the reasons behind soybean producers' decision-making regarding the use of fertilizers in Brazil. We've discovered that Brazilian soybean producers decide on the amount of fertilizers they will use based on the expectations of profit regarding that particular crop. Results indicate that such decision leads to an inefficient use of inorganic fertilizers per different levels of cultivated land, mainly on portions lower than 20 hectares, from producers holding a field over 2500 hectares. Such relative inefficiency occurs due to the fact that, although the fertilizer's usage rate per hectare shows little significant differences between producers, their yields are clearly distinct. The soil productivity of soybean is lower in portions up to 20 hectares in comparison to productivity on higher levels of cultivated land and there are instances where such difference is up to two tons of soybean per hectare. From 1975 to 2011, the period selected for this particular study, other smaller levels of cultivated land which were higher than 20 hectares, also evidenced a lower efficiency with regard to the use of fertilizers in comparison to levels higher than 2500 hectares. Regarding their economic efficiency, evidence showed that the costs of fertilizers per ton are similar between levels of cultivated land, suggesting homogeneity in terms of the fertilizers trading structure, resulting in an impact on the relative yielding of soybean production. Total production costs also reflect the technological structure adopted in each level of cultivated land. By applying the concept of RCP, it's been ascertained that levels lower than 500 hectares have a lower economic efficiency when compared to levels higher than 2500 hectares. Such results indicate the need for a minimal production scale in order for the producer to keep their competitiveness, from an economic perspective. From these results, and taking advantage of the modeling developed for this study, some sceneries pertaining the soybean culture in Brazil have been derived that relate to production, area, yield, and use of fertilizers, as well as related production costs. The model developed to estimate the amounts of inorganic fertilizers used in soybean production, in different levels of cultivated land, holds as its main feature the fact that it allows for the testing of hypothesis on production, area, yield, and use of fertilizers. Such a model can be used as a decision-making supporting tool, both for public agricultural investment managers and for managing the agricultural production units (farms). This paper's results suggest that, in Brazilian soybean production, the use of inorganic fertilizers is disconnected from agronomic technological determiners and dissociated from food safety and environmental sustainability issues. That happens because decision-making on agricultural use of fertilizers

overlooks the thermodynamics of the productive process as a whole. In order for the soybean production in Brazil to be effectively efficient and sustainable, from the bioeconomic point of view, i.e., integrating the economic, agricultural, and thermodynamic dimensions, it is necessary to consider that they are fundamental portions of agricultural production in bigger areas, which contain a minimal area for the production of soybean, and to properly redesign the technologies applied in their production systems, taking into account the entropic threshold of availability of inorganic fertilizers in the world.

KEYWORDS: Fertilizers Generalized Maximum Entropy, Food Safety, Bioeconomics, Soybean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema Simplificado sobre Exergia.....	34
Figura 2 - Exemplo de Máquina Térmica - Oceano/Atmosfera.....	35
Figura 3 - Sistema Termodinâmico Simplificado – Terra/Universo.....	36
Figura 4 - As 100 palavras mais Frequentes - Ester Boserup.....	44
Figura 5- Diferenças na Abordagem Agronômica e de Máxima Entropia.....	69
Figura 6 - As 100 palavras mais frequentes relacionadas com Segurança Alimentar.....	124

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fertilizantes: Preços de Produtos e Insumos – US\$/t	84
Gráfico 2 - Variação dos Preços - Barril de Petróleo e Rocha de Fosfato - Média de 1967	85
Gráfico 3 - Preços de Petróleo (US\$/barril) e Rocha de Fosfato (US\$/tonelada) - 1973/1976 e 2006/2009	86
Gráfico 4 Variação dos Preços do Barril de Petróleo e da Rocha de Fosfato - Anos selecionados – Valores em decimais.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre Dados Estimados e Dados Oficiais – Soja – Brasil - 2006	91
Tabela 2 – Estimativa de Produção (10^3 t) por extrato de área colhida – Soja – Brasil - 1975 a 2011	92
Tabela 3 – Estimativa de Área (10^3 hectares) por extrato de Área Colhida - Soja - Brasil - 1975 a 2011	92
Tabela 4 - Produtividade (t/ha) por extrato de área colhida – Soja- Brasil	94
Tabela 5- Estimativa do Consumo de Fertilizantes – Valor Total - 10^3 t – Soja - Brasil	95
Tabela 6 – Estimativa do Uso de NPK – Taxa de Aplicação - (kg/ha) – Total - Soja - Brasil	95
Tabela 7 – Estimativa do Uso Total de Fertilizantes – kg/ t –Soja – Brasil.....	98
Tabela 8 - Variação da Área, Produção, Produtividade e Volume Total de Nutrientes - Soja - 1995/2011	100
Tabela 9 - Variação da Produção de Area, Produção, Produtividade e Uso de Nutrientes - Soja - 1975/2011.....	101
Tabela 10 - Fator de Eficiência da terra – Soja - Brasil	103
Tabela 11 - Custo de Fertilizante por Tonelada de Soja - Em R\$ – Brasil – 1975/2011	103
Tabela 12 - Custo do Fertilizante – RCP – Soja – Brasil – 1975/2011	104
Tabela 13 - Custo Total por tonelada – R\$ - Soja - Brasil - 1975/2011	105
Tabela 14 - Custo Total por Tonelada - RCP - Soja - Brasil - 1975/2011	105
Tabela 15 Custo Total por Hectare - R\$ - Soja - Brasil - 1975/2011	106
Tabela 16 - Estimativa do Preço da Soja – 60 kg - Brasil*	107
Tabela 17 – Estimativa dos Gastos com Diesel - R\$/L - Soja - Brasil - 1975/2011	108
Tabela 18 - Estimativa de Uso do Diesel - L/t - Soja - Brasil.....	109
Tabela 19 – Produção (10^3 t) - Estimado – Soja - Brasil.....	114
Tabela 20 - Área (10^3 hectares) – Estimado – Soja - Brasil	114
Tabela 21- Produtividade (t/hectare) – Estimado – Soja- Brasil.....	115
Tabela 22- Fertilizantes – Volume Total Estimado – Soja – Brasil	117
Tabela 23 - Soja – Custos Estimados - Valores por Hectare - R\$ - Brasil - 2016.....	118
Tabela 24 - Custos CONAB - Cidades Selecionadas - 2016 - R\$ - Soja - Brasil	119
Tabela 25 - Preços Estimados de Soja –R\$ por Saca 60 Kg - Soja - Brasil.....	120
Tabela 26 Custo de Fertilizantes por Tonelada Estimado – Soja – Brasil	121
Tabela 27 Custo Total por Hectare – Estimado - Soja - Brasil	122

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 JUSTIFICATIVAS	21
2 QUESTÕES DE PESQUISA, OBJETIVOS E HIPÓTESES	23
2.1 QUESTÕES DE PESQUISA.....	23
2.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	23
2.3 HIPÓTESES	24
3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	25
3.1 A TRAGÉDIA DA HUMANIDADE.....	25
3.2 TERMODINÂMICA, POPULAÇÃO E USO DE RECURSOS NATURAIS	27
3.2.1 GEORGESCU-ROEGEN E A TERMODINÂMICA	27
3.2.2 BIOECONOMIA E CULTURA	40
3.2.3 ESTER BOSERUP E A TECNOLOGIA COMO SOLUÇÃO	43
3.2.4 SURGIMENTO DA AGRICULTURA	47
3.2.5 ECONOMIA CIRCULAR.....	50
4 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS.....	54
4.1 INTRODUÇÃO AOS MODELOS DE ENTROPIA MÁXIMA	54
4.1.1 MODELO DE ENTROPIA GENERALIZADA CRUZADA.....	65
4.2 SÍNTESE DOS ASPECTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	67
4.3 BASE DE DADOS – INFORMAÇÃO A PRIORI	69
4.4 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS PARA SOJA	72
4.4.1 MODELO PARA ÁREA E PRODUÇÃO	72
4.4.2 MODELO DA FUNÇÃO CUSTO DE PRODUÇÃO.....	76
4.4.3 MODELO DO USO DE FERTILIZANTES	79
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	82
5.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE FERTILIZANTES	82
5.2 RESULTADOS	89
5.2.1 ÁREA, PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE	90
5.2.2 ESTIMATIVA DO USO DE FERTILIZANTES	94
5.2.3 CUSTO DE PRODUÇÃO	101
5.3 RESULTADOS ADICIONAIS - CENÁRIOS.....	110
5.3.1 CENÁRIOS DE PRODUÇÃO, ÁREA E PRODUTIVIDADE	113
5.3.2 CENÁRIOS DE USO DE FERTILIZANTES	116

5.3.3 CENÁRIOS PARA O CUSTO DE PRODUÇÃO -.....	118
5.4 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS.....	123
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	130
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	132
6.2 SUGESTÕES DE NOVOS ESTUDOS.....	133
REFERÊNCIAS	135
APÊNDICE	144
ANEXOS.....	154

1 INTRODUÇÃO

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes”
(Albert Einstein).

A complexidade das causas e os efeitos das mudanças climáticas configuram-se como um dos desafios que a humanidade enfrenta atualmente (BALINT et al., 2017). Os impactos projetados das mudanças climáticas sobre produção agrícola indicam uma maior insegurança alimentar em nível global. (PARRY et al., 2004; GODFRAY et al., 2014; FOLEY et al., 2011; GILLER et al., 2015). Um dos aspectos relacionados com a segurança alimentar é o aumento da produtividade média dos produtos agrícolas (grãos, oleaginosas, carne); levando em consideração a necessidade da redução do impacto ambiental negativo e o uso eficiente dos recursos escassos (GODFRAY et al., 2014). Segundo Foley et al. (2011), a agricultura é uma das maiores forças de impacto sobre os recursos naturais disponíveis. Nesse sentido, para que seja possível alimentar uma população crescente, o desafio passa pelo aumento da produção agrícola e pela redução do impacto negativo sobre o meio ambiente. Assim, é preciso melhorar a produtividade agrícola, seja em nível local, regional ou nacional, a partir da adoção de tecnologias agrícolas, seja de processo ou produto, aliado ao uso racional e eficiente dos insumos agrícolas (GODFRAY et al., 2014).

Dentre os vários pontos que se pode escolher para analisar esse quadro, derivado da presença humana e de suas necessidades, escolheu-se como *proxy* do consumo de recursos naturais os fertilizantes minerais – N,P e K- na produção da soja brasileira (*proxy* da segurança alimentar).

A importância da soja para a segurança alimentar mundial é inegável. Por exemplo, o óleo de soja é responsável por 55% a 58% (210 a 230 milhões de toneladas) do mercado mundial de óleo vegetal. Além disso, a soja participa dos mercados de proteína, produtos infantis, leite e outros¹. Nesse cenário, o Brasil destaca-se como sendo um dos players na produção da soja. Os dados para a soja indicam a utilização de mais de 33 milhões de hectares, com uma produção de mais de 114 milhões de toneladas (CONAB, 2017). A importância da soja é inegável, seja pelo seu volume de produção, seja pelo consumo de insumos.

¹<https://www.futuremarketinsights.com/reports/global-soy-food-products-market>

Em relação aos insumos consumidos pela produção agrícola os dados do World Bank (2016) indicam que em 1960 eram consumidos 12 kg de fertilizantes por pessoa (volume total de 37,68 milhões de toneladas), em 2012 esse valor era de 28 kg per capita (com um volume total de 197,25 milhões de toneladas). Um crescimento de 423,5 % no consumo total mundial, contra um crescimento da população de 131,9% no mesmo período.

No artigo de Giller et al. (2015) os autores afirmam que a necessidade de se aumentar a produtividade irá gradativamente induzir a um aumento das áreas das fazendas, pela necessidade de recursos financeiros para a adoção de tecnologias cada vez mais eficientes. Ao longo dos anos diversas tecnologias vêm surgindo, como é o caso do sistema de plantio direto. Pittelkow et al., (2014) destaca que a adoção isolada de plantio direto pode trazer prejuízos para pequenos produtores, pois a adoção da agricultura de conservação precisa vir acompanhada de rotação de culturas e retenção dos resíduos no solo. Os autores destacam, ainda, que a principal motivação dos agricultores para a adoção do plantio direto foi estimulada pelo ganho econômico (redução de custos), mas os resultados negativos que podem advir pela simples adoção do plantio direto, sem atentar para as outras ferramentas e demais necessidades de manejo, pode acabar desencorajando os pequenos produtores no longo prazo e essa situação poderá limitar a adoção de uma agricultura de conservação, pois os agricultores mais pobres tendem a se concentrar em ganhos econômicos de curto prazo.

Apesar de ser um produto analisado por diversos pesquisadores e sob diversos aspectos (financeiro, agrônômico, ambiental), inexistem informações detalhadas disponíveis com livre acesso sobre produção e área de soja, para vários anos, que permita uma análise que atenda aos objetivos desta pesquisa.

Por exemplo, os estudos conduzidos por Godfray et al. (2014) e Foley et al. (2011) trazem dados agregados, médias nacionais para vários países, publicados por órgãos como FAO e World Bank sobre produção de alimentos. Trata-se de fontes de dados relevantes, mas sem um detalhamento capaz de diferenciar os diversos extratos de área cultivada (principal meta desta pesquisa). A maior parte dos estudos está centrada em análises globais, tendências e efeitos médios. Entende-se que cada vez mais será preciso trazer novas evidências para auxiliar, tanto produtores rurais, quanto formuladores de políticas públicas, com novas informações a partir das mesmas bases de dados. Cada vez mais será preciso utilizar simulações para auxiliar na gestão agrícola em todo o mundo (GILLER et al., 2015).

A base teórica na qual esta tese esta apoiada é a termodinâmica. A noção de que os processos econômicos são regidos pela lei da entropia conduz a novas abordagens para debater as atividades humanas.

A partir desses elementos gerais o problema de pesquisa pode ser definido da seguinte maneira: quais são os extratos de área mais eficientes em termos de produção, área cultivada e uso de fertilizantes inorgânicos na produção de soja brasileira, com base na bioeconomia?

Mas como realizar tal análise se os dados de interesse estão indisponíveis nos órgãos oficiais? Como superar essa limitação? Essa é uma das principais características da teoria de modelos de entropia generalizada: a partir de dados agregados (médias, desvio-padrão, moda) é possível construir uma imagem (modelo) de qualquer problema, possibilitando a realização de previsões (estimativas) do comportamento passado ou futuro desse sistema (GOLAN, JUDGE E MILLER, 1996; GOLAN, JUDGE, E PERLOFF, 1997; GOLAN, 2007; JAYNES, 2003).

A partir do desenvolvimento da pesquisa com a aplicação dessa teoria foi possível reconstruir uma imagem da produção de soja para anos selecionados. Em resumo, as teorias e procedimentos adotados aqui visam contribuir para o avanço dos métodos quantitativos na Ciência do Agronegócio. Existem muitas aplicações na área de interesse deste estudo e como exemplo tem-se os estudos de: Zhang e Fan (2001), You, Wood e Wood-Schra (2009), Aurbacher e Dabbert (2011), Caticha e Golan (2014), Golan e Seabold (2015), Qi, Liang e Zhang (2015).

Considera-se indissociável do debate sobre o sistema de produção agrícola os estudos conduzidos por Thomas Malthus, Ester Boserup e Nicholas Georgescu-Roegen². Além desses autores, foram selecionados autores que tratam sobre o surgimento da agricultura e da pecuária no mundo (uma literatura predominantemente antropológica). A revisão sobre Economia Circular serve para debater os limites dessa abordagem. Além disso, são feitas considerações sobre Economia Ecológica (outra forma de falar sobre a bioeconomia como campo teórico). A união dessas abordagens permitiu contextualizar os resultados encontrados. Maiores detalhes estão na seção de considerações teóricas.

Os resultados e as discussões apresentam a análise do consumo de fertilizantes nas diferentes categorias de produtores (extratos de área cultivada) para os anos de 1975, 1995, 2006, 2008, 2009 e 2011. Tem-se ainda uma estimativa da função custo para a soja, para os mesmos anos. Analisa-se, a partir desses dados, a eficiência econômica e termodinâmica com base no conceito de Retorno Constante de Produtividade.

Aproveitando o modelo desenvolvido, e sua estrutura de cálculo, apresentam-se 3 cenários, tendo por base algumas hipóteses relativas a volumes de produção e produtividade.

² As bibliografias utilizadas estão citadas ao longo desta tese. Aqui colocou-se como representantes principais da abordagem que desenvolvem.

Essa capacidade da modelagem desenvolvida poderá ser útil para o setor privado e público. A validação dos resultados se deu pelo confronto dos resultados com as pesquisas da Companhia de Abastecimento (CONAB).

Como a variável tempo é secundária, como ficará demonstrado adiante, são feitas projeções para o ano de 2025/2026, mas sem a preocupação de estabelecer esse cenário temporal e, sim, analisar a estrutura do sistema de produção, suas características e como se comportará o consumo de fertilizante a partir dos cenários definidos.

Em síntese, observando o conjunto dos resultados e discussões é possível afirmar que esse estudo configura-se como uma nova evidência relacionada à segurança alimentar. A estrutura teórico-metodológica da pesquisa é uma inovação para a Ciência do Agronegócio. Essa estrutura permitirá que novos dados e informações sejam acrescentados ao debate mundial dos temas relacionados com mudanças climáticas, uso de recursos naturais e produção agrícola. Esse é um dos desejos dos pesquisadores envolvidos: contribuir para o avanço no entendimento do comportamento dos sistemas agrícolas.

E, finalmente, o desafio de compreender elementos multidisciplinares é recompensador. Primeiro, pelo desafio científico e segundo, pela possibilidade de transferir esse conhecimento para a sociedade.

1.1 JUSTIFICATIVAS

A justificativa mais significativa, para a condução deste estudo está no fato de que no Brasil inexistem dados com detalhamento suficiente para permitir a elaboração das análises pretendidas por esta pesquisa. Ou seja, qual o consumo de fertilizantes por extrato de área cultivada para a produção de soja. As bases de dados existentes com tais informações são restritas, sendo propriedade de empresas públicas, institutos de pesquisa e universidades privadas. De maneira geral, existem diversos dados sobre a soja, sobre o consumo de fertilizantes, mas essas bases têm em comum o fato de diversos dados não serem publicados periodicamente como, por exemplo, o Censo Agropecuário, e quando publicados referem-se a dados gerais, volumes totais por estado ou por cidades.

Para o desenvolvimento da pesquisa e atingimento de seus objetivos foi preciso desenvolver uma modelagem capaz de estimar os valores de interesse (quantidade de fertilizantes para diversos anos utilizados por hectare de soja plantada e por tonelada produzida).

A literatura consultada aponta que essa motivação é comum entre os pesquisadores que utilizam a abordagem teórica de modelos de entropia generalizada. Percebeu-se, ao longo da pesquisa, que esses dados obtidos podem ser úteis também para gestores (públicos e privados) apresentando cenários mais detalhados para a tomada de decisão.

De maneira sucinta existem dois desdobramentos da pesquisa: acadêmico e aplicado. Pelo lado acadêmico, tem-se a possibilidade de extrair informações em qualquer nível de agregação desejado, seja espacial (município, estado ou país) ou temporal (para qualquer momento passado ou futuro). Isso possibilita ao pesquisador analisar tendências, buscar padrões, valores discrepantes. Em síntese, novas evidências. Até o início deste estudo essas informações eram reservadas a alguns pesquisadores.

Por que a ênfase no uso de fertilizantes? Harris (1996) argumenta que a taxa de uso dos fertilizantes é representativo de todo um pacote tecnológico (uso de insumos), capaz de diferenciar os diferentes tipos de produtores.

A outra justificativa trata especificamente de como estimar o comportamento dos produtores rurais, em seus diferentes portes? Como propor soluções sem que se possa ter um quadro analítico com detalhes suficientes para auxiliar os decisores públicos e privados ?

Pelo lado aplicado, a robustez metodológica permite aos produtores (cooperativas, associações, indivíduos) a possibilidade de utilizar uma ferramenta que permita realizar cenários. Mesmo aquele com alto nível de conhecimento do negócio e de ferramentas de gestão pode incorporar essa ferramenta, ou até seus resultados, como forma de apoio a decisão ao comparar os resultados de seus dados com os dados do extrato a que pertence como produtor (tamanho de área), po exemplo. Muito se fala sobre a necessidade de capacitação do produtor rural e a ferramenta aqui desenvolvida pode se tornar um serviço de extensão da Universidade. A explicação sobre como isso pode ser implementado foge do escopo do estudo atual, mas entende-se possível.

2 QUESTÕES DE PESQUISA, OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 QUESTÕES DE PESQUISA

Os estudos exploratórios com dados do World Bank (2016) indicaram que houve uma queda no uso de fertilizantes nos anos de 2008 e 2009. No ano de 2009 (ano safra 2008/2009) houve uma queda de 16,41% do volume total de fertilizantes consumidos no Brasil, em relação ao ano anterior. Esse foi o ponto de partida da pesquisa. Os dados utilizados eram relacionados com todo o consumo de fertilizantes do país.

Mas e na produção de soja, qual foi o comportamento do produtor? Pequenos produtores reagem da mesma forma, comparativamente, aos grandes produtores? Qual o comportamento dos produtores médios?³

As perguntas que surgiram nesse momento foram: o produtor de soja diminui o uso de fertilizantes se o preço de compra dos fertilizantes aumenta? Em que medida acontece essa queda?

Qual o efeito desse aumento de preços de compra de fertilizantes⁴, ocasionado, por exemplo, por um aumento nos preços dos insumos dos fertilizantes (mineral)?

De forma auxiliar, e relacionada com as estimativas da função custo de produção: quanto representam os gastos com fertilizantes no custo total de produção de soja? Essa participação é homogênea entre as diferentes áreas de produção? Produtores de grande porte tem um custo menor por hectare, em relação aos pequenos e médios produtores?

2.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

Tem-se como objetivo geral desenvolver e validar uma estrutura analítica capaz de definir o comportamento das principais variáveis do sistema de produção agrícola de soja no Brasil, levando em conta as diferentes áreas de propriedade rural.

Os objetivos específicos compreendem:

- Estimar a produção agrícola e a área destinada para produção de soja no Brasil, considerando os diferentes extratos de área cultivada, para diferentes anos selecionados;

³ Essa divisão entre pequenos, médios e grandes é feita com base nos extratos de produtores definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Maiores detalhes na seção de procedimentos metodológicos.

⁴ A hipótese mais evidente para o aumento de preços foi um salto de mais de 1000% no preço da rocha de fósforo no ano de 2008. Outros itens das formulações de fertilizantes também obtiveram aumento nesse período.

- Estimar os coeficientes da função custo da soja no Brasil, para os diferentes extratos de área;
- Estimar a quantidade de fertilizantes utilizada por hectare e por tonelada de soja no Brasil, considerando os diferentes extratos de área e o tipo de nutriente;
- Desenvolver cenários de produção de soja, de área e de utilização de fertilizantes;
- Desenvolver cenários para o custo de produção da soja no Brasil, em seus diferentes extratos de área;
- Analisar a eficiência de produção de soja, com base nos extratos de área cultivada.

2.3 HIPÓTESES

- H1: O preço de venda da soja é o principal indicador que o produtor de soja leva em consideração ao decidir o volume de produção para o ano seguinte.
- H2: Se o preço da soja para o ano seguinte é considerado relativamente alto em relação ao ano anterior o produtor rural é indiferente ao aumento dos preços dos fertilizantes.
- H3: Os produtores diminuem o uso de fertilizantes expandindo as áreas destinadas para a soja, tentando manter a produtividade média.
- H4: Caso existam variações na quantidade de uso de fertilizantes, essas variações são homogêneas entre os produtores grandes e pequenos, dado que participam da mesma cadeia produtiva.

3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

3.1 A TRAGÉDIA DA HUMANIDADE

O debate que se estabelece nesta tese parte da percepção de desajuste entre as atitudes humanas e a finitude de recursos disponíveis para atender a todos, principal conclusão das leituras realizadas. Entende-se que este trabalho se configura como uma fotografia e que é útil acrescentar alguns detalhes à paisagem que se apresenta. De maneira direta, as considerações teóricas embasam a discussão dos resultados de pesquisa, fornecendo elementos para a construção global do estudo. Por essa razão se aborda a Economia Circular. Inexiste aqui o desejo de ser abrangente. São abordados tópicos específicos para o debate. Ao abordar sobre Economia Ecológica o objetivo é deixar claro quais são as bases teóricas em que são construídos os argumentos.

Um desses elementos refere-se ao trabalho de Hardin (1968) em sua tragédia dos comuns. Dada à multiplicidade de formações que a Ciência do Agronegócio possui, acredita-se que uma transcrição livre do artigo seja útil. Menos pela tradução, e mais por destacar elementos para o debate geral.

Quadro 1 - A Tragédia dos Comuns

A refutação à mão invisível no controle da população pode ser encontrada em um cenário primeiro esboçado em um panfleto pouco conhecido em 1833 por um amador matemático chamado William Forster Lloyd (1794-1852). [...]. A tragédia dos comuns desenvolve-se dessa maneira. Imagine uma pastagem aberta a todos. É de se esperar que cada pastor tente manter o maior número de gado possível na pastagem comum. Tal arranjo pode funcionar satisfatoriamente durante séculos, porque as guerras tribais, a caça furtiva e a doença mantêm o número de homens e animais bem abaixo da capacidade de suporte da terra. Finalmente, no entanto, vem o dia em que a estabilidade social se torna uma realidade (população estável e crescente). Neste ponto, a lógica inerente dos bens comuns gera sem remorso a tragédia. Como um ser racional, cada pastor procura maximizar seu ganho. Explicitamente, ou, implicitamente, mais ou menos conscientemente, ele pergunta: “Qual a utilidade de adicionar mais um animal ao meu rebanho? Essa utilidade possui dois componentes: negativo e positivo. O componente positivo é a função do incremento de um animal. Uma vez que o pastor recebe todo o produto da venda do animal adicional, a utilidade positiva é quase +1. O componente negativo é uma função do sobrepastoreio adicional criado por mais um animal. Uma vez que, no entanto, os efeitos do sobrepastoreio são compartilhados por todos os pastores, a utilidade negativa para qualquer pastor de decisão particular é apenas uma fração de -1. [...] O pastor racional descobre que o único curso sensato a seguir é adicionar outro animal para o seu rebanho, e outro, e outro. Mas esta é a conclusão de todos os pastores que compartilham a área comum. **Aí está a tragédia. Cada homem está preso a um sistema que o obriga a aumentar seu rebanho sem limites - em um mundo que é limitado.** A ruína é o destino em direção ao qual todos os homens correm, cada um buscando seu próprio interesse em uma sociedade que acredita na liberdade dos comuns. A liberdade em um bem comum traz a ruína a todos. [...] a seleção natural favorece as forças da negação psicológica.

O indivíduo se beneficia como indivíduo de sua capacidade de negar a verdade, mesmo que a sociedade como um todo, da qual ele faz parte, sofra. A educação pode contrariar a tendência natural de fazer a coisa errada, mas a inexorável sucessão de gerações exige que a base desse conhecimento seja constantemente atualizada.

Fonte: HARDIN, G. (1968, p. 1244 – 1245, grifo nosso).

Nesse artigo, Hardin (1968) diz que o problema da humanidade não possui uma solução técnica (tecnológica), requer um aumento da consciência moral. Soluções tecnológicas não requerem nenhuma alteração nos valores da humanidade. Ao tratar sobre o problema da humanidade, população e recursos necessários, o autor considera que é impossível maximizar duas variáveis ao mesmo tempo.

O planeta terra possui recursos finitos, portanto, não pode suportar um crescimento infinito da população. Não há solução tecnológica para essa questão. Cada pessoa demanda energia e materiais. Essa energia pode ser dividida: parte é utilizada para manter-se vivo e outra parte é utilizada para divertir-se, enfim, para qualquer atividade que não seja a de estar vivo. Para maximizar o tamanho da população a solução óbvia é manter os outros tipos de consumo próximos de zero, ou completamente nulos.

Ao perseguir as “necessidades” a humanidade estará caminhando para o fim dos recursos naturais. Ou seja, a demanda por recursos pode ser infinita, mas a oferta (dada pela natureza) é finita, por qualquer disciplina que se queira olhar (economia, ecologia, física).

Cada pessoa no planeta perseguindo seu próprio interesse pensa estar agindo de acordo com um sentimento moral justificável. Afinal, trata-se de sobrevivência. Mas o quanto utilizamos de recursos para nos manter vivo, e o quanto gastamos em outras atividades? O quanto pode ser reduzido?

No caso de alimentos, tem-se diversas abordagens que tratam sobre desperdícios (na produção, na distribuição e no consumo final). Como esse tópico é secundário nesta tese, sugere-se como leitura: Beausang, Hall e Toma (2017). O estudo de Karthikeyan, Mehariya e Wong (2017) traz um debate sobre o aproveitamento de resíduos de alimentos para a produção de combustíveis. Atitudes conflitantes sobre o desperdício de alimentos pode ser lido em Russel et al.(2017). Esse último artigo alinha-se ao debate sobre comportamento humano e o uso de recursos.

Aumentar a produção em um mundo finito torna-se um desafio, considerando ambiente e sustentabilidade. Essa é a grande tragédia. Algum crítico dessa conclusão pode argumentar que sem crescimento não há desenvolvimento, como é disseminado nas Escolas

de Economia, e outras escolas. Embora isso possa ser uma premissa sedutora, como é possível que tal situação seja factível?

Será a tecnologia a resposta para essa questão? Que meios tecnológicos existem para resolver essa questão? Para tentar responder a essa questão utiliza-se aqui dois conceitos da termodinâmica: entropia e exergia.

A termodinâmica se constitui como a principal disciplina da Bioeconomia. Embora não se trate especificamente de cálculos de eficiência termodinâmica, o conceito e as consequências derivadas desse entendimento estão subjacentes no debate colocado nesta tese. Esclarece-se que maiores detalhes do que os apresentados sobre aspectos teóricos da termodinâmica podem ser encontrados na literatura especializada, caso seja de interesse do leitor.

3.2 TERMODINÂMICA, POPULAÇÃO E USO DE RECURSOS NATURAIS

3.2.1 GEORGESCU-ROEGEN E A TERMODINÂMICA

O processo econômico possui diversos desdobramentos. A principal diferença, segundo Georgescu-Roegen (1975), entre o processo econômico e os processos que ocorrem na natureza é a velocidade das mudanças, e a abrangência do impacto sobre o meio ambiente causado pelo homem. Destaque-se que uma das grandes contribuições do autor repousa justamente nesse debate, introduzindo a análise termodinâmica nos processos econômicos. Segundo o autor, a humanidade criou membros destacáveis – órgãos exossomáticos – ao invés de esperar por mutações biológicas. Esse conceito o próprio Georgescu debita a Alfred Lotka.

Segundo Bobulescu (2015), Alfred Lotka é um dos precursores da Economia Ecológica, junto com Georgescu-Roegen. Ainda segundo Bobulescu (2015), para Lotka o termo economia biofísica, especificamente, visa analisar a evolução exossomática das espécies humanas, o que influenciou a abordagem de Georgescu-Roegen.

Com essa evolução exossomática, a humanidade viciou-se no conforto proporcionado por esses membros destacáveis, o que obrigou o homem a se tornar um agente geológico, que acelera continuamente a degradação da entropia do estoque finito de recursos minerais. O autor conclui:

A única solução humana para a explosão populacional é uma diminuição constante da fertilidade. Os sinais das terríveis consequências da pressão da população sobre a

capacidade de suporte da terra e da fome - eram visíveis (para quem estava disposto a vê-los) muito antes das notícias sobre o consumo de energia começarem. Já na década de cinquenta, a produção de alimentos precisava ser aumentada em pelo menos trinta por cento para satisfazer as necessidades nutricionais básicas de todos (GEORGESCU-ROEGEN, 1975, p. 12).

A energia que flui em todo o meio ambiente passa a ser analisada, determinando-se a importância para explicar a evolução das espécies e também do meio ambiente.

[...]. A teoria de Lotka implica que o princípio da maximização natural do fluxo de energia é a própria base da vida. [...] A lei da seleção só pode ser identificada com a lei da evolução se uma determinada condição for satisfeita: o aumento da massa total e da taxa de circulação da matéria e do fluxo de energia através do sistema. É por isso que a lei da evolução é um princípio máximo. A principal contribuição de Lotka consiste em mudar a visão da evolução. Ele descreve o processo de evolução como o fluxo de modificações na distribuição da matéria em um sistema físico. Portanto, o estudo da evolução consiste em duas subdisciplinas: a cinética da evolução (a circulação da matéria no sistema ou a estequiometria) e a dinâmica ou a energia da evolução, com base na circulação de energia. Nesta perspectiva, a intervenção do homem através da atividade econômica é objeto de estudo em si. A espécie humana é claramente o principal vetor de energia e circulação em massa e o estudo da atividade humana e seu impacto na evolução devem ser parte de um projeto biofísico, como sugerido por Lotka. [...] As atividades humanas não podem ser separadas de seu ambiente, de suas interações com outras espécies, ou da matéria e energia que circulam pelo sistema (BOBULESCU, 2015, p. 197).

Uma distinção útil pode ser feita entre Economia Ecológica e Economia Ambiental. Segundo Herrmann-Pillath (2015) pode-se diferenciá-las levando em conta os seguintes contornos teóricos:

- A economia ambiental trata o meio ambiente como uma restrição de processos econômicos e crescimento em particular, que podem ser superados pela inovação tecnológica, especialmente no sentido de que a tecnologia é um substituto perfeito para os recursos naturais, energia incluída. Além disso, e o mais importante, o objetivo da atividade econômica é aumentar o bem-estar humano em termos de bens econômicos, portanto, criação de valor.
- A economia ecológica trata a economia humana e o ambiente natural como um sistema integrado, de modo que as leis e regularidades das ciências naturais sejam incluídas na análise econômica (por exemplo, fluxos de materiais). Muitas contribuições para a economia ecológica também questionam a prioridade dos objetivos humanos e, em vez disso, introduzem metas relacionadas à sustentabilidade geral do sistema ecológico, isto é, a vida na Terra (como no pensamento da "ecologia profunda").

Para um debate sobre a Economia Ecológica sugere-se o artigo de Spash (2012). O autor apresenta uma crítica a abordagens teóricas desconexas com a essência da Economia

Ecológica, e apresenta uma proposta de sistematização de pressupostos ontológicos, epistemológicos, metodológicos e éticos para as pesquisas nesse campo teórico. Essa colocação serve para contextualizar melhor tanto a abordagem de Georgescu-Roegen, quanto o desenvolvimento desse estudo. O autor afirma:

[...]. **Ontological Presuppositions:** Biophysical and social realities are distinct but are interconnected; **Epistemological Claims:** Knowledge is subject to reasoned critique and empirical investigation; Advancing knowledge requires accepting and rejecting information and being open to revising beliefs. **Methodological Positions:** structured methodological pluralism requires working across fields of knowledge with those who share a common ontology and epistemology; **Ideological beliefs:** Ethical neutrality should be rejected and ethical positions made explicit; There are more meaningful aspirations for human existence than hedonism (e.g. invoking philosophical concepts such as flourishing, a ‘worthwhile life’, the ‘good-life’); Restrictions are necessary on population growth and the scale of human activity [...] (SPASH, 2012, p. 45, grifo nosso);

O autor fala ainda que dentro da Economia Ecológica o pluralismo de abordagens deve ser reavaliado, pois teorias neoclássicas acabam por atrasar o progresso epistemológico da Economia Ecológica. Se as pessoas querem manter essa abordagem, devem fazer em outro espaço de debate. A frase final do autor demonstra a principal preocupação:

[...] Ecological economics as a conservative movement is an unnecessary waste of time, merely shadowing environmental and resource economics. Ecological economics as a radical movement is required today, more than ever, in order to criticise and change the social organisations and institutions that spread false beliefs about economic, social and environmental reality (SPASH, 2012, p. 45).

Em contraposição a estas considerações, os Economistas acreditam que os problemas humanos podem ser resolvidos se os preços estiverem certos. Georgescu-Roegen (1975) argumenta, no entanto, que somente se nossos valores⁵ forem certos, os preços também serão. Os preços são apenas elementos “ingênuos” da luta econômica da espécie humana. Em relação aos recursos naturais, os preços atuais desses recursos não refletem as necessidades das gerações futuras, por um simples motivo: essas gerações não podem interferir no mercado atual (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

A preferência entre o presente e o futuro é ineficaz para a alocação intergeracional de recursos, segundo Georgescu-Roegen (1975). Um indivíduo pode ser impaciente e míope, preferindo uma maçã hoje ao invés de esperar até amanhã. Sua condição mortal o obriga a tal comportamento. Mas a espécie humana, ou uma nação, deve ter uma visão mais clara, ou seja,

⁵ Apenas para esclarecer: valores referem-se tanto a questões morais, quanto a utilidade que damos as coisas (bens de consumo, por exemplo). Do ponto estritamente microeconômico a utilidade é um modo de descrever as preferências. Ou seja, se a natureza é de pouca utilidade o valor atribuído também será baixo. Portanto, do ponto de vista econômico, o preço relativo atribuído pelo agente econômico também será baixo (comparando-se a outros itens dessa cesta imaginária que são as escolhas dos agentes). Uma explicação mais detalhada pode ser encontrada em manuais de microeconomia.

inexistem motivos para ser míope. Evitar o desperdício de recursos (terra, água, minerais) ou mesmo, o uso racional desses recursos somente pode ser conseguido via uma interferência do Estado (regulação), pois dada a natureza entrópica do processo econômico, inclusive o desperdício é um “produto inevitável”. Os mecanismos de mercado são inócuos para evitar o desperdício. Mecanismos de mercado não podem proteger a humanidade de crises ecológicas no futuro. A única maneira de proteger as gerações futuras é ter alguma simpatia por eles e reeducar-nos para consumirmos menos recursos, embora isso possa soar utópico (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Economistas supõem, de maneira mecanicista, que crises econômicas não deixam “marcas” na economia. Que existe uma total reversibilidade, o que contraria a segunda lei da termodinâmica (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

O processo econômico ocorre por meio de trocas com o meio ambiente, alterando-o de forma cumulativa. Economistas clássicos chamaram a atenção para esse fato. Malthus, em particular, insistiu na relevância econômica dessa interferência. As principais escolas de pensamento econômica compartilham do mito de um estado estacionário, na qual o fluxo material emerge de forma invariável. Esse mito é, inclusive, compartilhado por alguns ecologistas. Em outras palavras, um mundo estacionário, com uma população em crescimento zero, pode acabar com o conflito ecológico da humanidade. Nessa situação a humanidade não terá mais que se preocupar com a escassez de recursos, ou com a poluição. Existe ainda outro mito econômico: o de que a humanidade sempre conseguirá encontrar novas fontes de energia e novas maneiras de aproveitá-las em seu benefício (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Para os autores clássicos, o objetivo central da economia política é o estudo da distribuição e uso do excedente, que tem profundas implicações para a economia. Para os economistas políticos clássicos, o conceito analítico chave é o excedente, e não a escassez, como na economia neoclássica. As *commodities* escassas, para os autores clássicos, constituem um caso particular, como o de bens raros, objetos artísticos e recursos naturais (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

A principal forma de argumentar de forma contrária aos mitos estabelecidos em diversas áreas sobre o uso de recursos pela humanidade é analisar a termodinâmica. Os economistas, por exemplo, em sua abordagem baseada na mecânica Newtoniana acreditam que tudo pode ser revertido, tudo pode estar em movimento perpétuo. Tudo tende ao equilíbrio, pelo simples movimento das variáveis econômicas, em qualquer sentido (GEORGESCU-ROEGENS, 1975).

Como exemplo da forma como são construídos os argumentos contrários a exaustão dos recursos naturais, tem-se os estudos de Mitra e.t.al.(2013) e de . Uma conclusão típica pode ser encontrada em Benchekroun e Withagen (2011, p. 624) : [...] acumulação de capital e extração de recursos não são afetadas pela restrição de recursos, portanto, o consumo ideal, bem como o capital criado pelo homem, ao longo do caminho ótimo, ainda possuem a mesma "forma".

A principal forma de argumentar de forma contrária aos mitos estabelecidos em diversas áreas sobre o uso de recursos pela humanidade é analisar a termodinâmica. Os argumentos acima se baseiam numa abordagem baseada na mecânica Newtoniana, e que leva os economistas a acreditarem que tudo pode ser revertido, tudo pode estar em movimento perpétuo. Tudo tende ao equilíbrio, pelo simples movimento das variáveis econômicas, em qualquer sentido. A primeira lei da termodinâmica, princípio da conservação da energia, aproxima-se dessa definição. Em termos resumidos: a energia total de um sistema se mantém constante. Assim como na mecânica, pois o trabalho é apenas uma das muitas formas de energia, é possível, teoricamente, que exista o movimento perpétuo (conservação da energia mecânica). Essa lei não leva em conta a distinção entre energia disponível e não disponível. Por si só, a lei não exclui a possibilidade de que uma quantidade de trabalho seja transformada em calor e esse calor seja reconvertido na quantidade inicial de trabalho. Permite, portanto, que qualquer processo ocorra tanto para frente como para trás, de modo que tudo seja novamente exatamente como era no início, sem deixar o rastro do acontecimento (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Mas a distinção não significa que o homem possa realmente usar qualquer energia disponível, independentemente do local e da forma em que é encontrada. Se a energia disponível é para ter algum valor para a humanidade, também deve ser acessível. A energia solar e seus subprodutos são acessíveis praticamente sem esforço, sem consumo de energia disponível adicional. Em todos os outros casos, devemos gastar algum trabalho e materiais para explorar uma fonte de energia disponível. O ponto aqui é que, mesmo que possamos aterrisar em Marte e encontrar alguns depósitos de gás, a energia disponível não será acessível para nós se ela custar energeticamente mais do que a energia equivalente de um pé cúbico de gás acessível na Terra. Certamente, existem poços de petróleo dos quais podemos extrair uma tonelada de óleo usando para isso mais de uma tonelada de óleo. O petróleo em tal lugar ainda representaria energia disponível, mas não acessível. As reservas reais de combustível fóssil são certamente maiores do que as conhecidas ou estimadas. Mas é igualmente certo que uma

parte substancial das reservas reais não constitui energia acessível (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

O que é comumente utilizado nas demonstrações teóricas da termodinâmica explicitam apenas a energia, mas a lei é igualmente válida para a matéria. Pode-se queimar um pedaço de carvão mais devagar ou mais rapidamente. Mas, uma vez queimado, a energia disponível é irrevogavelmente degradada na forma indisponível. O mesmo ocorre com a matéria do estoque mundial de carvão. Tanto a energia disponível como a matéria disponível podem ser usadas apenas uma vez. Segundo o autor, curiosamente, no entanto, a tecnologia, em vez de economizar a matéria e a energia disponíveis, muitas vezes incentivou as pessoas a desperdiçá-las. O que estabelece uma congruência com o paradoxo de Jevons⁶. Os grandes avanços no progresso tecnológico geralmente foram desencadeados pela descoberta de como usar um novo tipo de energia acessível. Por outro lado, um grande passo no progresso tecnológico não pode se materializar a menos que a inovação correspondente seja seguida por uma grande expansão mineralógica (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Omitir a matéria do debate provém da equivalência entre matéria e energia desenvolvido por Einstein ($E = mc^2$). Mas nas condições em que a vida na terra é possível a fórmula funciona no sentido da massa para energia.

A termodinâmica estabelece que o homem somente pode utilizar uma forma particular de energia. A energia passou a ser dividida em disponível (livre), que pode ser transformada em trabalho, e energia não disponível, que não pode ser transformada. Essa divisão é claramente antropomófica, como nenhuma outra na ciência. A energia, independente da qualidade, está sujeita a lei da conservação (primeira lei), que é formalmente idêntica a lei da conservação da energia mecânica. A qualidade da energia é denominada como entropia. A definição mais simples de entropia é a de que ela representa um índice da quantidade de energia não disponível em um determinado sistema termodinâmico, em um determinado momento de sua evolução (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

A entropia, segundo a termodinâmica estatística, representa (em termos simples) o nível de organização de um dado sistema. É possível saber como se encontra um determinado sistema de partículas a partir de suas propriedades como pressão, volume, e também entropia. A termodinâmica, por sua vez, caracteriza a entropia como uma medida da irreversibilidade

⁶“É um completo engano supor que um uso mais eficiente dos combustíveis implicará numa redução do seu consumo. A verdade é precisamente o oposto”. Ou seja, à medida que o progresso tecnológico consegue aumentar a eficiência com que um recurso é usado, o seu consumo total pode aumentar em vez de diminuir”. JEVONS, W.S. *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. Disponível em: <http://www.econlib.org/library/YPDBooks/Jevons>.

dos processos físicos. Clausius formula a base da termodinâmica: A energia do Mundo é constante e a entropia do mundo tende a um máximo (primeira e segunda leis da termodinâmica)(MORAN e SHAPIRO, 2006).

Outra forma de explicar o que vem a ser entropia, do ponto de vista da termodinâmica é: o calor flui do corpo mais quente para o mais frio, nunca em sentido inverso. Ou seja, a entropia somente admite um sentido, não sendo possível voltar no tempo. Um sistema qualquer irá evoluir de forma que toda energia disponível se transforme e não reste mais nenhuma capacidade desse sistema realizar qualquer tipo de trabalho (pois não há energia disponível) (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Um dos pontos centrais nesse debate desenvolvido por Gerogescu-Roegen (1975) é: a lei de entropia (segunda lei da termodinâmica) é a base da escassez econômica. Segundo o autor, se não fosse por esta lei, poderíamos usar a energia de um pedaço de carvão uma e outra vez, transformando-o em calor, o calor no trabalho e o trabalho de volta ao calor. Além disso, motores, casas e até organismos vivos nunca se desgastariam.

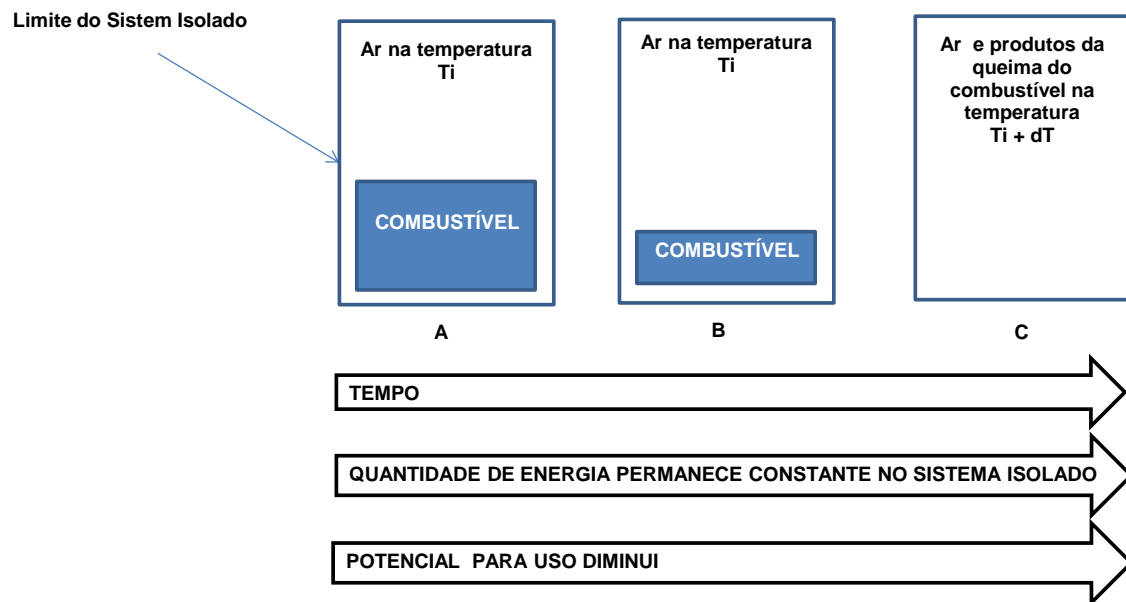
“Fiquei interessado na natureza da entropia do processo econômico. Será que a humanidade escuta qualquer programa que implique uma constrição do seu vício em conforto exossomático? Talvez, o destino do homem seja ter uma vida curta, mas ardente, excitante e extravagante, em vez de uma existência longa, sem intercorrências e vegetativas. Deixe outras espécies - as amebas, por exemplo -, que não têm ambições espirituais, herdar uma terra ainda banhada com muita luz do sol” (GEORGESCU-ROEGEN, 1975, p. 35).

A formalização matemática sobre o conceito de entropia e o de exergia ocuparia muito espaço neste documento. Busca-se apontar os elementos gerais, deixando ao leitor consultar a literatura citada para esclarecimentos específicos. Para um debate sobre exergia, entropia e suas aplicações para a análise dos processos pode ser consultado Romero e Linares (2014).

Para ilustrar o conceito de exergia (capacidade de realizar trabalho) apresenta-se a Figura 1. Trata-se de uma explicação simplificada. Na situação A o sistema possui uma capacidade de realizar trabalho, dado pela energia contida no combustível. Imagine que esse combustível é utilizado para aquecer uma determinada quantidade de água, não explicitada no esquema. Para um exemplo sobre análise exérgica em combustíveis ver Dewulf, Van Langenhove e Van de Velde(2005).

Com o passar do tempo, a energia total do sistema se mantém constante (primeira lei da termodinâmica), mas o aumento da entropia do sistema, com a queima do combustível, torna cada vez menos disponível a energia contida no combustível (situação B), até que não existe mais nenhuma capacidade de aquecer a água (exergia= 0 e entropia máxima na situação C). Esse é , simplificadoamente, o entendimento sobre exergia.

Figura 1 - Esquema Simplificado sobre Exergia

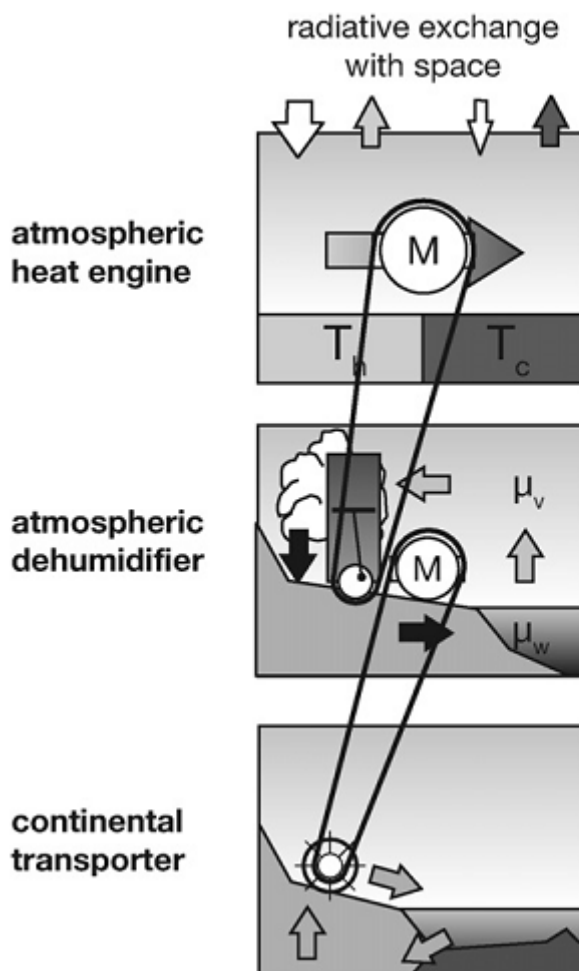


Fonte: Adaptado de Moran e Shapiro. (2006, p. 273).

Kleidon (2010) faz uma revisão sobre os conceitos de entropia e exergia, trazendo diversos exemplos. Mas o entendimento da Figura 2 é esclarecedor em termos de uso de recursos. Essa noção sobre exergia aplicada ao planeta terra também é utilizada no trabalho de Ming et al. (2010), em que o autor apresenta o conceito de exergia cósmica.

Sinteticamente, esse conceito considera toda a terra uma máquina térmica, envolvida num sistema que engloba o Sol (reservatório de calor) e o fundo do Universo (reservatório frio). Ao considerar a terra como uma máquina termodinâmica, todos os processos que ocorrem na terra são transformações termodinâmicas. Um campo de soja, uma cidade, o ser humano. Existe uma quantidade de energia que entra que é convertida basicamente em trabalho, e parte dessa energia se perde, pois inexistente a capacidade de converter 100% da energia que chega aos diferentes sistemas. Lembrando que um sistema é basicamente um recorte que se deseja analisar. Basta que o pesquisador defina quais são esses limites.

Figura 2 - Exemplo de Máquina Térmica - Oceano/Atmosfera

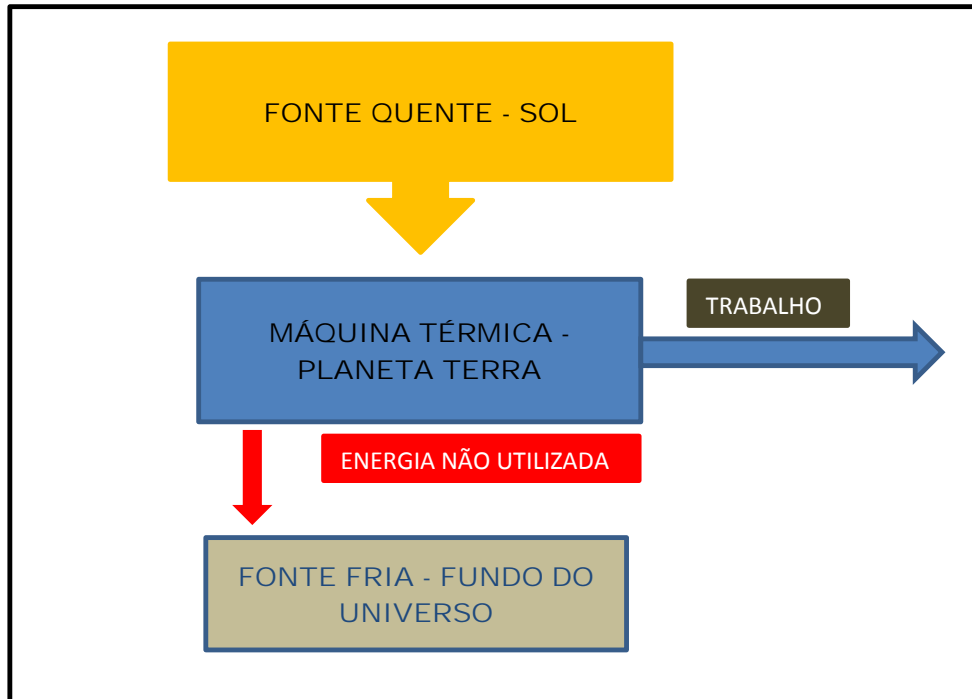


Comentários do autor: Ilustração da formação de uma hierarquia baseada na transferência de energia. Um gradiente radiativo conduz o motor do calor atmosférico (figura superior). Este motor térmico, que funciona como um motor (indicado pela "M"), pode desencadear outros processos fora do equilíbrio, conforme indicado pela "correia" em torno do motor. Mostrado aqui é a conexão ao ciclo hidrológico global, onde o motor atmosférico dirige o desumidificador e, assim, o ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico, com o transporte líquido de água dos oceanos para a terra, pode ser visto como outro motor que impulsiona o escoamento continental. Isso, por sua vez, atua como um motor para transportar material de rocha em forma suspensa e dissolvida de terra para oceano.

Fonte: Kleidon, A.(2010, p.428).

Na Figura 3 Ming et al.(2010) estabelecem que a terra está em um sistema termodinâmico composto pela energia que chega do Sol, pelas transformações que ocorrem dentro do planeta e pela perda inevitável. O planeta terra também possui uma capacidade máxima de converter em trabalho (para os inúmeros processos que ocorrem dentro dele), existe um limite de eficiência para todo e qualquer sistema.

Figura 3 - Sistema Termodinâmico Simplificado – Terra/Universo



Fonte: baseado em Ming et al.(2010).

Nessa Figura 3 o principal indutor do sistema terrestre é o fluxo de exergia cósmica, que é derivado da diferença de temperatura entre a radiação solar (fonte de calor) e o que eles chamaram de fundo do universo (fonte fria). Essas considerações contextualizam a abordagem tratada até o momento. Demonstram parcialmente que os processos são dinâmicos e o mais significativo: a segunda lei da termodinâmica rege todos os processos dentro da terra. A eficiência exergética em máquinas térmicas leva em conta a diferença de calor entre as duas fontes para analisar o quanto foi gerado de trabalho a partir do fornecimento de calor da fonte quente. Em essência trata-se de rendimento máximo. Esse é o principal ponto em termodinâmica.

A exergia (ω) pode ser simplificada representada pela variação da entropia entre dois momentos, considerando sempre a temperatura de referência do sistema (no caso da Terra é o fundo do universo). Os mecanismos de transferência de exergia são os mesmos da energia (pelo calor, massa ou trabalho). A variação na exergia é dada pela variação da entropia (S) de um sistema entre dois estados de equilíbrio.

$$\Delta \omega = T_o(S_2 - S_1)$$

T_0 é a temperatura do fundo do universo, no caso considerado aqui. Normalmente considera-se a temperatura no entorno dos sistemas analisados. Uma definição que precisa ficar clara é o de sistema termodinâmico.

Esse sistema é um espaço ou região, definido por limites reais ou imaginários, que selecionamos com o objetivo de delimitar o estudo da energia e suas transformações. O sistema selecionado poderá ser grande ou pequeno, como por exemplo, um sistema de refrigeração de um refrigerador ou condicionador de ar, ou simplesmente o gás que ocupa o espaço do cilindro num compressor. Outra característica do sistema é a que o define como fechado ou aberto. Um sistema fechado é aquele em que somente a energia transpõe os limites do sistema, enquanto no aberto, tanto a energia quanto matéria transpõe os limites (MORAN e SHAPIRO, 2006).

Em termos gerais a eficiência termodinâmica representa a quantidade de insumo transformada em produto, ou dito de outra forma, o rendimento em trabalho de uma dada fonte de calor – considerando as máquinas térmicas. Existem diversas medidas de eficiência na termodinâmica. A avaliação do processo irá depender de que forma será calculada. Essa avaliação também pode ser feita em termos de trabalho realizado a partir de determinada quantidade física (massa) de insumo. Qualquer produto pode ser convertido para uma quantidade de energia, caso seja necessário. Inexiste uma única métrica de eficiência termodinâmica, pois essa eficiência irá depender sempre das condições do sistema, e do que se deseja medir (MORAN e SHAPIRO, 2006).

O processo econômico, como qualquer outro processo de vida, é irreversível, portanto, não pode ser explicado em termos mecânicos isolados. É a termodinâmica, através da lei da entropia, que reconhece a distinção qualitativa que os economistas deveriam ter feito desde o início entre os insumos de recursos valiosos (baixa entropia) e os resultados finais de resíduos sem valor (alta entropia). Acrescente-se que uma baixa entropia significa alta exergia (capacidade de realizar trabalho), e uma alta entropia significa uma baixa exergia (baixa capacidade de realizar trabalho). O paradoxo sugerido por este pensamento, a saber, é o de que todo o processo econômico transforma a matéria e a energia valiosas em resíduos (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

As leis atuais da física e da química não explicam completamente a vida. Mas o pensamento de que a vida pode violar alguma lei natural não tem lugar na ciência. No entanto, como já foi observado - e mais recentemente em uma admirável exposição de Erwin Schrödinger - a vida parece fugir da degradação da entropia a que a matéria inerte está sujeita. A verdade é que qualquer organismo vivo simplesmente se esforça em todos os

momentos para compensar sua própria degradação de entropia contínua sugando baixa entropia (negentropia) e expulsando alta entropia. Claramente, esse fenômeno não é excluído pela lei de entropia, que exige apenas que a entropia de todo o sistema (o meio ambiente e o organismo) aumente. Tudo está em ordem, desde que a entropia do ambiente imediato ao sistema analisado, aumente mais do que a entropia compensada do organismo, mantendo a quantidade total de energia do sistema (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Os sistemas econômicos e os planos econômicos sempre foram avaliados apenas em relação à sua capacidade de manter uma grande taxa de crescimento econômico. A própria teoria do desenvolvimento econômico é ancorada solidamente em modelos de crescimento exponencial. Porém, isso se torna uma impossibilidade pelas razões já expostas. Segundo Georgescu-Roegen (1975, p. 21), Malthus foi criticado principalmente porque assumiu que a população e os recursos crescem de acordo com algumas leis matemáticas simples. Mas essa crítica não tocou o erro real de Malthus (que aparentemente passou despercebido). Este erro é a suposição implícita de que a população pode crescer para além de qualquer limite tanto em número quanto em tempo desde que não cresça rapidamente. Esse erro remete a suposição de estado estacionário, já assinalado. Nessa conclusão reside o mito da salvação ecológica. Desde que a população e os estoques permaneçam no estado estacionário. Para uma síntese da vida e obra de Malthus sugere-se: Dupâquier (2015).

Uma simples elaboração algébrica feita por Georgescu-Roegen (1975) pode demonstrar essas relações. Considere:

P_i = população mundial no ano i
 s_i = taxa de depleção de recursos no ano i
 L = total da vida na terra
 S = total de recursos disponíveis na terra
 n = máximo de duração da espécie humana

Tem-se então:

$$L = \sum P_i (A)$$

E as restrições:

$$\sum P_i s_i \leq S (B)$$

$$P_i = 0 \text{ para algum } n (B.1)$$

$$P_i > 0 \text{ para qualquer outro caso } (B.2)$$

Omitiu-se os limites inferiores e superiores apenas por simplicidade da explicação. Essas duas equações demonstram que há uma confusão entre fluxo finito e estoque finito.

A quantidade de população, seja ela de qual tamanho for, irá se aproximar cada vez mais do estoque total disponível S . Mesmo que em alguns momentos esse movimento seja mais lento, como propõem os Economistas de diversas Escolas. As restrições B.1 e B.2 definem a regra para os números da população. Em dado momento a população poderá ser zero, mas esse limite é desconhecido. Para todos os outros casos a população assume algum valor, ou seja, irá consumir recursos. Dito de outra forma, mesmo que a população e a taxa de uso se mantenham constantes, o consumo total acumulado irá reduzir os estoques até o completo uso desse estoque.

O erro crucial consiste em não ver que tanto o crescimento, quanto o crescimento zero, e mesmo um decréscimo, não podem existir para sempre em um ambiente finito. O erro talvez derive de alguma confusão entre estoque finito (S) e taxa de fluxo finito (s) (GEORGESCU-ROEGER, 1975).

Nem mesmo a estrutura mecanizada e tecnológica da agricultura moderna pode superar o limite terrestre. O que a técnica agrícola moderna faz é aumentar a quantidade de fotossíntese no mesmo pedaço de terra cultivada. Existe apenas um caminho ditado pela segunda lei da termodinâmica: baixa entropia para alta entropia. E isso significa cada vez menos energia acessível para realizar trabalho. Os recursos naturais possuem um forte retorno decrescente. Reciclar, neste caso, dificilmente pode ajudar. A situação é particularmente angustiante para os elementos que, além disso, são encontrados em uma oferta muito pequena no meio ambiente. O fósforo, um elemento altamente crítico nos processos biológicos, parece pertencer a esta categoria. O hélio também é outro elemento com um papel estritamente específico. Um ponto importante - aparentemente ignorado pelos economistas - é o de que a reciclagem não pode ser completa (GEORGESCU-ROEGER, 1975).

Outro dos argumentos favoritos dos economistas para refutar a natureza entrópica do processo econômico é que é impossível saber qual o real volume do estoque dos recursos naturais, seja pela descoberta de novas fontes, ou por uma nova tecnologia de conversão industrial. De novo, e sempre, a tecnologia como salvação para os limites humanos, o que contraria a lei da entropia (GEORGESCU-ROEGER, 1975).

Esse discurso sobre a renovabilidade e a ignorância acerca da segunda lei da termodinâmica dos recursos ainda é forte, como se pode ler em:

“A maioria dos usos da terra no entanto - com exceção do urbano - depende do solo, que é um recurso renovável: a qualidade do solo pode ser aprimorada e restaurada através do gerenciamento, permitindo reutilizar a terra. O raciocínio por trás da

produção máxima não se aplica a recursos renováveis: um "pico" na produção de recursos, seguido de um declínio, só é possível para recursos não renováveis. [...] O uso da terra raramente leva a um esgotamento do recurso, pois, com investimentos adequados na manutenção da produtividade, a **terra pode ser mantida em uso indefinidamente**. Nesse caso, a taxa de conversão de terra é impulsionada somente pela demanda incremental acima da linha de base" (LAMBIN, 2012, p.84, grifo nosso).

E, finalmente, segundo Georgescu-Roegen (1975), o fato é que, por mais desagradável que seja, o máximo que podemos fazer é evitar o esgotamento desnecessário de recursos e qualquer deterioração desnecessária do meio ambiente, mas sem afirmar que conheçamos o significado preciso de "desnecessário" neste contexto. Trata-se de pensar em um decréscimo da atividade econômica, uma reconfiguração no consumo, novos valores, novas atitudes e também o tamanho da população.

3.2.2 BIOECONOMIA E CULTURA

Entende-se que o debate sobre a finitude dos recursos naturais passa por um debate relativo a cultura. Pois a base da construção das sociedades está na cultura. Se hoje fazemos as escolhas em termos tecnológicos, fazemos as escolhas do que aceitamos de desperdício de alimentos, do que consideramos normal como uma redução na disponibilidade de recursos naturais, tudo isso está baseado na cultura que adquirimos ao longo da vida.

Existem diversas possibilidades de se analisar o que vem a ser cultura e seus desdobramentos. De forma auxiliar ao debate bioeconômico a noção de cultura, desenvolvida por antropólogos e cientistas do comportamento, se mostra adequada.

Em um livro de 1871, o antropólogo Edward B. Tylor define cultura como a gama completa de padrões de comportamento humanos aprendidos. Nossa interação com outros humanos, e também com a natureza, é aprendida socialmente. Desenvolvemos nossas escolhas baseando-nos num padrão aprendido.

A cultura é entendida aqui como a "informação capaz de afetar os indivíduos" e definem suas escolhas (BROWN e RICHERSON, 2014) e são adquiridas pelas espécies - inclusive a humana - por imitação ou outra forma social de transmissão (BROWN e RICHERSON, 2014). No entanto, o comportamento humano parece diferir de outras espécies que habitam esse planeta: pois segundo Schmidt et al.(2010), na Natureza escolher, envolve tomar decisões, que servem para definir qual a melhor estratégia de sobrevivência, de permanência. Mas as organizações sociais parecem distorcer a percepção da realidade natural

de nosso planeta. Adquirimos cultura a partir das interações sociais (e de forma iterada⁷ ao longo do tempo).

A importância dessas definições para o debate sobre o uso de recursos está nas seguintes considerações. Hardin (1986) afirma que para medir os recursos disponíveis para a espécie humana é preciso considerar mais elementos que a simples sobrevivência. Existe uma distância entre sobrevivência e uma boa vida, desde que o homem passou a se organizar em sociedades cada vez mais complexas. Segundo o autor, esse entendimento foi bem compreendido por Malthus, que considerou além da densidade da população os fatores culturais que afetam as decisões humanas e sua “retirada” (exploração) de recursos da natureza. Uma boa vida encerra bem mais que alimentos, uma casa adequada, transporte, condicionamento dos ambientes (refrigeração e aquecimento), equipamentos eletrônicos, férias e tantas outras necessidades.

Para além das necessidades básicas o autor propõe usar o conceito de capacidade cultural de suporte (*cultural carrying capacity*) ou, simplesmente, capacidade cultural. A capacidade cultural de um território precisa ser menor que sua capacidade de suporte (em um sentido apenas natural). A capacidade cultural torna-se então um conceito conservativo (HARDIN, 1986; HARDIN, 1977).

Esses argumentos estão diretamente relacionados com as primeiras teorias econômicas desenvolvidas pelos clássicos (Smith, Ricardo, Malthus) e até por neoclássicos como Alfred Marshall (DALY⁸,1968). Se considerarmos as ideias de Ricardo e Malthus, em especial Malthus, os recursos naturais se configuram como um limite para esses autores. Talvez seus exemplos tenham tido pouco poder explicativo (para seus contemporâneos e alguns economistas dos dias de hoje), mas suas premissas continuam válidas: existe um limite para a expansão da espécie humana, em especial essa espécie capaz de consumir além de suas necessidades básicas (segurança e alimento).

Biologistas não possuem nenhuma dificuldade em aceitar a teoria Malthusiana. Economistas e outros cientistas sociais, no entanto, percebem apenas o aumento dos recursos disponíveis e entendem como incompatível com a teoria Malthusiana. Segundo Hardin (1986) essa percepção está relacionada com o tempo. Homens de negócio estão constantemente às voltas com o “desconto do futuro”, uma operação matemática que sob altas taxas de juros faz desaparecer o futuro dos cálculos dos agentes econômicos. Os horizontes de planejamento de

⁷ Iteração é repetição.

⁸ “The Mecca of the economist lies in economic biology rather than in economic dynamics” (Marshall, 1920, Preface, p . 14), and in his further statement that “in the later stages of economics, when we are approaching early to the conditions of life, biological analogies are to be preferred to mechanical” (Marshall, 1925, p. 317).

economistas e biólogos são diferentes, e, portanto, levam a atitudes diferentes e conclusões diferentes em relação ao consumo de recursos naturais (HARDIN,1986).

Ou seja, os economistas normalmente apresentam argumentos para refutar o uso de qualquer horizonte acima de cinco anos. Um exemplo ilustrativo: durante mais de dois séculos a ciência foi capaz de apresentar “milagres” que aumentaram a capacidade de suporte do mundo. Segundo o autor, esses economistas percebem a Ciência e Tecnologia como um mágico que tira coelhos da cartola (e que podem ser tirados à exaustão). Esses economistas corroboram suas afirmações utilizando, por exemplo, as trajetórias de uso da energia (madeira, carvão, petróleo e energia atômica). Por que se preocupar se os cientistas irão achar alguma solução para os problemas humanos? (HARDIN,1986).

A produtividade agrícola tornou o debate Malthusiano objeto de críticas severas. Sua principal falha, segundo seus críticos, reside na definição de uma capacidade estática de prover alimentos para uma população em crescimento mais que proporcional. Ou em outros termos, a capacidade de suporte da natureza para muitos cientistas não é estática, pela adoção de tecnologias. Até que ponto será possível? Ao redor do mundo se estabelecem padrões de atendimento de oferta e demanda que levam em conta apenas necessidades passadas. A abordagem teórica da bioeconomia permite à teoria Malthusiana estabelecer um debate adequado para a humanidade e suas necessidades (escolhas).

Por outro lado alguns economistas, como Solow (1974), consideram exageradas as estimativas de escassez, recorrendo à teoria econômica para ilustrar o ponto sobre racionalidade econômica e seu papel no processo de extração. Embora o autor afirme que as sociedades sofrem de uma miopia em relação ao uso desses recursos, sua crítica parte de sua visão econômica, talvez limitada. Porém, o autor traz alguns caminhos para futuros debates. Afirma Solow (1974) que é legítimo perguntar se os preços observados dos recursos naturais podem ser interpretados como uma aproximação aos preços de equilíbrio (extração/oferta/demanda), ou esse equilíbrio é tão instável que preços momentâneos são, ao mesmo tempo, um “indicador inadequado”⁹ de relações de equilíbrio (econômico) e um “guia inadequado” para a alocação de recursos. A crítica a este pensamento já foi feita na seção sobre Georgescu-Roegen.

⁹ O autor usa as expressões “bad indicator” e “bad guide”, numa tradução menos literal utilizou-se o termo “inadequado”, para não recorrer ao adjetivo “mau”, que em vários contextos possui conotações morais.

3.2.3 ESTER BOSERUP E A TECNOLOGIA COMO SOLUÇÃO

Existe um interesse no mainstream econômico contemporâneo em desconsiderar os argumentos trazidos pelos Economistas Clássicos, em especial Malthus, como viu-se nas seções anteriores. Existem diversos trabalhos que fazem críticas as considerações de Malthus, tais como: Lambin (2012), Levine e Modica (2013) e Chiarini (2010).

Uma das mais proeminentes críticas as conclusões Malthusianas é Ester Boserup. Ao longo de seu livro Boserup (1965) desenvolve vários exemplos para sustentar seu argumento favorável a capacidade de adaptação da população, frente ao seu aumento numérico e a capacidade de prover alimentos. Mesmo admitindo que populações que desconhecem maneiras de aumentar a produtividade do solo podem ter problemas. Nem a autora e nem Malthus consideraram a entropia, embora Malthus tenha a “desculpa” do não conhecimento disponível em sua época, Boserup não pode se beneficiar desse argumento. Boserup (1965) afirma categoricamente que as teorias Malthusianas são enganosas, pois tendem a desconsiderar o crescimento das populações, a partir das alterações dos métodos de produção, afirmando inclusive que essas técnicas podiam aumentar e preservar a fertilidade do solo. As técnicas descritas pela autora são: pousio longo, pousio curto. Além do uso de animais para a melhoria da fertilidade do solo.

A autora repete ao longo do livro sua crença na capacidade de superar os limites de produção e produtividade com a aplicação de tecnologia. Mesmo a intensiva da moderna agricultura.

A figura 5 apresenta as cem palavras mais frequentes nos artigos que tratam sobre Ester Boserup, ou os próprios textos da autora¹⁰. Os limites da abordagem ficam claros com palavras relacionadas com tecnologia, abordagem econômica e o papel da humanidade em suas propostas (maior frequência de palavras é relacionada ao tema).

Apesar de contextualizar e servir como conhecimento adicional e/ou complementar ao que está colocado nesta seção, optou-se por registrar neste documento uma nuvem de palavras a partir do livro de Boserup (1965). O uso dessa forma de apresentação pode ser justificada da seguinte forma:

[...] A nuvem de texto é uma forma de visualização de dados linguísticos que mostra a frequência com que as palavras aparecem em determinado texto. As nuvens atendem ao objetivo de aumentar a compreensão, comunicando informações contextuais através de variações na forma como os dados são visualizados, proporcionando a visualização de dimensões adicionais da informação de forma a tornar o contexto explícito. Quando esses dados são apresentados em forma de

¹⁰ Elaborado utilizando o software NVivo, disponibilizado pela UFRGS.

Uma população fracamente esparsa começa a realizar um pouco de trabalho agrícola como um suplemento à coleta de alimento e à caça. Quando o seu território se torna mais povoado, seus habitantes devem trabalhar mais e conseguir quase todos os alimentos por meio do trabalho agrícola, mas este ainda pode ser realizado somente em umas poucas horas ocasionais e não exige um trabalho regular diário. Um posterior crescimento da população obriga-os a passar do sistema com pousio florestal para o sistema com pousio arbustivo e a reduzir ainda mais o pousio florestal, ou a prolongar os períodos de cultivo. Atinge-se finalmente um ponto em que a população deve aceitar a realização de um trabalho realmente penoso em um ou dois picos sazonais relativamente curtos. Ainda assim, eles continuam a ter longos períodos com nenhum ou muito pouco trabalho agrícola. No curso do longo desenvolvimento agrícola, antes que seja alcançado o ponto onde o pico de atividades se torna excessivamente penoso para um agricultor de subsistência, o cultivador, individualmente, poderá produzir mais trabalhando mais penosamente, sem a necessidade de investir o que quer que seja ou de mudar o seu sistema de cultivo (BOSERUP, 1965, p. 62).

A autora afirma, ainda, que se a taxa de crescimento populacional for muito baixa, a mudança completa de um sistema de cultivo para outro pode levar muitos séculos para se consumir.

A autora prossegue construindo seu argumento. Uma transcrição serve para demonstrar as afirmativas feitas, evitando-se interpretações errôneas. Por esse motivo tem-se repetido diversas passagens.

Relatórios dos agentes de extensão, tanto os relativos ao período colonial como os de períodos mais recentes, fornecem numerosos exemplos de cultivadores que recusaram a introdução do arado, a técnica de transplante, a produção de forrageiras ou outras mudanças propostas pelos extensionistas, dando como motivo explícito de sua recusa a necessidade de empregar muito mais trabalho no cultivo. Semelhantes objeções são freqüentemente interpretadas como ausência de interesse em aumentar a renda total, mas pode-se sugerir que talvez seja mais plausível explicá-las como o resultado de uma comparação bastante racional entre o trabalho adicional requerido e o provável acréscimo na produção.[...] É inegável que muitas pessoas hesitam em mudar seus métodos costumeiros, a menos que os incentivos econômicos sejam muito fortes. É também possível que esta atitude esteja mais espalhada em comunidades primitivas que nas avançadas. Mas há, por outro lado, um acúmulo impressionante de evidências revelando que pode haver grande disposição para responder a incentivos econômicos, mesmo nas sociedades mais primitivas. Mais recentemente, durante as últimas décadas, o milho, a mandioca e a batata se estenderam rapidamente pelas comunidades primitivas, mesmo onde não houve a ajuda da propaganda governamental. Culturas comerciais foram também aceitas rapidamente quando a produção se mostrava lucrativa, apesar da hostilidade das grandes companhias e da obstrução por parte de governos coloniais (BOSERUP, 1965, p. 56-57).

Desta forma a autora reforça um dos pontos tratados na seção sobre o surgimento da agricultura e que embasa uma parte dos debates: o incentivo econômico está na base do incentivo do produtor rural, ou mesmo de uma comunidade inteira, como acabou de ser dito.

A autora, ao basear-se na produtividade baseada em homem/hora, afirma que a passagem para uma estrutura superior de produção irá experimentar um decréscimo desse

indicador (rendimento decrescente da produtividade humana). A autora ainda faz comentários sobre a penosa tarefa de aceitar longas horas de trabalho como medida de curto prazo para aumentar a produção de alimentos para a comunidade em expansão. A adoção de modernas técnicas torna-se um imperativo a partir de determinada taxa de crescimento da população, pois existe um limite ao acréscimo de trabalho pelos membros de uma comunidade. E o aumento da densidade faz esse limite diminuir. A autora chega a afirmar que a partir do limite máximo de trabalho disponível, e sem investimentos em capital, a população terá como escolha a diminuição de sua alimentação. O que parece um argumento Malthusiano.

Boserup (1965) considera sensato olhar a mudança nas técnicas agrícolas como um ajuste gradual ao crescimento da densidade populacional (vegetativo ou imigrações).

Para finalizar, a oposição entre Malthus e Boserup é apresentada sob nova perspectiva ao autor desta tese por Peura (2013). Esse entendimento acaba por contextualizar melhor a crítica de Georgescu-Roegen a ambos.

Sempre houve uma possibilidade de desenvolver, de acordo com o significado de Boserup. Se uma área ou região foi explorada ou esvaziada de recursos (base de sustento), sempre houve outras áreas disponíveis. O "waterloo" do modelo Boserup é a situação em que a migração para novas áreas é impossível e todos os recursos de substituição já foram utilizados. De fato, a teoria de Boserup é um modelo sem limites e é válida somente para regiões separadas, cercadas por recursos ilimitados e com possibilidade de migração e substituições. A capacidade de transporte global não pode ser excedida. Quando não é possível usar mais recursos naturais, e quando as reformas técnicas não serão mais suficientes, e quando as substituições por migrações ou importações forem impossíveis, os limites serão atingidos em uma escala global. Aqui, a tese malthusiana prova-se válida. Outra questão é quando, em que ponto, esses limites materiais e técnicos serão cumpridos? Todos os modelos especulativos indicam que pode demorar um par de gerações, mas, em qualquer caso, será extremamente curto em uma escala geológica. **Apesar das aparentes diferenças, vários autores apontaram que em vez de representar pontos de vista contrastantes, a tese de Malthus e a teoria de Boserup, de fato, se complementam.** Isso levou a uma nova formulação da dicotomia de Malthus-Boserup: no geral, eles explicam o mesmo, apenas em uma escala diferente e em diferentes pontos de vista. A perspectiva malthusiana é holística, em que todas as auto-reflexões endógenas conscientes realizadas pelos humanos podem ser interpretadas como "controles preventivos". Por outro lado, enquanto as melhorias técnicas sugeridas por Boserup são condições prévias necessárias para alcançar uma civilização sustentável, a longo prazo e dentro de uma perspectiva global, elas não são de modo algum suficientes (PEURA, 2013, p. 315, grifo nosso).

De forma complementar, e para contrapor alguns pontos trazidos nesta seção, o próximo tópico irá tratar do surgimento da Agricultura no Mundo.

3.2.4 SURGIMENTO DA AGRICULTURA

Um dos pontos que foram considerados ao longo da pesquisa está relacionado com o surgimento da agricultura. De que forma se deu esse processo? Uma busca em textos da antropologia trouxeram resultados interessantes e aderentes a outros resultados pesquisados. Ressalte-se que o autor desta tese é completamente ignorante seja no método, ou mesmo nas teorias da área de antropologia. As evidências trazidas pelos textos tem por objetivo enriquecer o debate, trazendo elementos inéditos na Ciência do Agronegócio desenvolvida dentro da UFRGS, salvo melhor juízo.

Extrapolando o que foi pesquisado é possível estabelecer a seguinte premissa: Mesmo considerando que existe um abismo tecnológico, as populações de 12 mil anos atrás enfrentaram o mesmo desafio, em termos qualitativos e quantitativos (relativos – alimento/população).

Isto é, simplificarmente: as populações começavam a aumentar, as mudanças climáticas haviam impactado a disponibilidade de alimentos (várias mudanças ocorreram no período compreendido entre 12,5 milhões e 12 mil anos atrás), as organizações sociais se tornaram complexas, havia conflitos pela posse de novas terras (a partir de migrações) o que indica, salvo melhor juízo, uma semelhança com os dias atuais (qualitativa ao menos). A diferença quantitativa está no número de pessoas no mundo e na taxa de retirada de recursos, já debatida em diversos momentos nesta tese.

Qual a razão desse paralelo? O mais óbvio refere-se à hipótese de que mesmo com o aumento das tecnologias o homem poderá ser confrontado com limites à sua expansão. E outro paralelo possível: tal como a lança de Peleu, está na humanidade a chance de reversão dessa situação. Atribuir a um terceiro agente, talvez tecnologia¹¹, a responsabilidade pela solução dos atuais dilemas humanos, talvez seja um erro a ser corrigido.

Retomando o raciocínio, entre 12 mil anos e 10 mil anos atrás surge a agricultura, segundo Price e Bar-Yosef (2009) pecuária e agricultura fazem parte do mesmo processo, tendo surgido quase que concomitantes em várias partes do planeta. Alguns autores

¹¹ Mesmo sendo a tecnologia um produto essencialmente humano, é possível recordar que invenção e inovação são termos distintos pelo simples fato da adoção ou não de determinado padrão tecnológico. O que reforça o que está colocado.

consideram que desde a aparição da raça humana a forma e intensidade da interação entre esta e a natureza tem mudado. De simples coletores/caçadores passou-se a modificadores.

Segundo Denham (2009), a exploração de animais e plantas está entre os principais subconjuntos do meio ambiente humano. Existe uma relação mútua de dependência, que se traduz ainda em mudanças no meio ambiente de todas as espécies na terra. A interpretação da agricultura no passado precisa considerar a multiplicidade de fatores que convergiram para que diferentes grupos humanos iniciassem esse tipo de exploração.

Existem fatores biofísicos, tais como clima, meio ambiente. E ainda, fatores biológicos, como a disponibilidade de determinada planta ou animal. E finalmente fatores sociais – grupos sociais e suas práticas de convivência, sua cultura, suas tecnologias disponíveis¹². Todos esses elementos contribuem então para a evolução da atividade agrícola e pecuária, e também para o desenvolvimento das sociedades (surgimento do comércio, aumento populacional, aumento da produção) (BELFER-COHEN, GORING-MORRIS, 2009; COHEN, 2009; DENHAM, 2009; GREMILLION e PIPERNO, 2009; PRICE e BAR-YOSEF, 2009; ZHAO, 2009; CRATE, 2009).

Ainda sobre tecnologia e volume de produção, Piperno (2009), quando debate sobre o aparecimento da agricultura, e as teorias normalmente apresentadas sobre segurança alimentar e crescimento populacional, traz um contraponto útil ao debate desta pesquisa. Afirma a autora que, segundo Binford (1968¹³ apud Price e Bar-Yosef, 2009), mesmo em áreas de deserto o processo de coleta era bem adaptado às primeiras aglomerações humanas, e raramente os humanos passavam fome, ou seja, existem outras motivações para o aparecimento da agricultura. A autora afirma, ainda, que a atividade agrícola requer um grande esforço, ao qual o homem antigo não era acostumado, pois podia dispor de várias horas ao dia para atividades mais aprazíveis, após colher ou caçar algum alimento. Piperno (2009) sugere, ainda, a partir de sua pesquisa, que existe ainda um processo social para o surgimento da atividade produtiva humana. Algumas sociedades exibiam a habilidade para gerarem estoques, e tornar esses estoques produtos com valor. Desta maneira, a agricultura torna-se a emergência da diferenciação social, intra e entre sociedades (aumento da renda).

De certa forma contrapondo essa conclusão, Binford (1968 apud Price e Bar-Yosef, 2009) indica o aumento populacional como fator determinante para o aparecimento da agricultura. Ou seja, o surgimento da agricultura não foi um evento fortuito, mas o último

¹² O que remete ao debate sobre consumo cultural.

¹³ Binford, Lewis R. 1968. Post-Pleistocene adaptations. In *New perspectives in archaeology*. L. R. Binford and S. R. Binford, eds. Pp. 313–341. Chicago: Aldine.

recurso, dado o aumento populacional (mais pessoas necessitam de mais comida). Esse autor sugere que fatores climáticos e ambientais tiveram pouca importância nesse processo de surgimento da agricultura.

A ideia de Bindford foi também elaborada por Cohen (2009). Este argumenta que o aumento populacional fez surgir um movimento para fora do continente Africano, com a colonização da Ásia e Europa e também Américas. O autor sugere que há mais ou menos 10 mil anos o crescimento populacional aumentou o consumo de tudo o que era possível de ser usado, qualquer tipo de planta comestível ou animal foi sendo introduzido na dieta humana, e a população continuou crescendo. A única saída para esse processo foi o surgimento da agricultura e pecuária.

Muitas hipóteses são analisadas pelos arqueologistas para a origem da agricultura: cultura, sociedade, clima, população, enfim, esse processo se caracteriza por múltiplas faces. Denham (2009) considera que as transformações provocadas pelo homem no meio ambiente são contínuas, multifacetadas e multicausais. O autor se pergunta: Por que em diferentes tempos e locais diferentes estruturas de produção surgiram? Fica difícil estabelecer diretamente uma única causa, ou mesmo um sentido único a esse processo. As transformações no ambiente humano são recursivas, por isso fica difícil estabelecer uma relação causal única. Talvez nem faça sentido, conclui o autor.

O ponto aqui é considerar que fatores econômicos dominam a aparição da agricultura. E condicionam sua evolução. Os produtores rurais se atem à esfera econômica, deixando em segundo plano questões relativas à conservação dos recursos. Seu estímulo primário parece econômico. Obviamente são conclusões temporárias, novas evidências poderão surgir e modificar esse quadro analítico.

Outras perguntas surgem dessa construção: Será que existe espaço para nos deslocarmos à procura de lugares melhores? Ou será que esse processo de mudança, em curso, exigirá uma nova atitude em relação aos recursos disponíveis? Como aumentar a produção, levando em conta o aumento da produtividade, das áreas e da intensificação? Talvez novos padrões de produção e consumo nos levem a uma redução na velocidade do consumo de recursos, evitando com isso o paradoxo de Jevons¹⁴.

¹⁴“É um completo engano supor que um uso mais eficiente dos combustíveis implicará numa redução do seu consumo. A verdade é precisamente o oposto”. Ou seja, à medida que o progresso tecnológico consegue aumentar a eficiência com que um recurso é usado, o seu consumo total pode aumentar em vez de diminuir”. JEVONS, W.S. *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. Disponível em: <http://www.econlib.org/library/YPDBooks/Jevons>.

3.2.5 ECONOMIA CIRCULAR

Normalmente quando se fala em recursos naturais finitos logo aparecem citações sobre economia circular. Esse debate está baseado em soluções tecnológicas, voltadas principalmente para a redução do desperdício de insumos na cadeia produtiva, em qualquer atividade. Parece que existe certo exagero em relação aos ganhos potenciais dessa abordagem. Para trazer alguns elementos foram consultados artigos que traziam como objetivo uma revisão sobre os principais conceitos relacionados.

Um desses trabalhos é a pesquisa de Kirchherr, Reike e Hekkert (2017) que teve por objetivo analisar a definição de economia circular. Para isso pesquisou 114 artigos que tinham por objetivo analisar e conceituar o que entendiam por economia circular. O resultado geral aponta para diversas formas de definir, o que acaba por criar situações de confusão entre os pesquisadores em todo o mundo.

Além disso, segundo os autores, o item mais frequente em todos os estudos (79% das definições) foi a reciclagem, seguida por reuso (74% das definições). Os quatro itens que definem apropriadamente o que vem a ser Economia Circular, e deveriam ser tratados em conjunto (reuso, reciclagem, recuperação e redução) foram encontrados em menor número, indicando um deslocamento do debate real sobre o tema. Os autores encontraram em 35% das definições o emprego conjunto dos termos reuso, redução e reciclagem. Em 7% das definições analisadas somente o termo reciclagem foi utilizado, sendo na visão dos autores, uma simplificação que não está alinhada com a proposta da economia circular. A baixa frequência do conceito de redução pode ser explicada pelo baixo interesse dos “operadores” (empresários, governos) em promover a redução, uma vez que isso pode implicar a redução do consumo e do crescimento econômico (KIRCHHERR, REIKE e HEKKERT, 2017).

E por fim, somente em 12% das definições são encontradas citações com o desenvolvimento sustentável (qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social). Além disso, os autores apontam que apesar de todo empenho institucional, e há vários anos, ainda persistem muitos desafios, tais como, a falta de informações sistemáticas, má execução e falta de participação pública na mudança de consumo práticas (KIRCHHERR, REIKE e HEKKERT, 2017).

A partir da falta de consenso encontrada no material pesquisado os autores apresentam uma visão completa do que entendem se tratar a economia circular (na tradução ficou o termo CE - *circular economy*) :

Nós definimos o CE em nossa estrutura de codificação desenvolvida de forma iterativa como um sistema econômico que substitui o conceito de "fim da vida" por reduzir, alternativamente reutilizar, reciclar e recuperar materiais em processos de produção/distribuição e consumo. Atua a nível micro (produtos, empresas, consumidores), nível meso (parques eco-industriais) e macro nível (cidade, região, nação e além), com o objetivo de realizar um desenvolvimento sustentável, criando simultaneamente qualidade ambiental, economia, prosperidade e equidade social, para o benefício das gerações atuais e futuras. É habilitado por novos modelos de negócios e consumidores responsáveis.[...] a conceituação mais comum da CE é uma combinação de redução, reutilização e reciclagem, a estrutura 3R que já está descrita na economia circular de 2008 Lei de Promoção da República Popular da China. e CE, porém, assumindo que isso pode implicar a redução do consumo e do crescimento econômico KIRCHHERR,REIKE e HEKKERT, 2017, p.229).

O futuro é circular. Pelo menos essa é a mensagem no centro da recente agenda europeia de eficiência de recursos. Uma agenda baseada em negócios que visam aproveitar ao máximo os recursos (aumento de eficiência) que são processados pelas diversas empresas. Hobson e Lynch (2016) afirmam que, mesmo com alguma melhoria nos sistemas produtivos, vive-se uma época de “insustentabilidade multidimensional”.

A demanda por recursos deve continuar aumentando para este século ao lado de uma crescente população mundial, taxas mais altas de urbanização e proliferação do consumismo. Parece, segundo os autores, que se está próximo de uma crise ecológica. Apesar de toda mobilização, principalmente na Europa, muitos desafios permanecem, como falta de informação sistemática, má execução e falta de participação pública na mudança de práticas de consumo. Fora da Europa, a China já está implementando sua versão de economia circular desde 2009 baseando-se em princípios de ecodesign, produção limpa, parques industriais ecológicos (HOBSON e LYNCH, 2016).

Apesar de todo o discurso há décadas sobre a necessidade de mudanças no estilo de vida, novos padrões de consumo, transformar-se em um “cidadão verde” algumas evidências sugerem um aumento nos níveis absolutos de uso dos recursos naturais. Existe a necessidade urgente de ir muito além do simples discurso, buscar novos valores para a sociedade - o que concorda com a visão de Georgescu-Roegen quando afirma que os preços serão certos, quando a sociedade tiver os valores certos (HOBSON e LYNCH, 2016).

Uma visão mais ampla do que o simples sistema de produção se reinventando, numa visão ortodoxa. A economia circular apenas habilita as empresas a explorar nichos de

mercado e obter ganhos de curto prazo. É preciso repensar necessidades, padrões de consumo. Os autores sugerem que o capital social e humano passe a governar as relações, em vez da simples troca monetária. Essa transição para um novo padrão de consumo se mostra muitas vezes impensável, ou até utópica, considerando as atuais normas e instituições ao redor do mundo. Mas é preciso pensar sobre as consequências das ações humanas e o que se deseja para o futuro. Esse debate está fora do centro das motivações da agenda de economia circular da Europa (HOBSON e LYNCH, 2016).

Ainda segundo Hobson e Lynch (2016), existe a possibilidade das iniciativas da economia circular resultarem em hiperconsumo, dado que muitos produtos são inovadores, e atraem uma massa de consumidores, pois são oferecidas diversas facilidades para o consumo (via plataformas online, em diferentes aplicativos¹⁵). Sem os devidos cuidados ao implementar de forma adequada os preceitos da economia circular, como viu-se Kirzherr, Reike e Hekkert (2017), corre-se o risco de aumentar ainda mais a depleção de recursos. A sugestão dos autores é repensar as formas de coesão social, utilizando a economia do compartilhamento (*sharing economy*). Os autores listam as diversas formas de atuar nesse novo modelo: trocando, compartilhando, alugando, negociando, emprestando, arrendando. Essas categorias englobam uma gama de ativos, incluindo bens, serviços, tempo, capital, experiências e espaço. Existem desde iniciativas locais, até projetos globais como Airbnb (plataforma online de compartilhamento de acomodações). Alguns críticos afirmam que esse modelo é apenas um novo território para capitalistas aventureiros, num típico ciclo Schumpeteriano de criação/destruição, que permite a acumulação de capital para uma pequena parcela da população mundial. Além disso, as plataformas digitais podem acabar por isolar o convívio, ao invés de aumentá-lo. Muitos projetos estão apenas preocupados com o lado financeiro, sem levar em conta a criação/aumento de capital social (HOBSON e LYNCH, 2016).

Nesse artigo de Hobson e Lynch (2016) existe uma evidência útil ao debate geral da tese, que é os prováveis desdobramentos desse padrão “tecnológico inovador”. Eles trazem o exemplo da plataforma Airbnb, que afirma que seus serviços contribuem para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Segundo dados da Airbnb, até 2030 os usuários na Europa irão emitir 20,9 milhões de toneladas a menos de gases de efeito estufa, em comparação com os usuários de acomodações convencionais para turistas. Porém, essa afirmativa não leva em

¹⁵ Aqui surge uma questão: o consumo energético de disponibilizar serviços online, em qualquer lugar do planeta, ou mesmo de um país. A infraestrutura de redes, servidores, seja via wireless, seja via cabos. Além disso, o entretenimento (em múltiplas plataformas), toda essa facilidade envolve o consumo de recursos como o lítio (para as baterias) e energia elétrica para manter tudo ligado e pronto para atender as “necessidades”.

conta o possível efeito rebote (*rebound effect*). O baixo custo e a novidade (inovação) podem expandir o número de turistas, além de aumentar o tempo de estadia e a frequência das viagens. Esse quadro pode aumentar a pressão sobre o uso de recursos, além de superlotação dos destinos. Há também algumas evidências de que a coesão social seja prejudicada nos bairros residenciais onde as propriedades do Airbnb existem, por exemplo, devido aos comportamentos dos "usuários", bem como o impacto a longo prazo na acessibilidade da habitação local (HOBSON e LYNCH, 2016).

Para outros debates sobre as características da economia circular e seus limites sugeres-se: Urbinati, Chiaroni e Chiesa (2017); Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018) e Cooper et al. (2017).

Para encerrar essa seção fica a seguinte consideração: o debate da bioeconomia é um debate pró-ativo. Cada argumento relacionado com a termodinâmica é uma constatação. Ou dito de outra forma, é uma evidência para a tomada de decisão (para aqueles que tomam decisões baseadas em evidências e não em instinto, ou outra forma de tomar decisões). É preciso considerar que a inovação por si só é inócua. As considerações aqui visam contextualizar melhor a busca por soluções tecnológicas.

É preciso observar tanto as variáveis termodinâmicas, quanto sociais. Viu-se que a entropia total do Universo (e, portanto, da Terra) possui somente um sentido em relação ao tempo, a negentropia possui um custo energético para o sistema, e não evita o aumento da entropia total. A degradação dos recursos naturais nos coloca o real desafio como espécie. Esse desafio será o ato final da tragédia.

4 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

4.1 INTRODUÇÃO AOS MODELOS DE ENTROPIA MÁXIMA

O presente estudo tem por objetivo quantificar (modelar) o uso de fertilizantes na produção de soja no Brasil, bem como definir os coeficientes técnicos associados. Modelar significa estabelecer o essencial das relações de uma dada situação observada. Nenhum modelo será perfeito. Trata-se de uma abstração, ou seja, a busca pelos principais aspectos que definem o problema. As diversas fases da modelagem compreendem desde o entendimento da dinâmica do sistema em foco, definição das variáveis do modelo, construção do modelo, teste da estabilidade quanto a adequação à realidade do problema. Esse processo inclui ainda testar as soluções encontradas, analisar as implicações para o problema das respostas encontradas. A partir desses resultados são gerados novos conhecimentos sobre o comportamento do sistema, o que se traduz em proposições de políticas ou dados de suporte a decisão (HEILIÖ et al. , 2016).

Muitas vezes ao se desenvolver uma pesquisa é necessário aceitar que, por vezes, não é possível obter as informações precisas que gostaríamos. Por exemplo, é praticamente impossível avaliar o rendimento produtivo e a quantidade de fertilizantes utilizado para cada local e em nível nacional. Não seria possível - e até mesmo inviável - obter dados a partir dos experimentos agrícolas, de cada exploração agrícola, levando em consideração os diferentes manejos. Isso tem um custo de financeiro e de tempo que o torna impraticável. Principalmente para análises dos formuladores de políticas públicas.

É sabido que o Brasil é um país continental e com variabilidade de características, seja de solo ou de clima. Essa variabilidade dificulta estimar a produção e os rendimentos de culturas, bem como quantidades de insumos utilizados. Mas a necessidade da busca por informações faz com que ferramentas para mensuração sejam criadas, aperfeiçoadas e/ou substituídas.

Por exemplo, parece ser impossível estimar a quantidade de fertilizantes levando em considerações apenas as variáveis como a produção e a área. Questionamentos relacionados ao “tipo de solo”, “clima”, “manejo aplicado”, “nível de informação”, entre outros, são colocados como possíveis influenciadores das variáveis mencionadas, principalmente por profissionais técnicos da área agrônômica.

Portanto, pode-se concluir que é impossível estimar a quantidade do insumo sem levar em consideração todas essas variáveis. Esse é o desafio: demonstrar como realizar estimativas a partir de poucos dados.

Esta seção trata de alguns aspectos teóricos e metodológicos¹⁶ sobre as teorias de máxima entropia, otimização matemática (em especial otimização convexa), além de tratar sobre algoritmos genéticos, sem esgotar os assuntos. Sugerimos que o leitor busque na literatura citada ao longo desta seção outros debates sobre aspectos teóricos em abordagens similares ou diversas. Para os leitores menos habituados sugere-se a leitura de Golan, Judge e Miller (1996), Golan (2008) e Jaynes (2003). Para comparação com outros métodos quantitativos ler Crisci (2011). Em relação à utilização do método de GCE sugere-se Rubinstein e Kroese (2004). Em relação aos algoritmos genéticos (ou evolucionários) sugere-se Mitchell (1998), Higuchi (2001) e outros autores citados ao longo desta seção.

Ao tratar sobre entropia da informação (IE) surgem trabalhos relacionados ao presente. O trabalho de Peeters e Surry (2007) é um bom exemplo. As diferenças se encontram nos objetivos específicos e em alguns procedimentos, mas a estrutura teórica é a mesma. O trabalho de Lence e Miller (1998) também é um bom exemplo do uso do conceito de máxima entropia para calcular as funções de produção. E também o estudo de Go et al.(2016) aplica a mesma estrutura teórica na função objetivo (seu objetivo no entanto é atualizar as matrizes de insumo-produto para a Coréia). Além desses: Howitt (2014); Zhang e Fan (2001); You, Wood e Wood-Sichra (2009); Aurbacher e Dabbert (2011); Caticha e Golan (2014); Scandizzo e Ferrarese (2015); Henderson, Golan e Seabold (2015); Qi, Liang e Zhang (2015) e Crisci (2012).

Apesar de todos esses artigos citados, salvo melhor juízo, até o momento, inexistem trabalhos utilizando a abordagem teórica e seus objetivos definidos para o Brasil.

O porquê dessa escolha metodológica está no entendimento do papel da estatística como ciência. Sua função básica é fazer julgamentos sobre o mundo real com base em informação incompleta. Especificamente se deseja determinar a natureza de algum fenômeno baseado numa amostra desse fenômeno. Num mar de procedimentos ocorre muitas vezes a perda do sentido desse tipo de análise, ficando-se apenas restritos a resultados (saídas) de algum software especializado, sem participação ativa no processo de modelagem.

¹⁶ Serão feitas algumas observações sobre procedimentos na construção da modelagem, o que contextualiza melhor para o leitor as decisões tomadas.

A amostragem de determinado fenômeno produz uma distribuição de valores, que podem ser caracterizados por vários momentos dessa distribuição (média, variância). Esses valores podem, então, ser caracterizados pela função densidade de probabilidade amostral.

Segundo Collins (1990), os filósofos dividem os dados em: observacional, histórico (empírico) e experimental. Dados históricos são por natureza não reproduzíveis e dados experimentais podem ser reproduzidos. Segundo o autor, existe outro tipo chamado de observacional-hipotético, que representa uma combinação entre observação e informação provida pela teoria (aqui se pode pensar em alguns casos nas ciências econômicas, incitando a outro tipo, histórico-hipotético, mas isso é filosofia em excesso para este trabalho).

Todas as ciências possuem, em comum, a necessidade de retirarem dados a partir do mundo real. Para o analista existe pouca diferença em relação à natureza de seus dados. Ambos os tipos de dados, experimental e observacional, possuem erros intrínsecos, que precisam ser entendidos para que seja possível realizar alguma explicação sobre o fenômeno.

Segundo Tarantola (2005), uma questão central nesse debate é a noção de probabilidade. A probabilidade de um determinado evento ocorrer é dependente do conhecimento anterior do analista. Pode-se, segundo o autor, definir então probabilidade como a medida da ignorância (esta noção será útil para descrever o que vem a ser entropia). Outra noção que será necessária ao entendimento da ferramenta é a noção de variável randômica. Processos randômicos podem ser entendidos a partir da noção de que não podem ser previstos. Por exemplo, os valores nas faces de uma moeda. Ou valores em um dado de jogos. Uma variável randômica é definida a partir de uma função a partir de uma amostra. Tem-se então que uma variável randômica qualquer, X_j , pode ser definida a partir da probabilidade, p_i , associada aos valores obtidos experimentalmente, x_i . A pergunta aqui é: se são gerados n valores da variável X_j a partir de uma amostra, qual será o valor mais provável? A resposta é:

$$E(X) = \sum_{j=1}^N P_j X_j$$

A dependência da probabilidade de ocorrência de um valor em uma variável randômica é chamada de distribuição de probabilidade. Se existem valores limitados para esses valores essa distribuição é chamada de discreta. Por exemplo, os valores que podem variar o lançamentos de dois dados, estão entre 2 e 12 (TARANTOLA, 2005).

Para uma grande parte dos problemas normalmente encontrados em matemática aplicada e econometria é possível, aplicando a teoria apresentada ao longo desta seção, extrair informação e realizar inferências sobre dados desconhecidos e não observáveis, que podem ser um número, vetor ou função. Essa nova abordagem é em muitas situações uma generalização de técnicas tradicionais de estimação (GOLAN, JUDGE E MILLER,1996; GOLAN, JUDGE, E PERLOFF,1997; GOLAN, 2008)¹⁷.

A pergunta básica desses autores: como realizar previsões para uma população, ou construir uma imagem desta, usando as informações disponíveis (quando não estão disponíveis em quantidade necessária, ditada pelas regras tradicionais)?

Aqui será utilizada a expressão modelagem inversa. Uma pequena explicação pode elucidar possíveis futuras dúvidas sobre o assunto. No dia-a-dia somos constantemente expostos a problemas inversos, e tendo boa saúde mental e física, se consegue resolvê-los rapidamente. Considere sua percepção visual. Sabe-se que os olhos podem a partir de um número limitado de pontos estabelecer uma imagem do mundo que nos rodeia em cada momento. Como podemos então ter a sensação de que podemos ver tudo ao nosso redor? A razão é nosso cérebro, que como um computador pessoal, completa a imagem por interpolação e extrapolação dos dados recebidos dos pontos citados. A partir de dados anteriores as informações são organizadas e processadas gerando novas imagens de forma rápida. Tendo em vista que essa reconstrução é um problema indeterminado (não existe uma única solução estável) nosso cérebro é capaz desse processo a partir dessas informações armazenadas (KABANIKHIN, 2008).

Problemas inversos podem ser entendidos da seguinte maneira: Se alguém quer prever o comportamento futuro de um sistema físico com base em seu estado atual e as leis da física esse é o problema direto. Possíveis problemas inversos são a determinação do estado presente com base em dados de seu comportamento no futuro (isto é, o cálculo da evolução do sistema em retrospecto) ou a identificação dos parâmetros físicos a partir de observações da evolução do sistema (identificação de parâmetros). Pode-se então dizer que problemas inversos relacionam-se com a determinação das causas de um efeito desejado ou observado (KABANIKHIN, 2008).

Considere o seguinte exemplo: é possível observar um indivíduo, sua casa ou outra forma de agregar seu consumo e renda. Porém, não se pode observar sua propensão marginal

¹⁷ As explicações contidas a partir desse ponto estão baseadas nesses três trabalhos. Qualquer omissão de citação não é intencional.

a consumir¹⁸, que é um parâmetro desejado. De outra forma, pode-se observar entradas e saídas, mas não é possível observar a elasticidade de seus coeficientes de produção (GOLAN, JUDGE E MILLER,1996).

Conseqüentemente, para recuperar esses parâmetros desconhecidos de um sistema os econométricos (e analistas em geral) se deparam com a necessidade de uma nova abordagem. Que pode ser sintetizada assim: É possível observar o valor de uma variável econômica, no caso y (renda). No entanto, o interesse está em conhecer os parâmetros β (elasticidades, etc) que podem ser um número, vetor ou função. Como não se pode medir diretamente β , é preciso então usar medidas indiretas. Considerando um modelo finito, discreto e linear tem-se:

$$y = X\beta \quad (1)$$

Onde $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_T)'$ é um vetor T dimensional de observações (dados), β é um vetor não observável e X é um operador linear ($T \times K$). Nesse caso, como se omite o termo de erro, tem-se um problema inverso puro. Mas normalmente o termo de erro é incluído.

Os métodos tradicionais possuem regras (inversibilidade, etc) para que o operador linear X possa trazer alguma informação. Se por falta de critério no desenho do experimento, ou o número de observações é menor que o número de parâmetros desejados ($T < K$) então não é possível realizar inferências sobre os parâmetros.

A saída para essa situação muitas vezes passa por definir premissas convenientes, que representam informação que não se possui, que irão então converter um problema instável (indeterminado) para um problema minimamente estável (determinado), e que pode então ser analisado pela estatística clássica.

No entanto, esse procedimento incorre em erros. Em econometria problemas indeterminados são a regra e não a exceção (GOLAN, JUDGE E MILLER,1996).

O foco aqui é recuperar qualquer informação que está nos dados, buscando uma metodologia que encontre uma solução única. Resumindo:

- Os dados estão na forma de médias ou agregados onde, como resultado, é possível utilizar probabilidades para representar a informação parcial sobre determinado resultado;
- O analista sabe algo, mas não sabe tudo;
- O analista não deseja dizer mais nem menos do que ele sabe.

¹⁸ Em termos simples: parcela da renda gasta com bens de consumo, tais como alimentos, segurança, lazer.

A partir do que foi estabelecido anteriormente sobre probabilidades e também sobre variáveis randômicas, tem-se aqui uma explicação geral de como funciona a entropia econométrica. A partir da equação 1 se pode reescrever da seguinte maneira:

$$y = X\beta = Xp \quad (2)$$

Destaque para o fato de que X é uma matriz não invertível (os procedimentos clássicos não podem ser utilizados), caso em que o número de observações é menor do que o de parâmetros (do vetor de probabilidade). O vetor p representa as frequências desconhecidas e não observáveis, $p = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_K)$ que representam o processo de geração dos dados.

Considerando que é possível que o número de observações seja menor que o número de parâmetros, fica a pergunta: como recuperar a informação? É preciso então escolher um estimador para p :

$$\hat{p} = Ay \quad (2.1)$$

Onde A é o operador a ser escolhido, porém: qual o critério que se usará para escolher A ? Se utiliza-se a lógica, então A pode ser escolhido para estimar o parâmetro numa classe de possíveis p que satisfazem:

$$y = X\hat{p} \rightarrow XAy = XAXp \quad (2.2)$$

O que significa que $XAX = X$ e A é uma inversa generalizada. Este resultado é útil para identificar uma classe de soluções em que o verdadeiro valor de p se encontra. No entanto, essa formulação não fornece qualquer base para a escolha de A . A solução desse quebra-cabeça foi fornecido por Shannon, um engenheiro de comunicação que pretendia medir a incerteza na mente de alguém que recebia uma mensagem com ruído.

A partir do uso tradicional da probabilidade, como medida de incerteza (estado do conhecimento), Shannon usando um método axiomático define uma função para medir a incerteza num conjunto de eventos. Considerando X como uma variável randômica com possíveis valores de saída x_k , $k=1,2,3,\dots, K$ e probabilidades p_k em que o somatório é igual a 1 (como na fórmula já colocada). Shannon define a entropia de uma distribuição de probabilidades, $p = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_k)$ como a seguinte medida:

$$H(p) \equiv - \sum_k p_k \ln p_k \quad (3)$$

O conceito de entropia deriva das pesquisas de Boltzmann (1870) e também dos trabalhos de Maxwell, Gibbs, além dos estudos de Bernoulli, Laplace, Jeffrey e Cox, e Jaynes (GOLAN, 2008). Shannon propõe então usar o conceito de entropia para escolher a distribuição de probabilidade desconhecida, apresentada na fórmula 3.

O desenvolvimento do conceito de *information entropy* possui suas raízes na termodinâmica e nos trabalhos de Laplace, Bernoulli, Shannon e outros. Jaynes em 1957 propõe, com base nesses trabalhos, o conceito de *Maximum Entropy Principle* (MEP), que em termos de procedimentos foram divididos em *Generalized Maximum Entropy* – GME, e *Generalized Cross-Entropy* - GCE¹⁹ (GOLAN, JUDGE e MILLER, 1996). Para maiores detalhes das origens históricas ver Golan (2008).

O conceito de máxima entropia tem por base o teorema de Shannon que define que a única função H (*information entropy*) que satisfaz as condições impostas pela necessidade de ser uma medida razoável da quantidade de incerteza é:

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \quad (3.1)$$

Em aceitando essa interpretação segue que a distribuição (p_1, \dots, p_n) que maximiza a equação acima, sujeita as restrições impostas pela informação disponível, representa a melhor descrição que pode ser feita sobre determinada proposição. A única arbitrariedade é a definição de qual base de logaritmo utilizar, que depende do problema, mas que não possui efeito sobre os valores de p_i que maximizam H . A distribuição definida pela máxima entropia é a mais provável de ser observada experimentalmente (JAYNES, 2003).

Segundo Williamson (2005), o princípio teórico de máxima entropia estabelece que um vetor $p(x)$ pertencente ao conjunto de todas as frequências/probabilidades possíveis seja encontrado. O autor argumenta que esse conjunto de possíveis valores de p é fechado e convexo e que para definir esses valores podem ser aplicadas técnicas de otimização restrita, com o uso de multiplicadores de Lagrange, ou outra rotina de otimização matemática.

Sendo esse vetor p fechado e convexo então a minimização da distância entre p e q é uma estratégia válida ao se utilizar técnicas de otimização (ARORA, 2012). Jaynes (2003)

¹⁹Esses dois modelos se diferenciam pela existência de informação *a priori* o que leva ao uso da modelagem de GCE. Maiores detalhes adiante.

chama de “o princípio de máxima entropia”, em que é possível a partir dos dados escolher e definir essa probabilidade. Para Jaynes (2003) MaxEnt é um algoritmo de inferência passiva que converte informações fornecidas em previsões; não tem conteúdo físico propriamente dito.

Fisicamente, MaxEnt é mudo; é um algoritmo de inferência, não um princípio físico - o mensageiro, e não a mensagem. Dada essa informação (ou estimar), MaxEnt faz previsões macroscópicas atribuindo primeiramente uma probabilidade de p_i que o sistema estará no microestado²⁰ i e, em seguida, levando valores de expectativa sobre p_i (DEWAR, 2009).

A falsificação experimental de MaxEnt é, portanto, um conceito sem sentido porque, na interpretação de Jaynes, MaxEnt não é um princípio físico. Quando as previsões de MaxEnt não concordam com o experimento, é a física essencial assumida (a mensagem) que é falsificada, e não o MaxEnt (o mensageiro). A interpretação de Jaynes também deixa claro que o MaxEnt pode ser aplicado a qualquer sistema, em equilíbrio ou não, físico, biológico ou de outra forma (DEWAR, 2009).

As teorias de estatística e termodinâmica possuem abordagens convergentes. Na primeira o objetivo é formular uma teoria/metodologia que permita entender as características gerais (distribuição) de um sistema a partir de informação incompleta e parcial. Já a segunda, o mesmo objetivo é expresso em determinar como definir os valores iniciais de probabilidade (estado inicial) quando tendo somente dados globais sobre esse sistema.

Quando analisa uma regressão linear, um sistema de equações simultâneas, um modelo de primeira ordem de Markov, uma imagem desfocada ou mesmo um texto, se o pesquisador deseja entender os dados, mas sem impor certas condições que podem ser inconsistentes com a natureza dos mesmos então o problema começa a se tornar inerentemente indefinido.

Portanto, todos os problemas de inferência e estimação são transformações de informação limitada sobre a função de densidade de probabilidade para um conhecimento maior sobre essa distribuição.

Se fosse possível conhecer todos os detalhes de um sistema (verdadeiro valor do mecanismo que controla o evento de interesse), tais ferramentas não seriam necessárias.

Aplicações em medicina, reconstrução de imagens e análise espectral (sinais de EEG, imagens de exames de ressonância magnética); em física (reconhecimento de voz e facial), em química e biologia (modelagem de sequências de DNA e tantos outros).

²⁰ Conceitos abordados na digressão sobre termodinâmica.

Acima de tudo, o objetivo é formular uma teoria/metodologia que permita entender as características gerais (distribuição) de um sistema a partir de hipóteses mínimas sobre a verossimilhança do modelo em relação a este sistema.

Entropia é informação esperada. Ela reflete o que se espera aprender a partir das observações, em média, e depende de como se mede essa informação. Em outros termos, entropia é a medida da incerteza de uma simples variável randômica. Entropia pode ser vista então como a medida de uniformidade. Em outro contexto, a entropia é vista como a medida de desordem de um sistema. A segunda lei da termodinâmica define que a entropia de um sistema fechado (como o Universo) aumenta com o tempo. Isso representa a progressão do sistema para uma posição de equilíbrio que atingirá o máximo nível de entropia. Ainda, entropia pode ser considerada uma ferramenta capaz de atualizar nossas informações anteriores (“crenças”) para novas distribuições de probabilidade quando novas informações forem incorporadas (GOLAN, 2008; TARANTOLA, 2006).

Todas essas definições convergem para uma única e coerente definição: é uma medida de informação esperada (ganho de informação) medida em relação à uniformidade, grau de distinguibilidade e desordem. Aqui Golan (2008) faz uma distinção entre ignorância e incerteza. Ignorância (ou ignorância absoluta) é não saber que existe incerteza (em um nível abstrato) na distribuição dos possíveis resultados de estados da natureza. É uma completa falta de conhecimento das informações necessárias para se tomar uma decisão (muitos cientistas não fazem distinção entre incerteza e ignorância).

Em termos econométricos, a entropia pode ser vista da seguinte maneira: o pesquisador nunca saberá os valores reais que caracterizam um sistema econômico. Portanto, ele pode incorporar seu conhecimento e entendimento sobre o sistema para reconstruir (estimar) uma imagem (parâmetros desconhecidos) e este conhecimento normalmente está na forma de quantidades agregadas (macro), tais como momentos (médias, variâncias, desvio-padrão). O pesquisador pode, então, escolher a imagem que possui o maior valor possível de entropia ($H(p)$). Para finalizar esta exposição recorre-se a uma demonstração, que apenas está na forma de fórmulas para simplificar sua colocação (GOLAN, JUDGE E MILLER, 1996). A relação entre máxima probabilidade e máxima entropia pode ser assim explicada:

Suponha que existam N ensaios (repetições) de um experimento com K possíveis resultados (estados). Seja N_1, N_2, \dots, N_k o número de vezes que cada resultado ocorre no experimento de tamanho N , onde:

$$\sum_k N_k = N, N \geq 0 \text{ e } k = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

Desde que existam N ensaios e cada ensaio possua K possíveis resultados, existe então K^n resultados possíveis na sequência dos N ensaios. Considere p_k essa frequência, pode-se dizer que:

$$p_k = \frac{N_k}{N} \text{ ou } N_k = Np_k, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (4.1)$$

E que essas frequências podem ser realizadas em um número de vezes possíveis (permutações). Pode-se então representar esse número de vezes que um conjunto particular de N_k pode ser obtido a partir do coeficiente multinomial:

$$W = \frac{N!}{N_{p_1}! N_{p_2}! \dots N_{p_k}!} = \frac{N!}{\prod_k N_k!} \quad (4.1.1)$$

Ou a partir de uma função monótona²¹ de W :

$$\ln W = \ln N! - \sum_{k=1}^K \ln N_k! \quad (4.1.2)$$

Utilizando a aproximação de Stirling :

$$\begin{aligned} \ln n! &= \ln 1 + \ln 2 + \dots + \ln n = \sum_{n=1}^n \ln n = \int_1^n \ln x \, dx = [x \ln x - x]_1^n = \\ &= n \ln n - n + 1 \approx n \ln n - n \end{aligned}$$

Para aproximar cada componente do lado direito da equação, e para um N suficientemente grande:

$$\ln W \approx N \ln N - N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N_k + \sum_{k=1}^K N_k \quad (4.1.3)$$

Cada $\sum_{k=1}^K N_k = N$ tem-se:

$$\ln W \approx N \ln N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N_k \quad (4.1.4)$$

A razão N_k/N representa a frequência de ocorrência de um possível valor k na sequência de tamanho N e

²¹ Uma função é monótona se ocorrer o seguinte: quando aplicada a dois conjuntos ordenados de dados (x e y), em intervalos reais tem-se basicamente dois casos: se $f(x_1) \geq f(x_2)$ então $f(y_1) \geq f(y_2)$, que indica uma função monótona crescente. E se $f(x_1) \leq f(x_2)$ então $f(y_1) \leq f(y_2)$ tem-se uma função monótona decrescente. Existem outros casos a exemplificar, mas esses são representativos. A entropia é uma função monótona crescente.

$$\frac{N_k}{N} \rightarrow p_k \text{ e } N \rightarrow \infty.$$

Consequentemente,

$$\ln W \approx N \ln N - \sum_{k=1}^K N p_k \ln N p_k \quad (4.1.5)$$

$$\ln W \approx N - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \quad (4.1.6)$$

$$N^{-1} \ln W \approx - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k = H(p) \quad (5)$$

A equação 5 representa a medida da entropia de Shannon, de maneira análoga a equação 3. Quando o valor do lado direito da equação é zero a entropia é maximizada.

A partir dessas relações pode-se então converter o problema de encontrar uma distribuição de probabilidades em um problema de maximização, e utilizando técnicas de programação matemática, ou outra técnica, podem-se encontrar soluções para os problemas em econometria, ou qualquer campo de interesse.

Em síntese, a partir do uso do princípio de máxima entropia é possível transformar dados em uma distribuição de probabilidade. Os principais aspectos de escolha dessa ferramenta são:

- Como recuperar e processar informações quando os dados são incompletos, ou não conhecidos de forma total?
- Uma vez que os dados econômicos não são reproduzíveis, isto é, não são derivados de experimentos, todas as estimativas são indeterminadas (do ponto de vista estatístico).
- Como estabelecer um modelo analítico baseado nas limitações desses dados?

Ainda sobre a ligação entre o conceito de probabilidade e frequência, Jaynes (2003) diz que uma probabilidade é algo que se designa/define, para representar um estado de conhecimento. Já frequência é uma propriedade factual do mundo real que pode ser medida ou estimada. A frase "estimar uma probabilidade" é tanto uma incongruência lógica quanto "atribuir uma frequência" ou "desenhar um círculo quadrado".

A distinção fundamental e inescapável entre probabilidade e frequência reside neste princípio da relatividade: as probabilidades mudam quando mudamos nosso estado de

conhecimento; frequências não. Segue-se que a probabilidade $p(E)$ que atribuímos a um evento E pode ser igual à sua frequência $f(E)$ apenas para certos estados particulares de conhecimento. Intuitivamente, seria de esperar que este seja o caso quando a única informação que temos sobre o evento E consiste na sua frequência observada. Uma das situações em que isso ocorre é no princípio de máxima entropia. O conceito de máxima entropia é uma extensão da teoria de probabilidade, ou seja, matematicamente é uma consequência lógica (JAYNES,2003).

Interessante notar o seguinte: O que acontece caso uma informação utilizada em determinado problema seja contraditória, ou incorreta? A resposta é: não existe distribuição de probabilidade que possa ser associada a essa informação errada. Quando uma nova informação logicamente contradiz uma informação prévia, o princípio de máxima entropia degenera (*breaks down*), recusando-se a nos dar qualquer distribuição (resposta) (JAYNES, 2003).

Essa situação ocorreu nas primeiras simulações em que assumiu-se que o vetor relativo ao uso de nitrogênio deveria ser zero, pela indicação de algumas leituras que não indicam o uso de nitrogênio na soja. No entanto, existe um nível de uso, que após a retirada da restrição, foi possível elaborar as estimativas.

Em resumo o princípio da máxima entropia não é um oráculo dizendo quais predições estão certas. É uma regra que diz quais predições são mais fortemente indicadas pelas nossas informações disponíveis (JAYNES, 2003, p. 370).

4.1.1 MODELO DE ENTROPIA GENERALIZADA CRUZADA

A partir desses elementos teóricos e dada a estrutura dos problemas desta tese optou-se por utilizar uma abordagem derivada. Adotou-se aqui o conceito de entropia cruzada (*cross-entropy*) que também é chamada na teoria de informação com a diferença Kullback-Leibler (KL), e é usada para medir a diferença entre duas distribuições de probabilidade. Matematicamente minimizar KL é similar a maximizar a *Information Entropy* (H). O uso de KL se deu por questões de convergência dos resultados, conforme destaca Golan, Judge e Miller (1996, p. 30): os autores demonstram que o mecanismo de entropia cruzada permite a construção de algoritmos que encontram as soluções de forma mais rápida. Tratado também por Baluja (2002).

Essa diferença representa a perda de informação quando se utiliza a distribuição Q (*a priori*) para calcular a distribuição P . A probabilidade P representa a distribuição “estimada” relacionada com os dados, enquanto Q normalmente representa um modelo ou aproximação de P , se esse valor for zero essas duas distribuições são coincidentes (RUBINSTEIN e KROESE, 2004; GOLUB et al, 2015).

Dito de outra forma, considerando duas distribuições $P(x)$ e $Q(x)$ de uma variável randômica, em estatística a distância entre duas distribuições é medida pela expectativa do logaritmo de verossimilhança, chamada de *cross-entropy* (CE). Essa distância mede a ineficiência de assumirmos que a distribuição que representa os dados é Q , quando de fato é a distribuição P (JAYNES, 2003, p. 286).

Ainda segundo Jaynes (2003), mesmo que um experimento randômico não esteja envolvido na análise, a distribuição de entropia máxima ainda representa a mais “honesta” descrição do nosso estado de conhecimento. Resultado também válido para a abordagem de GCE.

Segundo Rubinstein e Kroese (2004), ao usar o conceito de *cross-entropy* é possível transladar (*translating*) um problema determinístico de otimização em um problema estocástico de otimização.

O método de GCE envolve um procedimento iterativo e cada iteração pode ser dividida em duas fases: i) gerar uma amostra randômica (trajetórias, vetores, etc) de acordo com algum mecanismo específico; ii) atualizar os parâmetros do problema baseado nos dados para produzir uma amostra mais ajustada na próxima iteração.

Segundo Yildiz e Yercan (2010) e também Rubinstein e Kroese (2004) a abordagem de *cross-entropy* pode ser considerado um algoritmo de busca global, procurando soluções ótimas globais em todo os dados (*Big Picture*). Pode ainda ser considerado um algoritmo de aprendizagem a cada iteração – aproximação entre P e Q (distribuição de probabilidade). Ainda segundo os autores, tanto o algoritmo de *cross-entropy* quanto os algoritmos genéticos são considerados heurísticas baseadas na população.

Com base nessa proximidade teórica este estudo propõe utilizar uma estrutura de otimização baseada em algoritmo genético, que possui uma capacidade de lidar com problemas de otimização restrita. Normalmente os estudos associados ao tema de *information entropy* utilizam a simulação de Monte Carlo para o desenvolvimento dos cálculos. Esta diferença constitui-se numa inovação nos procedimentos metodológicos. Acredita-se que isso seja passível de debates positivos.

Segundo Higuchi (2001), a utilização de algoritmos genéticos e Monte Carlo são procedimentos idênticos para o tipo de modelagem utilizada aqui. A diferença básica está na nomenclatura dos procedimentos. Os algoritmos genéticos trabalham com uma população de candidatos a solução (chamados de cromossomos). Esses cromossomos precisam se adaptar ao ambiente (ajuste baseado no objetivo definido e nas restrições). Pela literatura consultada esses algoritmos possuem um grau de “randomicidade” o que os classifica como método probabilístico. Cada iteração envolve: avaliação, seleção e recombinação de cada indivíduo na população (EIBEN e SMITH, 2003; BREABAN, 2011).

Em relação a abordagem de computação evolucionária, baseada na biologia, os pesquisadores, dentre eles Holland (1992), buscavam entender como ocorria a sobrevivência na natureza. Como a lógica de sobrevivência do “mais forte” acontecia, ou em outros termos, como ocorria a seleção natural? Segundo Mithcell (1998), a evolução é um método de procura dentre um conjunto grande de possibilidades (soluções). No caso da biologia isso significa as possibilidades de soluções a partir dos genes e as pressões do ambiente sobre os indivíduos.

A cor dos olhos, tipo de cabelo ou doenças fazem parte de um conjunto aleatório de respostas. As espécies evoluem a partir de variações randômicas (via mutação, recombinação ou outro operador). Nos algoritmos genéticos a seleção de cada candidato pode ser feita mais de uma vez garantindo, assim, as condições para que a teoria de probabilidade seja válida, pois cada iteração é independente, didaticamente comparado ao caso de se jogar dados (HIGUCHI,2001). Tanto os algoritmos de GCE quanto os algoritmos genéticos são procedimentos de procura, que se caracterizam por utilizar “N” candidatos a soluções ótimas a cada iteração.

4.2 SÍNTESE DOS ASPECTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Como se relacionam todos esses aspectos com os objetivos apresentados na introdução? A partir de dados agregados sobre produção e área de soja desenvolveu-se uma modelagem para se recuperar informações sobre esse sistema, em um nível de detalhamento incomum para o Brasil, principalmente para diferentes anos selecionados. Isso acontece porque os censos agropecuários são decenais e costumam “atrasar”, além do alto custo para a obtenção desses dados (pelas características continentais do Brasil).

As estimativas tem como base uma relação genérica entre insumos e produção (sistema produtivo). Essa hipótese é baseada em Vohnout (2003) que define sistema, do ponto

de vista matemático, como um objeto físico ou abstrato que através do tempo recebe insumos fora de seus limites, respondendo com mudanças em seu estado via produtos. Temos então que uma área agrícola é um sistema que pode ser modelado utilizando-se diversas técnicas. Segundo Vohnout (2003), os experimentos agronômicos se dividem em determinísticos e estocásticos. Em modelos estocásticos os estados do sistema são definidos como distribuições de probabilidade. Já nos modelos determinísticos, os estados são definidos como valores esperados dos *outputs* (média dos experimentos). Os valores obtidos em ambos podem ser estatisticamente próximos, sendo a diferença oriunda do fato de que nos modelos estocásticos a média é calculada com base na distribuição de probabilidade atribuída a cada variável utilizada (VOHNOUT, 2003).

Ao considerarmos as variáveis normalmente utilizadas nos experimentos agronômicos e suas características²², percebe-se que os procedimentos adotados aqui são equivalentes aos experimentos estocásticos, e podem ser comparados inclusive com modelos determinísticos²³. O que nos parece ser uma justificativa plausível para a aceitação da abordagem apresentada.

Antecipando alguns aspectos metodológicos: os experimentos são então os *trials* das distribuições de probabilidade calculados. O que qualitativamente conduz a resultados muito próximos, dado que os experimentos agronômicos são realizados, calculados suas taxas de sucesso, e demais procedimentos, e como resultado se tem a resposta média (para o uso de determinado insumo), considerando o efeito combinado de todas as variáveis selecionadas para o experimento.

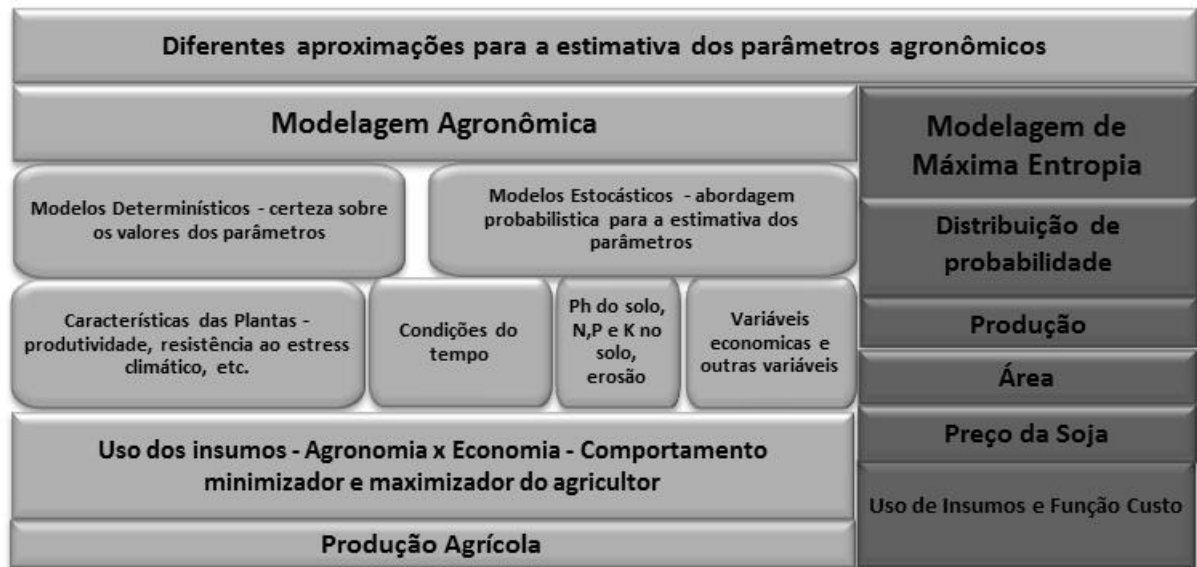
Aqui ocorre o inverso, com base nos resultados observados de produção e área utilizada se quer estimar os parâmetros (insumos), com base no seu comportamento esperado (prováveis valores) e para isso são simuladas as distribuições de probabilidade.

Ocorre uma inversão da pergunta: que quantidade de insumo pode ter sido utilizada para se atingir esse nível de produção, dado esse volume de área utilizada? Na seção de resultados se demonstra que as respostas convergem. De maneira a deixar um quadro para o leitor a Figura 5 resume esse debate:

²² Normalmente experimentos binomiais e multinomiais – sucesso e insucesso.

²³ Essa proximidade pode ser entendida pela presença do erro – que pode ser de variadas naturezas – erro do experimento, erro de especificação ou mesmo de cálculo.

Figura 5- Diferenças na Abordagem Agronômica e de Máxima Entropia



Fonte: Baseada em: VOHNOUT, K. (2003); GOLAN, A. (2008).

O comportamento minimizador refere-se a custos de produção, e o comportamento maximizador refere-se ao ganho financeiro. Condições do tempo referem-se a questões sobre chuvas, etc.

Do ponto de vista metodológico, parece plausível assumir a hipótese de relação linear entre insumos e produção e, além disso, as características de imparcialidade e capacidade de processamento das teorias utilizadas aqui permitem entender as características gerais desse sistema a partir de hipóteses mínimas sobre a verossimilhança do modelo em relação ao sistema. E também parece adequado utilizar as teorias debatidas nesta seção para estimar os parâmetros desejados sem impor certas condições, que poderiam ser inconsistentes com a natureza dos mesmos, conforme destaca Golan, Judge e Miller (1996).

4.3 BASE DE DADOS – INFORMAÇÃO A PRIORI

Foram coletados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em seu sistema de dados SIDRA (2015), os seguintes dados: quantidade produzida de soja, área plantada de soja. Esses dados foram obtidos nas tabelas 1612 e 822. A tabela 1612 traz os valores de produção, área e valor da produção de soja para todas as cidades brasileiras, para

os anos de 1990 até 2015. Todos os valores em reais foram atualizados utilizando-se o IGP-DI da Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul (FEE-RS²⁴).

Já a tabela 822 corresponde aos valores de produção de soja, área, valor da produção e total de estabelecimentos por extrato de área, mas somente para o ano de 2006. Esse foi o ano do último Censo Agropecuário no Brasil, e possui algumas informações detalhadas (utilizadas como informação *a priori*) sobre a quantidade produzida e área de soja por extrato de área colhida. Essa escolha sobre os extratos se baseou nos dados disponibilizados pelo IBGE no último Censo Agropecuário de 2006.

Além disso foram coletados os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para estimativas sobre o custo de produção²⁵ e sua comparação com as estimativas da modelagem. A diferença entre os dados da CONAB (2015) e os encontrados aqui diz respeito ao detalhamento: os dados da CONAB (2015) são estimativas para determinadas faixas de produtividade, os resultados encontrados referem-se a várias faixas de produtividade, que podem ser agregadas em baixa, média e alta (comparando-se com a produtividade adotada pela CONAB).

Para o desenvolvimento dos cálculos foi escolhido o aplicativo para Microsoft Excel chamado de Evolver, de propriedade da Palisade²⁶, que utiliza procedimentos baseados em algoritmo genético. O Evolver incorpora os principais algoritmos nessa área de programas baseados na biologia. Sua capacidade de lidar com a estrutura de cálculo proposta demonstra que realmente essa abordagem é capaz de lidar com a complexidade dos cálculos de otimização com restrições, conforme já dito anteriormente.

Os procedimentos comuns às formulações desenvolvidas envolvem a definição dos vetores de suporte (Z), e a distribuição Q (informação *a priori*). Os vetores da distribuição P associados foram considerados variáveis, respeitando as regras de aditividade (descritas adiante). Os vetores de suporte também são variáveis, e seus valores iniciais foram obtidos do IBGE e CONAB.

Em relação a definição da distribuição Q : a partir das teorias sobre *information entropy* é possível afirmar que uma atribuição de probabilidade uniforme representa um estado de espírito completamente não comprometido em relação a todas as possibilidades. Uma distribuição uniforme não possui “preferência” por nenhum valor relacionado com o problema em análise (JAYNES, 2003 p.344). Então, a partir disso, escolheu-se uma

²⁴ Esses dados foram descontinuados em 2015. O procedimento foi então atualizar as tabelas com base na inflação oficial brasileira, convertendo os valores em índices de atualização.

²⁵ Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1546&t=2>

²⁶ <http://www.palisade.com/evolver/>

distribuição *a priori* “concentrada”, que tem por objetivo evidenciar quais os valores do vetor de suporte são mais prováveis/frequentes, tendo assim novas informações além do que foi recuperado como valor do parâmetro. Todos esses valores estão disponíveis para consulta nas planilhas do material suplementar.

Para se avaliar e validar os cálculos recorre-se a seguinte medida de ajuste: a medida da informação contida em um sistema e a medida da importância da contribuição de cada “pedaço” de informação ou restrição na redução da incerteza é definida como medida de entropia normalizada $S(p)$. Considerando cada parte da informação para um parâmetro genérico β_k tem-se :

$$S(\beta_k) = \frac{(-\sum_m \hat{p}_{k,m} \ln \hat{p}_{k,m})}{\ln(M)} \quad (6)$$

Onde $S(\beta_k)$ está no intervalo entre 0 e 1. Na fórmula ‘m’ significa o número de valores do vetor de probabilidade associado, no caso aqui $M=5$. Na fórmula \hat{p} representa o valor do vetor de probabilidade calculado. Considerando a disposição da informação em formato de matriz adotado aqui, são calculados esses valores para cada linha. Quanto menor o valor de $S(\beta_k)$, menor a incerteza em relação aos coeficientes recuperados. A entropia de todo o sistema (conjunto de coeficientes) é calculada da seguinte forma:

$$S(B) = \frac{-\sum_k \sum_m \hat{p}_{k,m} \ln \hat{p}_{k,m}}{(K \ln(M))} \quad (6.1)$$

Onde “K” estados podem ser traduzidos, na linguagem de matrizes adotada, como o conjunto de linhas (estados).

Além das medidas de entropia normalizada, tem-se as medidas de ajuste do modelo, retirados de Peeters e Surry (2007):

- Pseudo R2 – é definido como o quadrado da correlação simples entre o que foi calculado e o valor observado de cada *input* i.
- MAPE – *mean absolute percentage error* dos parâmetros dos *inputs* i estimados e observados é definido como:

$$MAPE_i = 1/N \sum_{i=1}^I (|x_i - \hat{x}_i|/x_i) \quad (6.3)$$

O pseudo R2 pode ser aproximado por 1 menos a fórmula 6.3 (entropia geral do sistema).

Para avaliar a eficiência econômica dos diferentes produtores adota-se um indicador para responder a seguinte questão: Como é possível comparar de forma indireta os diferentes produtores? Utiliza-se para isso o retorno constante de produtividade (RCP). Esse indicador foi pensado a partir das seguintes estruturas teóricas da Ciência Econômica. A partir da hipótese de rendimentos constantes de escala, da teoria da renda da terra e a teoria da vantagem comparativa de Ricardo (1982) tem-se o conceito de Retorno constante da produtividade (RCP). É preciso deixar claro que esse conceito inexistia dessa forma na teoria Ricardiana, tratando-se de uma proposta desta tese, principalmente como proxy de um rendimento termodinâmico da terra.

Normalmente, as funções de produção assumem que a utilização de um fator segue um padrão de acréscimos decrescentes (a cada unidade adicionada tem-se um menor retorno em relação a produção total). Mas para efeitos de análise, relaxar essa hipótese não nos parece invalidar as considerações derivadas. O rendimento constante de escala assume que dobrar todos os insumos irá dobrar a produção, e vice-versa. Lembrando que a lei do rendimento marginal descreve o acréscimo de 1 fator mantendo os outros constantes (VARIAN, 2000). Obviamente esse é uma construção sujeita à revisões, mas entende-se como válida baseando-se em pressupostos da bioeconomia e a eficiência baseada na segunda lei da termodinâmica. Essa construção foi derivada da observação da produtividade entre os produtores rurais. E com isso se constatou aproximações com a teoria da renda da terra.

4.4 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS PARA SOJA

4.4.1 MODELO PARA ÁREA E PRODUÇÃO

Considere a seguinte situação: tem-se à disposição uma estimativa sobre as quantidades produzidas por extrato de área para determinado ano (2006). Como recuperar essa informação para outros anos? Considere ainda que a informação disponível é o total produzido e a área total cultivada nos diferentes anos. Para cada ano é necessário atualizar os limites, rodando-se o modelo novamente, segundo a formulação desenvolvida.

Seguindo a metodologia proposta aqui define-se um conjunto de vetores para o desenvolvimento dos cálculos. Esses procedimentos são comuns a todas as três modelagens. O processo de reparametrização do sistema define vetores de suporte para cada parâmetro de

interesse. E para cada vetor de suporte são estimados os vetores de probabilidade que, relembando, representam o processo de geração dos dados de cada sistema analisado. O objetivo é então recuperar as informações (não observáveis) dos parâmetros a partir de dados disponíveis. Para cada parâmetro genérico β existe uma distribuição de probabilidade que é definida sobre o espaço $[0,1]$ e possui um conjunto de pontos (vetor de suporte) $z = [z_1, z_2, \dots, z_M]$ com suas probabilidades correspondentes $p_k = [p_{k,1}, p_{k,2}, \dots, p_{k,M}]$, $q_k = [q_{k,1}, q_{k,2}, \dots, q_{k,M}]$ aqui adotou-se $M = 5$, principalmente pela precisão requerida. A distribuição *a priori* é igual também para todas as simulações²⁷.

Adotando-se então essa reparametrização proposta por Golan, Judge e Miller (1996): considerando como variáveis²⁸ os vetores p , z e u . A partir da estrutura desenvolvida é possível então recuperar a produção por extrato de área $w_{i,t}$, e também a área destinada por extrato de área $j_{i,t}$ onde i identifica o extrato de área (no caso aqui 15 categorias foram definidas com base nos dados do IBGE(2015) e t qualquer ano genérico (os dados foram rodados separadamente por cada ano de interesse). Tem-se que, para recuperar (estimar) as informações desconhecidas para diferentes anos, recorre-se a seguinte reparametrização :

$$w_{i,t} = \exp(e_{m,i}) \quad \forall i, t \quad A.1$$

$$j_{i,t} = \exp(a_{m,i}) \quad \forall i, t \quad A.2$$

$$e_{m,i} = \sum_{m=1}^M z_i \hat{p}_{m,i}, \quad \forall i, t$$

$$a_{m,t} = \sum_{m=1}^M u_i \hat{p}_{m,i}, \quad \forall i, t$$

E para obter esses resultados recorre-se, finalmente, a seguinte modelagem:

$$\text{Min } H(p, q) = \left(\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M p_m \ln(p_m/q_m) \right) \quad (7)$$

s.a

$$W_i = \sum_{t=1}^{T=15} w_i \quad (r.1)$$

$$J_i = \sum_{t=1}^{T=15} j_i \quad (r.2)$$

²⁷ Todos estes detalhes estão colocados de forma clara nas planilhas do material suplementar.

²⁸ Todos os valores em logaritmo natural.

$$\sum_{m=1}^M z_i \hat{p}_m \geq 0 \forall i \text{ (r.3)}$$

$$\sum_{m=1}^M u_i \hat{p}_m \geq 0 \forall i \text{ (r.4)}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M p_m \ln(p_m/q_m) \geq 0 \text{ (r.5)}$$

$$\sum_{m=1}^M \hat{p}_{m,i} = 1 \forall i \text{ (r.6)}$$

$$\sum_{m=1}^M \hat{q}_{m,i} = 1 \forall i \text{ (r.7)}$$

$$l_d \leq z_i \leq l_s \forall i \text{ (r.7)}$$

$$l_d \leq u_i \leq l_s \forall i \text{ (r.8)}$$

As restrições de consistência para a equação 7 estão colocadas de r.1 a r.5. As restrições de aditividade estão colocadas em r.6. Ao calcular os valores ótimos para os vetores de probabilidade é possível então estimar os valores ótimos para área e produção, por extrato de área. Aqui existe uma diferença, que foi testada e apresenta resultados com menor custo computacional.

O vetor de suporte é constituído de apenas um valor por categoria e possui limites inferiores (l_d) e superiores (l_s). Esse valor foi multiplicado por cada valor da distribuição p. O que garante o resultado idêntico se fosse adotado um vetor de suporte com mais valores.

Essas são células objetivo, isto é, se ajustam. Na rotina do software pode-se acrescentar limites para essas células. Inicialmente são estabelecidos valores limites mínimo e máximo que essas células podem assumir. Na definição das restrições são informados ao software novos dados, que irão depender das características de cada classe de área cultivada (volume de produção e volume de área). Essa separação permitiu uma convergência dos cálculos mais rápida, sendo, portanto um procedimento a ser observado.

A separação por extrato de produtores e entre esses produtores outra separação foi necessária, pelo fato de que existe uma variação grande nos perfis de volume de produção (pequenas, médias e grandes propriedades). Foi então necessário separar na rotina de cálculo os limites inferiores e superiores (em logaritmos) para valores de produção abaixo de 100 mil toneladas e área colhida total abaixo de 50 mil hectares (considerando a soma de todos os produtores dos extratos). Nesse grupo encontram-se por exemplo, produtores abaixo de 4 hectares, e produtores sem área (que arrendam). Os demais extratos foram unificados e seus

limites foram considerados os mesmos. Informando-se ao software o conjunto de suporte para cada extrato.

Foram realizados diversos testes de formulação e o procedimento adotado aqui foi o que obteve a melhor convergência e solução. Em síntese, foi a forma que trouxe resultados consistentes. Nesse momento essa foi a solução encontrada, a partir de diversos testes.

A restrição r.1 representa o valor estimado limite máximo para a produção agrícola, ou seja, a restrição de consistência da otimização define que o total da produção por extrato de área não pode ser maior que a produção agrícola total num determinado território (informação *a priori* - aqui considerada como $W_{i,t}$). A restrição r.2 representa também essa consistência da otimização para área, e diz que a área por extrato de área não pode exceder a área total destinada a produção (informação *a priori*, considerada aqui como J_i). As restrições r.3 e r.4 garantem que os parâmetros possuam valores positivos. A restrição r.5 é apenas um artifício para o programa, pois, por definição, o limite da função objetivo é o valor zero. E a restrição r.6 é a condição de aditividade do vetor de probabilidade associado à produção e área. Essa simplificação, em termos de vetor de probabilidade, se dá pela forma como foi estruturado o cálculo. É redundante definir a natureza das variáveis, que no caso são estritamente positivas (sempre positivas), dada a natureza do problema analisado.

Os procedimentos adotados consideram vetores de probabilidade separados para produção e área, porém numa mesma estrutura de cálculo.

Em relação às informações dadas ao programa para que ele realize os cálculos, além do que está explicitado nas fórmulas tem-se: as variáveis x_i e a_i tiveram estabelecidos limites inferiores e superiores, isto é, a partir dos valores publicados pelo IBGE em 2006 estimou-se para cada extrato de área de produção uma faixa ampla de variação que contemplasse os prováveis valores para cada área (colocadas em seus logaritmos naturais) e leva-se em conta as informações dos totais por ano disponíveis. A escolha final desse valor foi calculada pela rotina de cálculo. Esses limites foram necessários dado que numa mesma rotina de cálculo se tem, por exemplo, um total de produção de 1000 toneladas e também mais de 2 milhões de toneladas. Informar ao software esse conjunto amplo de escolhas foi improdutivo e incapaz de obter respostas viáveis. O número de valores nos vetores de probabilidade das variáveis foi definido em termos de precisão e custo computacional, o valor escolhido parece estabelecer uma boa aproximação aos objetivos definidos.

Todos os detalhes colocados aqui podem ser encontrados nas planilhas do material suplementar.

4.4.2 MODELO DA FUNÇÃO CUSTO DE PRODUÇÃO

Para elaborar essa modelagem adota-se um modelo genérico, com base em Peeters e Surry(2007) . Considere I insumos, produzindo K produtos, que no caso aqui é 1 pois se trata apenas de estimar a função de produção para a soja. Tem-se então o seguinte sistema de equações lineares (equação 8):

$$x_t^i = \sum_{k=1}^K \beta_k^i y_{t,k} + e_t^i \quad \forall i, t \quad (8)$$

Onde:

x_t^i = custo por estrato de produção

β_k^i = coeficiente de alocação do custo (valor desconhecido)

$y_{t,k}$ = valor da produção da atividade k, no estrato t.

e_t^i = termo de erro

O valor da produção é o logaritmo natural da quantidade produzida por extrato de área multiplicado pelo preço de venda da soja. Para recuperar o valor em reais basta multiplicar cada coeficiente encontrado pelo valor da produção em reais. As estimativas são feitas em logaritmos para reduzir a variabilidade e facilitar os cálculos.

Os subscritos podem assumir diferentes definições, dependendo do problema. No caso da função dos coeficientes técnicos a y_t assume o valor monetário da produção, e não seu valor físico.

O nível de detalhamento e o volume de informação para os anos selecionados estão indisponíveis, salvo melhor juízo, para a maioria dos pesquisadores e produtores. Essa é uma das contribuições do presente estudo, permitir que mais pesquisadores utilizem a rotina de cálculo para seus objetivos, espera-se que com a automatização da ferramenta de cálculo seu uso se dissemine, em ambos os usuários.

A partir das informações de área e produção calculadas pela rotina anterior é possível estabelecer estimativas dos custos de produção, no caso aqui para a soja, agregando-se novos parâmetros e vetores de suporte. Esses cálculos são feitos de forma separada por limitações de processamento do computador utilizado.

Os valores iniciais que forneceram informação para os limites dos vetores de suporte foram retirados da CONAB (2016) e do IBGE(2016). Esses dados contem as estimativas desses dois institutos para o custo de produção da soja. Os mesmos itens foram mantidos aqui nesta modelagem. Uma observação em relação aos dados disponíveis pela CONAB e IBGE:

esses dados são estimativas amostrais que são calibradas pelos institutos. Os resultados da modelagem proposta aqui possuem uma convergência em relação aos dados publicados, porém, num nível de detalhamento maior do que as estatísticas oficiais, que consideram apenas determinadas produtividades por hectare.

Considerando que todos os dados estão relacionados ao seu extrato de área de produção (conforme já definido) o objetivo aqui é recuperar os coeficientes da função custo de produção. Lembrando que as variáveis informadas ao programa são o vetor de probabilidade p e os vetores de suporte z . Esses vetores normalmente são vetores coluna, aqui se adotou uma estrutura que os transforma em vetores linha, por conveniência do cálculo. Por isso eles aparecem em todas as fórmulas com o símbolo de transposição ($'$). O cálculo vetorial é o mesmo.

O programa de otimização matemática nesta modelagem define os gastos com os *inputs* (i), apenas um *output* k (valor de produção da soja) e seus parâmetros por extrato de área. Esses parâmetros $\beta_{i,t}$ representam os coeficientes do custo de produção i , no extrato de produção t .

O objetivo é então recuperar essa informação indisponível no detalhamento proposto aqui, tendo como base as informações em w_i (produção) e j_i (área). Para cada termo de $\beta_{i,t}$ existe uma distribuição de probabilidade (vetor calculado) e um conjunto de pontos (vetor de suporte). Y tem dimensão t , o vetor B tem dimensão k (k maior que t) e x é uma matriz não invertível ($T \times K$). Esse parâmetro é então estimado:

$$y = X\beta_i \quad (9)$$

$$\beta_k = Zp \quad (9.1)$$

$$Zp = \begin{bmatrix} z' & & \\ & \ddots & \\ & & z' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_k \end{bmatrix}$$

$$\beta_{i,t} = z'_{m,t} p'_{m,t} = \sum_{m=1}^M z'_{m,t} p'_{m,t}, \quad \forall t; \forall i \quad (9.2)$$

$$y = XZp \quad (9.3)$$

A equação 9.3 representa o sistema reparametrizado que pode então recuperar os parâmetros desejados. Novamente, para recuperar esses parâmetros recorre-se ao seguinte programa de otimização matemática (equação 10):

$$\text{Min } H(p, q) = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T p'_{m,t} \ln(p'_{m,t}/q'_{k,t}) \quad (10)$$

s.a

$$\sum_{t=1}^T y_{k,t} \geq \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N z'_{m,n,t} x_{k,t} \quad \forall m, k \quad (r.1)$$

$$\sum_{m=1}^M \hat{p}'_{m,n,t} = 1 \quad \forall n, t \quad (r.2)$$

$$\sum_{m=1}^M z'_{m,n} p'_{m,n,t} \geq 0 \quad \forall n, t \quad (r.3)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T p'_{m,t} \ln(p'_{m,t}/q'_{k,t}) \geq 0 \quad (r.4)$$

Informação Adicional:

$$0,1 \leq z_{m,1,t} \leq 0,6 \quad t = (1,2,3,4); \forall m$$

$$0,1 \leq z_{m,2,t} \leq 0,7 \quad t = (1,2,3,4); \forall m$$

$$0,1 \leq z_{m,3,t} \leq 0,4 \quad t = (1,2,3,4); \forall m$$

$$0,001 \leq z_{m,4,t} \leq 0,02 \quad t = (1,2,3,4); \forall m$$

$$0,01 \leq z_{m,5,t} \leq 0,675 \quad t = (1,2,3,4); \forall m$$

$$0,1 \leq z_{m,1,t} \leq 0,4 \quad t = (5,6,7, \dots, 15); \forall m$$

$$0,11 \leq z_{m,2,t} \leq 0,45 \quad t = (5,6,7, \dots, 15); \forall m$$

$$0,05 \leq z_{m,3,t} \leq 0,165 \quad t = (5,6,7, \dots, 15); \forall m$$

$$0,04 \leq z_{m,4,t} \leq 0,16 \quad t = (5,6,7, \dots, 15); \forall m$$

$$0,225 \leq z_{m,5,t} \leq 0,675 \quad t = (5,6,7, \dots, 15); \forall m$$

A equação 10 representa a formulação básica definida para a equação 3. Sua apresentação em vez de ser vetorial está na forma de somatórios, que tornam mais compreensível seus termos. A restrição r.1 representa a restrição de consistência da otimização, e diz que a soma dos valores da produção por extrato de área não pode exceder o valor total da produção no território considerado. A r.2 corresponde a condição de aditividade para o vetor de suporte para os coeficientes (zm) e a restrição r.3 garante que os coeficientes sejam estritamente positivos. As informações adicionais representam os limites para cada vetor de suporte, grandes o suficiente para contar os valores mais prováveis, com base nos dados consultados dos órgãos oficiais (isto é, os valores considerados como vetor de suporte inicial são maiores que os valores mínimos e máximos encontrados para os coeficientes de custo de produção). A restrição r.4 é um artifício para que os cálculos apresentam maior velocidade de convergência (redução do tempo computacional), pode ser considerada redundante.

Considere que $n=1$ representa o coeficiente dos gastos com adubos, $n=2$ os gastos com agrotóxicos, $n=3$ combustíveis, $n=4$ gastos com energia elétrica e $n=5$ as demais despesas.

Em relação ao preço da soja, que é utilizado para converter os coeficientes da função estimada em valores em reais. Esse preço foi considerado variável. O intervalo de variação para esse vetor foi retirado da pesquisa de preços da soja para os diferentes anos, e foi colocado um valor mínimo e máximo que pudesse acomodar todas as prováveis variações. Em síntese, o preço foi considerado mais uma variável de otimização pelo modelo. Os procedimentos de vetor de suporte são idênticos aos demais coeficientes. Esse detalhe da modelagem vai ser interessante quando da construção de cenários, pois o preço irá se ajustar as variações de produção e área estimadas. E como se trata de um valor parametrizado é possível testar hipóteses também sobre seu comportamento. A restrição $r.1$ garante que esse preço não esteja em um patamar em que a receita é menor que o custo. O que parece ao comparar esses resultados da função custo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB que esse preço corresponde ao preço mínimo, superior em todos os anos estudados, ao da CONAB.

4.4.3 MODELO DO USO DE FERTILIZANTES

Adota-se aqui um modelo teórico simplificado que leva em conta a resposta da produção em relação ao uso de fertilizantes (VOHNOUT, 2003). As áreas e produções por extrato de área definidas pela primeira simulação será também utilizada aqui. Aqui tem-se uma estimativa baseada numa ferramenta que busca encontrar o valor mais provável de utilização dos insumos, a partir de restrições de estabilidade do sistema e demais regras associadas à modelagem.

As estimativas de área e produção aqui desenvolvidas serão utilizadas como dados de entrada. Lembrando que as variáveis informadas ao programa são o vetor de probabilidade p e os vetores de suporte z . Os parâmetros encontrados referem-se então aos prováveis valores (valores esperados, ou dito de outra forma, valores médios²⁹). Uma digressão em relação a informações anteriores: Segundo Jaynes (2003), *prior information* é qualquer informação que pode ser usada para trazer novas conclusões sobre determinado problema, não é necessariamente invariante, nem corresponde a “verdadeira imagem da natureza”. Esse *prior*

²⁹ Considerando que se trata de um valor multiplicado por sua probabilidade de ocorrência.

pode ser modificado durante os experimentos, essa é uma das características mais significativas, a flexibilidade e consistência.

Foram seguidos os mesmos procedimentos para a reparametrização do sistema, conforme já explicitado nas seções anteriores. Considere então o seguinte parâmetro, onde o subscrito “f” indica o tipo de nutriente, e t o extrato de área:

$$\beta_{f,t} = \sum_{m=1}^M z_{m,t} \hat{p}_{m,t}, \quad \forall f, t$$

Entende-se possível então recuperar essa informação a partir da seguinte formulação:

$$\text{Min } H(p, q) = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \hat{p}'_{m,t} \ln(\hat{p}'_{m,t}/q'_{m,t}) \quad (11)$$

s.t

$$\sum_{t=1}^T y_t = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M z'_{m,t} \hat{p}_{m,t} x_t \quad \forall k \quad (r.1)$$

$$\sum_{m=1}^M \hat{p}_{m,t} = 1 \quad \forall t \quad (r.2)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \hat{p}'_{m,t} \ln(\hat{p}'_{m,t}/q'_{m,t}) \geq 0 \quad (r.3)$$

Informação adicional:

$$\begin{aligned} 0,01 &\leq z_{1,t} \leq 0,1 \quad \forall t \\ 0,01 &\leq z_{2,t} \leq 0,6 \quad \forall t \\ 0,02 &\leq z_{3,t} \leq 0,9 \quad \forall t \end{aligned}$$

A equação 11 tem as seguintes restrições: restrição r.1 corresponde a regra de consistência do modelo Y_t é a produção e x_t a produtividade.

Já a restrição r.2 corresponde a condição de aditividade para o vetor de suporte para os coeficientes (z) e a r.3 corresponde ao artifício já citado de aumentar a “velocidade” da convergência da função objetivo. As informações adicionais correspondem aos limites informados ao software para os prováveis valores de cada tipo de nutriente. A informação adicional está em valores decimais.

Após, esses coeficientes foram multiplicados por 100 e também pela produção total por extrato de área, o que resulta na quantidade física de fertilizantes(N, P e K) por hectare(kg/hectare). Esse valor é então dividido pela produtividade para se obter o valor em kilos por tonelada de soja produzida. Os vetores de suporte são maiores do que os valores

máximos citados na literatura, numa tentativa de abranger as possíveis diferenças em relação a estas informações.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE FERTILIZANTES

Parece impossível tratar sobre uso de fertilizantes, sem tecer alguns comentários gerais. A história da comercialização de fertilizantes tem origem quando se utilizou ossos aplicados ao solo e se reconheceu seu valor. O uso nos Estados Unidos e Inglaterra datam provavelmente do final do século XVIII (SCIENCE, 1891).

Um dos aspectos centrais ao se analisar a cadeia de produção de fertilizantes é a sua estrutura. A cadeia global de fertilizantes, especialmente de fósforo e potássio, é frágil e volátil, dado principalmente pela concentração da produção, exportação e comercialização em poucas empresas e poucos lugares do Globo (TAYLOR e MOSS,2013). O debate aprofundado dessa estrutura é secundário para a pesquisa, mas é preciso ter em mente que o comportamento desse mercado está condicionado a um oligopólio (poucos vendedores) que dominam tanto a extração quanto a distribuição mundial dos nutrientes. Essas estruturas de comercialização possuem suas características particulares, e sugere-se a leitura de Nyssen et al.(2017), para um debate sobre a comercialização e o uso de fertilizantes, bem como a revenda de fertilizantes por parte dos produtores rurais na Etiópia.

Um dos aspectos de interesse da pesquisa é o salto nos preços dos fertilizantes, em especial para o fósforo. Que explicações podem ser dadas para esse comportamento do preço da rocha de fósforo?

Segundo Mew (2016) em 1983 o valor médio dos custos de produção (excluindo os custos financeiros) da rocha de fosfato era de US\$30 por tonelada de produção, com uma variação entre US\$16 e US\$55 por tonelada. Esse mesmo cálculo feito em 2013 baseado na capacidade e nos custos das maiores minas ativas resultou num valor de US\$38 por tonelada e uma variação entre 13 e 94 por tonelada. Esses valores são nominais. Atualizando os valores (inflação média de 2,5% ao ano) de 1983 o valor da tonelada de rocha de fósforo fica em US\$60 por tonelada(em dólares constantes). Esse resultado demonstra que o custo em termos reais da indústria caiu em 30 anos.

O valor do custo de produção possui pouca influência no preço de venda. A maior variação se dá em função da dinâmica da oferta/demanda do mercado. Os custos fornecem uma base de longo prazo em que as empresas realizam suas análises. Entender o comportamento dos preços é preciso então compreender a oferta e demanda quando os preços sobem (MEW, 2016).

Outra hipótese para os aumentos de preços em 2008, segundo Taylor e Moss (2013), se dá pelo poder de mercado de duas grandes empresas: a Poschem e Canpotex, em associação com empresas Marroquinas e Russas. Segundo os autores a indústria de fertilizantes tem uma longa história de acordos, de formação de cartel e outras formas de coordenação que datam de 1800. Além disso, os fertilizantes tem chamado a atenção do mercado financeiro.

Do lado da demanda, os altos preços de rocha de fosfato se traduzem em altos preços de fertilizantes fosfatados para o agricultor. Este efeito é exacerbado por altos níveis de outros preços de insumos (outros nutrientes, outros agroquímicos, combustível, fretes, etc.) e por preços baixos do produto (MEW, 2016).

No caso em que todos os preços dos insumos aumentam rapidamente, a demanda por fósforo cai, pois o solo possui a capacidade de “estocar” o nutriente no solo, o que faz com que os agricultores em muitas regiões produtoras de grãos, como a Europa, reduzam ou mesmo não comprem fósforo por uma ou mais safras (sem prejudicar a produtividade). E isso acaba por impactar o mercado de fósforo, impactando o lado da oferta, com pressões para queda nos preços, pela simples razão de que as empresas do setor têm custos que precisam ser cobertos e uma queda na demanda pode vir a comprometer a rentabilidade de longo prazo dessas empresas.

Com o aumento , de preços de 2008, o comércio internacional teve uma queda de 36%, passando de 30,5 milhões de toneladas em 2008 para 19,5 milhões em 2009. Marrocos teve uma queda nas exportações de fósforo de 14,1 milhões de toneladas em 2007 para 5,8 milhões em 2009. Essa queda força os preços para baixo (MEW, 2016).

Esses movimentos podem ser vistos nos próximos gráficos. Os produtos colocados são: a) rocha de fosfato – fosfato mineral com 27 a 41% de fosfato e 25% de cálcio; b) Diamônio fosfato (DAP) – que contem de 18 a 21% de nitrogénio e 46 a 53% de fósforo e; c) Cloreto de Potássio, que contem 60 a 63 % de K₂O (potássio)³⁰; d) TSP – triplo superfosfato – 0-45-0(45% de fosfato – P₂O₅) e 15% de cálcio.

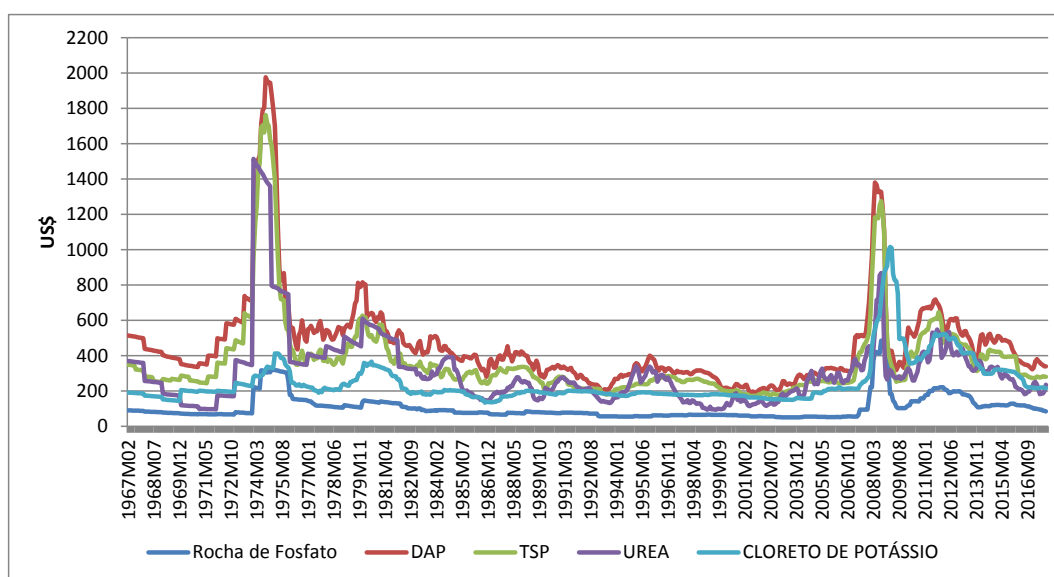
No Gráfico 1, todos os dados de preços do barril de petróleo (cotação média) e os preços de insumos para fertilizantes (rocha de fosfato, e cloreto de potássio) e produtos comercializados (DAP, TSP e Uréia) foram atualizados pelo índice de preços ao consumidor americano (CPI-U)³¹, o índice possui valores mensais, que foram transformados em índice de

³⁰ Dados retirados de: http://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/c_material.aspx

³¹ Disponível em vários sites. Os dados foram retirados de: http://inflationdata.com/Inflation/Consumer_Price_Index/HistoricalCPI.aspx?reloaded=true

correção (construído pelo autor). Esses valores representam uma *proxy* do valor real, podendo sofrer variações, mas que não invalidam as análises. A apresentação dos dados do barril de petróleo tem por objetivo fornecer um parâmetro de comparação. Além disso, entende-se que são produtos com estruturas de mercado similares, e seus movimentos de queda ou aumento possuem grandes impactos sobre as economias em todo o mundo.

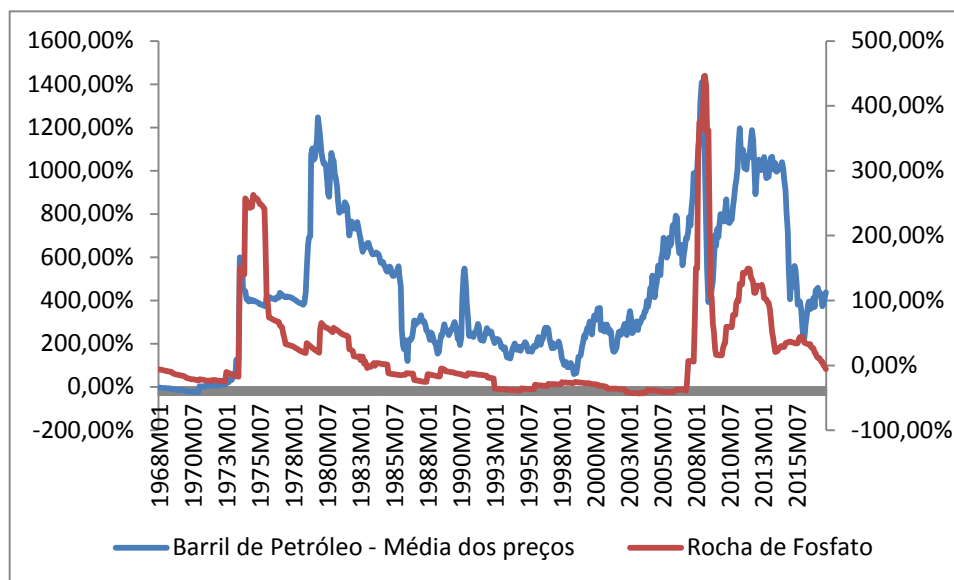
Gráfico 1 - Fertilizantes: Preços de Produtos e Insumos – US\$/t



Fonte: Elaborado pelos autores com base em: World Bank. (2017).

Apesar de muitos dados o Gráfico 1 é ilustrativo dos movimentos de preços dos produtos. Obviamente cada produto possui sua própria dinâmica, mas a correlação entre eles é alta. Percebe-se que o aumento ocorrido em 1975 foi superior em quase 600 dólares para o DAP, que corresponde ao item de maior variação ao longo de todo o período. De 1977 a 2004 o mercado aparenta relativa estabilidade, voltando a aumentar seus preços. Esses dados devem ser contextualizados com as afirmações de Mew (2016) e Taylor e Moss (2013).

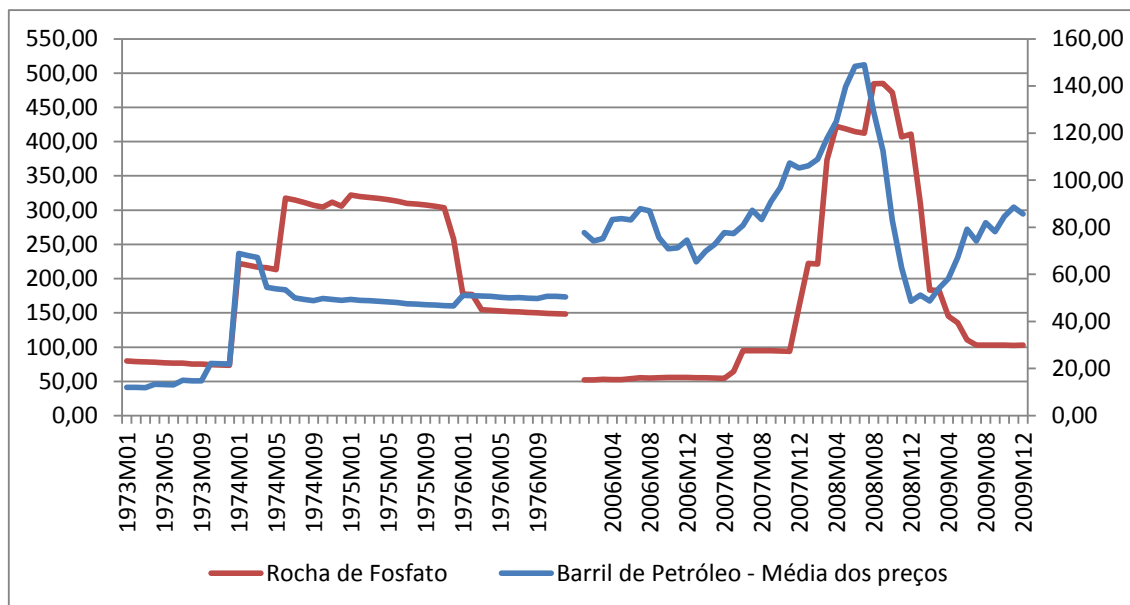
Uma outra maneira de ver essas variações é compara-las com os preços do barril de petróleo. Assumindo-se que o petróleo é um indicador para toda a economia. Mesmo considerando que essas duas indústrias não tem relação direta. Escolheu-se analisar a variação de preços com a média do ano de 1967, ano escolhido de forma aleatória para ser o início da série (50 anos de observações). O objetivo aqui é comparar as taxas de variação. Os valores para o barril de petróleo (cotação média) pode ser lido no eixo esquerdo, e para a rocha de fosfato no eixo direito.

Gráfico 2 - Variação dos Preços - Barril de Petróleo e Rocha de Fosfato - Média de 1967

Fonte: Elaborado pelos autores com base em: World Bank. (2017).

A variação dos preços da rocha de fosfato lê-se no eixo esquerdo, e o dos preços do petróleo no eixo direito. O que chama a atenção nesse gráfico 2 é: como os preços estão em valores reais (atualizados) essas são variações reais. Tanto a rocha de fosfato quanto o barril de petróleo possuem variações acentuadas em um curto espaço de tempo. Comparativamente a taxa de aumento do barril de petróleo é superior à variação da rocha de fosfato. As variações para DAP e TSP em relação a média de 1967 é menos acentuada, inclusive para os anos de 1975 e 2008 (variações abaixo de 200%), embora isso ainda representa uma variação acentuada.

Gráfico 3 - Preços de Petróleo (US\$/barril) e Rocha de Fosfato (US\$/tonelada) - 1973/1976 e 2006/2009



Fonte: Elaborado pelos autores com base em: World Bank. (2017).

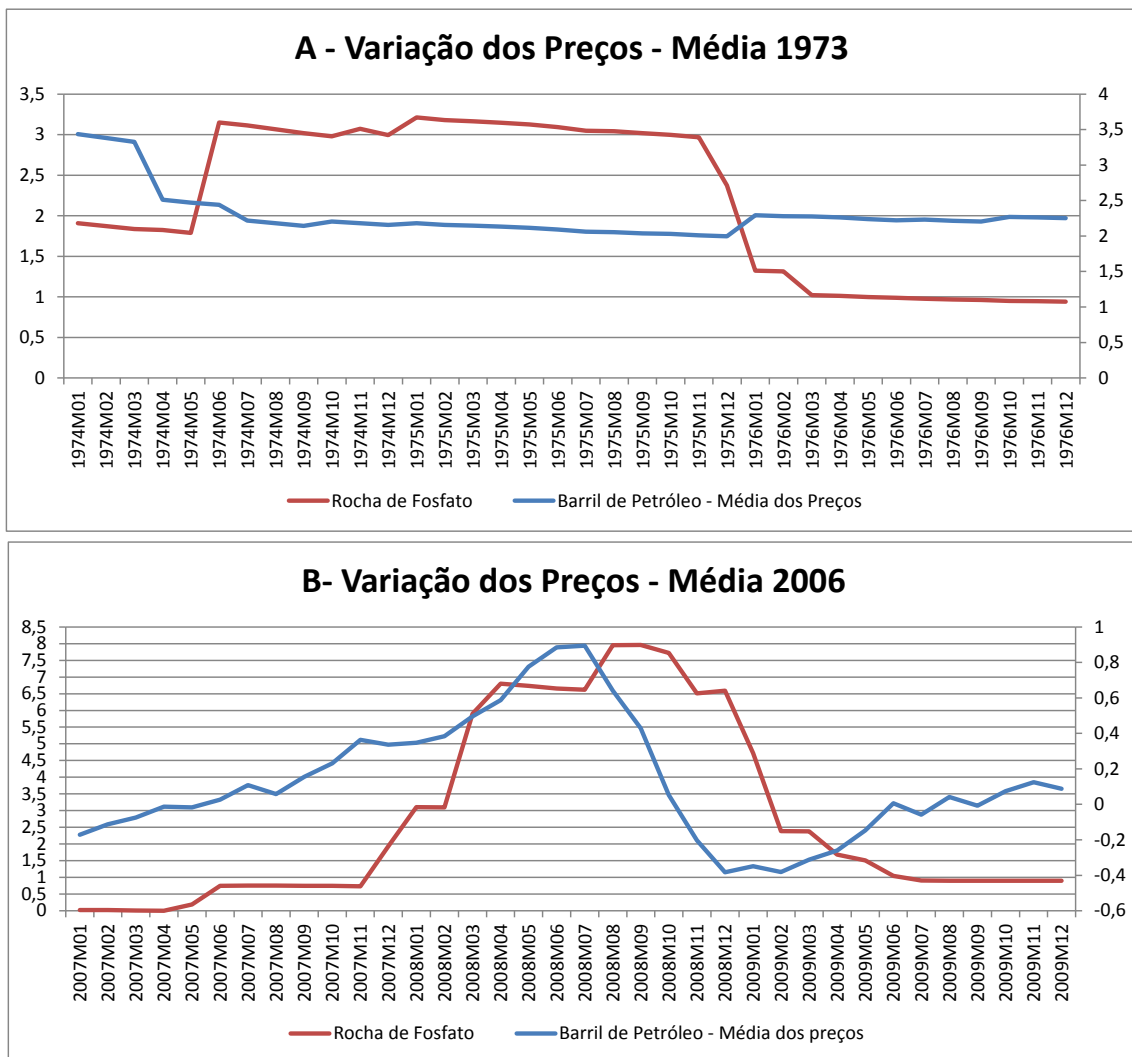
Para os dados do petróleo leia-se o lado direito do gráfico. Os valores colocados no gráfico 3 estão em dólares atualizados conforme já descrito. Foram colocados dois períodos distintos para comparação. Escolheu-se um período de 4 anos para ilustrar a dinâmica de aumento e queda nos preços. Chama-se a atenção para os níveis iniciais em cada período, em 2006 (US\$ 52,27/ton.) os valores eram inferiores a 1973 (US\$79,66/ton.) para a rocha de fosfato. O mesmo não ocorre para o petróleo, pois em 1973 o preço do barril era de US\$12,05 e em 2006 esse valor era de US\$77,73.

Os dados sobre preços podem ser vistos a partir de suas taxas de variação, que é apenas outra forma de demonstrar a dinâmica do mercado (gráfico 4). O petróleo em dezembro de 2009 ficou pouco mais de 8% acima da média de 2006. A rocha de fosfato ficou mais de 90% acima da média de 2006, demonstrando uma maior resistência em relação a queda de preços, talvez fruto de um maior poder de mercado, dado que em relação ao petróleo existem menos empresas envolvidas no controle dos recursos e na distribuição, o que favorece o controle sobre preços mais efetivo. Para facilitar os valores estão em decimais. A variação do barril de petróleo lê-se no eixo direito.

As razões para essas variações, no caso dos fertilizantes, são devidas a condições pelo lado da oferta, com preços altos, novos projetos se iniciam, embora muitos projetos não sejam implementados. Os custos de longo prazo são a base na qual as empresas realizam suas

projeções de ganho. A elevação de preços torna a abertura de novas minas um negócio atrativo, embora o aumento dos custos de investimento em novas minas tenha sido maior do que os custos operacionais nos últimos 30 anos. Embora as empresas realizem diversos cálculos, a entrada de novas minas em operação pode criar uma superoferta, o que acaba forçando os preços para baixo, mantendo-se nesse patamar relativamente baixo (MEW,2016).

Gráfico 4 Variação dos Preços do Barril de Petróleo e da Rocha de Fosfato - Anos selecionados – Valores em decimais.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em: World Bank. (2017).

Os valores para rocha de fosfato são lidas do lado esquerdo do gráfico. Os valores estão em decimais para facilitar a leitura. Ainda segundo Mew (2016) a demanda por rocha de fósforo progressivamente aumenta a oferta, mas os preços podem não garantir o retorno dos investimentos realizados. O ciclo de aumento dos custos e baixos preços acaba por impactar

as margens de lucratividade das empresas que atuam no setor de mineração. Esse ciclo pode se repetir novamente e os preços apresentarem novos picos no futuro. Para um panorama das tecnologias de extração de fósforo e os desenvolvimentos da indústria sugere-se Steiner et al.(2015).

Esse comportamento pode ser transposto para a indústria de extração de potássio. Sobre o potássio sugere-se a leitura de Al Rawashdeh e Maxwell (2014) pois os autores trazem uma análise econométrica e histórica sobre o mercado de potássio no mundo. Além desse estudo tem-se como sugestão o estudo de Ciceri et al.(2015) cujo artigo os autores debatem as diversas fases históricas, com um debate sobre as tecnologias em desenvolvimento na indústria e seus limites para atender a demanda. E ainda, Dmitrieva,Ilinova e Kraslawski(2017) fazem um debate sobre a gestão estratégica na indústria de fertilizantes na Rússia, trazendo os desafios da gestão num mercado oligopolístico. E também o estudo de Al Rawashdeh, Xavier-Oliveira e Maxwell(2016).

Brownlie et al. (2015) apresentam a iniciativa global para um melhor uso do nitrogênio. Esse projeto é apoiado pelas Nações Unidas, com o apoio das empresas do setor. As soluções globais incluem: melhor comunicação entre os atores (indústria, produtores, governos e sociedade); melhor uso do estrume; uso de tecnologias apropriadas; gestão do uso de nutrientes adotando as melhores práticas (4R – right source, right rate, right time e right place)³² :

- Fonte certa - Corresponde ao tipo de fertilizante para as necessidades de cultivo;
- Taxa certa - Corresponde à quantidade de fertilizantes adequada as necessidades de cada planta.
- Tempo certo - Faz com que os nutrientes estejam disponíveis quando as culturas os necessitam.
- Lugar certo – aplicar os nutrientes onde as culturas mais necessitam.

A possibilidade de saídas tecnológicas podem acabar por aumentar o uso, mesmo de produtos reciclados³³. Como garantir um uso adequado? As respostas têm sido debatidas a partir da visão de bioeconomia trazida por Georgescu-Roegen e outros autores. A principal resposta a ser considerada no conjunto deste estudo é: Uma necessidade de mudança de comportamento dos diversos atores envolvidos com a produção agrícola, incluindo a sociedade.

³² Para trabalhos realizados no Brasil e propostas de políticas públicas: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3262>.

³³ Causando o já referido Paradoxo de Jevons.

A partir desse quadro analítico surgiram dúvidas sobre o que ocorreu no Brasil em 2008? Qual a evolução do uso de fertilizantes na produção de soja, em diferentes áreas? Essas são questões para a próxima seção.

5.2 RESULTADOS

O início da pesquisa se deu a partir de uma questão puramente econômica. Em linguagem de economista as perguntas da seção anterior se traduzem em calcular a elasticidade preço da demanda. Mas o desenvolvimento da pesquisa tomou outros caminhos.

A elaboração da modelagem trouxe outras evidências. A cada passo novos caminhos eram adicionados, chegando-se aos objetivos definidos aqui. Essa seção de resultados e discussão possui a seguinte estrutura: são analisados os dados relativos ao uso de fertilizantes, bem como os dados relativos à produção e área destinados a produção de soja. Além desses resultados têm-se as estimativas da função custo de produção.

Uma digressão: o caminho habitual que este pesquisador faz para ir até a Universidade atravessa campos de arroz. Além do impacto da construção dessa rodovia, eu penso diversas vezes: qual será o comportamento desses produtores? Principalmente porque o rio na qual a companhia de água capta o recurso que abastece a cidade onde moro passa a poucos metros das plantações. Embora a corrente possa me favorecer, existem outras iniciativas, embora Industriais, rio acima. Aqui interessa o impacto causado por atitudes, independente do setor. Penso isso diversas vezes na semana. E isso faz parte de minha base de construção científica.

Esse pensamento leva a considerações sobre a revolução tecnológica que a agricultura apresentou nos últimos 50 anos, e que permitiu avanços em quase todos os locais do globo. Numa visão tecnológica, cada vez mais se alcança o domínio sobre a natureza. As perdas, embora ainda um perigo real, podem ser contornadas pela aplicação de tecnologia, concluem diversos cientistas ao redor do globo.

Esse caminho leva o agricultor a uma situação de decisões automática: ele precisa comprar a tecnologia certa e com a “ajuda da natureza” terá uma farta colheita. Porém, essas decisões são tomadas também de olho nas cotações, nos valores disponíveis para crédito, e em outras variáveis não analisadas neste estudo. O produtor, como qualquer empresário, adota um comportamento maximizador. Sabe-se dos desafios de produzir, inexistente aqui um julgamento do produtor rural, apenas a análise de evidências obtidas a partir dos procedimentos metodológicos.

Corroborando as conclusões deste estudo tem-se o estudo de Good e Beatty (2011) em que os autores afirmam que existe um comportamento de curto prazo, em que o agente “racional” aplica altas taxas de nitrogênio para maximizar a colheita, e com isso sua receita. Deixando de lado recomendações agronômicas.

Aqui se tem as o contorno da discussão que esta tese se propõe. A partir das estimativas de área, produção e uso de fertilizantes, por tipo, entre os anos de 1975 e 2011. Trata-se de dados desagregados que poderão contribuir com o debate mundial. Vamos dividir em área, produção e produtividade e depois no uso de fertilizantes. Um destaque metodológico: nas tabelas quando for relativo a identificação dos extratos de área utilizar-se-á apenas área, para reduzir o espaço necessário para a identificação dos intervalos dos extratos.

5.2.1 ÁREA, PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE

A partir da modelagem para obter as áreas e produções para os diferentes anos, tem-se os dados a seguir. Como forma de avaliar a convergência dos dados com o ocorrido, fez-se a comparação com o último Censo Agropecuário publicado, e disponível no banco de dados do IBGE (2015).

Há que se ressaltar o seguinte: as tabelas sobre produção e área são divulgadas de diferentes formas de agregação. Os dados oficiais do IBGE, de interesse da pesquisa estão colocados na tabela 822 e na tabela 1612. A tabela 822 é a única oficial que traz os dados disponíveis por faixa de área plantada e colhida. Para os demais anos de interesse foi necessário estimar.

Ocorre que o total de produção e área para os diferentes anos está na tabela 1612. Há uma discrepância entre o total de produção e área dessa tabela e os resultados da tabela 822. Por isso, optou-se por considerar correta a tabela 1612, e calcular também para o ano de 2006 a produção e área nos diferentes extratos definidos pelo IBGE (2015).

A Tabela 1 apresenta essa comparação. Assume-se a partir desse resultado que as estimativas podem ser validadas, e que os resultados apresentam uma boa aproximação. Algum grau de imprecisão é inerente ao processo de modelagem, em qualquer área do conhecimento.

Tabela 1 - Comparação entre Dados Estimados e Dados Oficiais – Soja – Brasil - 2006

Extratos de área/item	Dado IBGE			Dado Estimado pelo modelo		
	Produção (10 ³ t)	Área Colhida (10 ³ ha)	P/A	Produção (10 ³ t)	Área Colhida (10 ³ ha)	P/A
h <4	81,22	31,48	2,58	76,58	40,05	1,91
Sem área	2,35	1,00	2,34	2,99	1,39	2,15
4 > h <5	136,95	51,62	2,65	149,64	85,99	1,74
5 > h <10	485,18	201,22	2,41	521,79	229,24	2,28
10 > h <20	1.337,58	581,92	2,30	1.613,18	781,04	2,07
20 > h <50	2.874,38	1.228,27	2,34	2.816,17	1.382,42	2,04
50 > h <100	2.417,00	1.003,75	2,41	3.451,49	1.404,67	2,46
100 > h <200	3.167,68	1.286,85	2,46	3.662,11	1.555,98	2,35
200 > h <500	6.128,50	2.442,75	2,51	6.949,53	3.402,84	2,04
500 > h <1000	6.497,69	2.466,08	2,63	7.820,06	3.061,93	2,55
1000 > h <2500	8.904,48	3.450,89	2,58	10.189,60	4.127,23	2,47
h >2500	14.162,84	5.137,47	2,76	15.177,41	5.993,83	2,53
Total 1	46.195,84	17.883,30	2,58			
Total 2	52.464,64	22.047,35	2,38			
				Total Estimado		
				52.430,54	22.066,62	2,38

Fonte: IBGE. (2015).

Legenda:

P/A – produtividade – kg/ha.

OBS: em todas as tabelas utiliza-se a letra h para ilustrar o intervalo de variação dos extratos de área.

Explicando os dados da Tabela 1: o total 1 refere-se a soma apresentada pela tabela 822, e o total 2 refere-se ao total dos itens para a tabela 1612. Os dados da diferença entre a tabela 1612 e a estimativa representam -0,06% para produção e 0,09% para a área. Lembrando que assume-se que os dados da 822 estão incorretos, talvez essa diferença seja de agregações de valor, ou outra razão fora do controle do pesquisador.

A Tabela 2 apresenta os resultados das estimativas para produção de soja. Analisando em conjunto com o Anexo 7 observa-se que entre 2006 e 2008 a faixa com a maior variação negativa está entre 20 a 50 hectares. O extrato de área de 5 a 10 obteve o maior crescimento positivo (67,4%) e a faixa de 1000 a 2500 hectares obteve 49,6%. Esse comportamento assimétrico indica dinâmicas diferentes para os diferentes portes de área, mesmo considerando uma commodity, como é o caso da soja. Espera-se que o efeito médio das variações seja similar. Aqui surgem as primeiras evidências para a hipótese 4 do estudo.

Tabela 2 – Estimativa de Produção (10^3 t) por extrato de área colhida – Soja – Brasil - 1975 a 2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	2,57	10,66	19,14	15,03	23,30	20,06
Sem área	0,23	1,64	2,99	4,22	3,20	3,48
4 > h <5	34,01	82,40	149,64	133,25	151,59	210,44
5 > h <10	117,18	259,50	521,79	873,33	742,86	641,76
10 > h <20	391,81	824,50	1.613,18	2.210,27	1.790,73	1.324,92
20 > h <50	862,31	1.620,10	2.816,17	1.324,90	3.299,26	4.964,65
50 > h <100	414,49	1.380,06	3.451,49	1.938,16	2.874,22	4.592,29
100 > h <200	816,41	1.816,18	3.662,11	2.406,62	3.297,23	4.007,33
200 > h <500	1.496,03	2.626,41	6.949,53	9.836,28	9.463,09	8.253,86
500 > h <1000	1.679,08	4.091,15	7.820,06	6.789,40	8.245,93	9.794,68
1000 > h <2500	1.765,57	5.156,50	10.189,60	15.247,48	10.528,15	14.028,51
h >2500	2.295,72	7.800,70	15.177,41	19.044,05	16.827,80	26.909,40
TOTAL	9.883,14	25.701,76	52.430,54	59.868,09	57.317,26	74.811,56

Fonte: Elaborado pelos autores.

Embora a participação no total produzido de produtores sem área seja pequena, sua taxa de crescimento foi a maior entre 1975 e 2011. A segunda maior taxa de crescimento está no extrato de área acima de 2500 hectares de área colhida (participação de mais de 35% do total produzido em 2011), conforme Apêndice C.

Tabela 3 – Estimativa de Área (10^3 hectares) por extrato de Área Colhida - Soja - Brasil - 1975 a 2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	2,60	6,10	10,01	9,64	14,25	13,49
Sem área	0,32	0,70	1,39	1,66	1,15	1,70
4 > h <5	20,68	44,82	85,99	66,80	59,18	78,23
5 > h <10	80,23	126,34	229,24	362,19	287,29	291,83
10 > h <20	206,74	414,79	781,04	878,82	717,03	978,06
20 > h <50	506,49	918,63	1.382,42	1.157,52	1.475,96	1.579,20
50 > h <100	284,40	622,72	1.404,67	1.218,72	1.319,84	1.638,61
100 > h <200	373,10	859,12	1.555,98	1.093,83	1.544,12	2.044,92
200 > h <500	717,35	1.630,53	3.402,84	4.396,95	2.864,30	3.632,93
500 > h <1000	739,34	1.734,98	3.061,93	3.072,27	2.970,44	2.646,20
1000 > h <2500	1.225,56	2.064,21	4.127,23	4.188,70	4.284,85	3.996,84
h >2500	1.655,54	3.244,34	5.993,83	4.754,29	6.193,30	7.091,82
TOTAL	5.820,15	11.685,58	22.066,62	21.230,32	21.774,46	24.034,31

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação à área destinada a produção de soja tem-se as estimativas na Tabela 3. Observa-se uma queda na área total entre 2006 e 2008, ponto focal nesse momento da análise por conta da variação de preços ocorrida em 2008, como já comentado.

Analisando os grupos de área percebe-se que de 200 a 500 hectares houve um aumento 994 mil hectares (aumento de 29,2% em relação a 2006), contrariando a tendência dos demais extratos, nesse período. Os dados conjuntos sobre produção, área total e produtividade estão no Apêndice C.

A maior variação da área colhida ocorreu no extrato de 50 a 100 hectares (476,2% entre 1975 e 2011). Para maiores informações sobre as diferentes taxas de variação para diferentes períodos consulte o Anexo 8. Um dado a ser observado nessa tabela de área total é o extrato de 200 a 500 hectares, em que a expansão da área foi considerável, porém esse aumento de área não foi acompanhado de uma redução na quantidade total de fertilizantes (Tabela 5). A tendência de aumento se manteve em 2011, como se pode observar na Tabela 3. Esses dados sugerem a aceitação da hipótese 2 deste estudo, mesmo que parcialmente, diversos extratos aumentaram o consumo de fertilizantes, mesmo com os aumentos de preços dos fertilizantes no ano de 2008. Mesmo considerando os anos de 2009 e 2011 os produtores rurais continuam a exibir um comportamento preocupado com manter a produção, confirmado pelos dados sobre produção e área destinada.

Os dados da base SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática (IBGE,2015) indicam informações que podem auxiliar a entender as variações ocorridas entre 2006 e 2008. Segundo os dados os Estados de Minas Gerais, Bahia, Piauí e Maranhão concentram sua produção na faixa acima de 200 a 500 hectares (com maior produção na faixa acima de 2500 hectares). Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás tem preferencialmente a produção e área concentrada na faixa acima de 1000 a 2500 hectares, não se observando contribuição significativa dos outros extratos. Já o estado do Paraná as faixas de 20 a 50 hectares e de 50 a 100 ha produzem juntas mais que o dobro do extrato de 500 a 1000 hectares (224% maior). O Rio grande do Sul – concentra a maior parte da produção entre 200 a 500 hectares. A segunda colocada é de 20 a menos de 50 hectares e em terceiro lugar está o extrato de 500 a 1000 hectares (que detem a maior produtividade média).

Esses dados contextualizam e ajudam a entender a dinâmica produtiva em todo o período analisado. Observa-se ainda um primeiro indicativo em relação ao porte da propriedade rural e sua atuação na produção de soja: á exceção do Rio grande do Sul, os maiores produtores nos outros estados estão na faixa acima de 100 hectares. Maiores detalhes nos anexos: Anexo 1 e Anexo 2.

Na Tabela 4 tem-se a produtividade por extrato de área. Os dados sugerem que a maior queda entre 2006 e 2008 ocorreu na faixa de 20 a 50 hectares. Conforme Apêndice C essa queda foi de 43,8%. Maiores detalhes por estado podem ser vistos no Anexo 1. Os dados desse anexo indicam quais extratos de área concentram a produção de soja, por Estado produtor.

Tabela 4 - Produtividade (t/ha) por extrato de área colhida – Soja- Brasil

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	0,98	1,70	1,78	1,72	1,62	1,74
Sem área	0,74	2,35	2,15	2,54	2,77	2,04
4 > h <5	1,64	1,84	1,74	1,99	2,56	2,69
5 > h <10	1,46	2,05	2,28	2,41	2,59	2,20
10 > h <20	1,90	1,99	2,07	2,52	2,50	1,35
20 > h <50	1,70	1,76	2,04	1,14	2,24	3,14
50 > h <100	1,46	2,22	2,46	1,59	2,18	2,80
100 > h <200	2,19	2,11	2,35	2,20	2,14	1,96
200 > h <500	2,09	1,61	2,04	2,24	3,30	2,27
500 > h <1000	2,27	2,36	2,55	2,21	2,78	3,70
1000 > h <2500	1,44	2,50	2,47	3,64	2,46	3,51
h >2500	1,39	2,40	2,53	4,01	2,72	3,79

Fonte: Elaborado pelos autores.

A maior variação total da produtividade entre 1975 e 2011 ocorre no extrato de área correspondente a sem área (arrendamento). Comparando-se 2006 e 2008 vários extratos aumentaram a produtividade média, em função da queda na área total por extrato. A segunda maior variação da produtividade entre 1975 e 2011 foi o extrato de área acima de 2500 hectares. A estimativa para extratos abaixo de 20 hectares indicam uma variação menos significativa. Os maiores ganhos de produtividade se encontram nos extratos acima de 200 hectares.

5.2.2 ESTIMATIVA DO USO DE FERTILIZANTES

A partir do modelo desenvolvido pode-se estimar as quantidades de fertilizantes utilizadas entre os anos de 1975 e 2011. Já foram apresentadas as principais perguntas, as principais hipóteses e a forma como vai se analisar esses dados. A apresentação dos detalhes na tese tem por objetivo propiciar a outros pesquisadores o uso e crítica dos dados. Pois assim evolui a ciência.

A importância desse estudo está na possibilidade de obter dados em detalhe. Chowdhury et al. (2016) diz que o entendimento sobre os fluxos de fertilizantes serve para desenvolver melhores políticas e melhores tomadas de decisão. A Tabela 5 traz o total estimado pela modelagem.

Tabela 5- Estimativa do Consumo de Fertilizantes – Valor Total - 10³ t – Soja - Brasil

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	1,03	3,02	5,36	6,52	6,52	8,04
Sem área	0,03	0,14	0,17	0,31	0,20	0,30
4 > h <5	3,88	6,12	13,22	9,20	11,48	14,07
5 > h <10	13,59	21,63	41,90	64,98	54,18	54,44
10 > h <20	32,66	36,71	142,09	142,69	143,75	150,42
20 > h <50	88,60	142,85	223,76	114,46	254,23	284,43
50 > h <100	51,05	105,45	244,66	181,17	235,85	315,62
100 > h <200	59,82	164,75	304,55	227,82	298,11	312,66
200 > h <500	132,38	229,76	667,67	784,95	511,18	658,70
500 > h <1000	125,64	346,40	621,50	515,50	570,27	494,62
1000 > h <2500	223,16	424,19	850,70	769,10	826,02	748,98
h>2500	261,02	702,80	1.193,77	994,20	1.215,28	1.213,55
Total	992,86	2.183,82	4.309,35	3.810,90	4.127,05	4.255,82

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando-se a Tabela 6 pode-se verificar que a maior queda entre 2006 e 2008 do uso total de fertilizantes está no extrato de área de 20 A 50 hectares.

Tabela 6 – Estimativa do Uso de NPK – Taxa de Aplicação - (kg/ha) – Total - Soja - Brasil

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	98,30	133,99	137,84	162,07	113,15	147,80
Sem área	100,66	195,24	119,69	184,39	174,80	174,04
4 > h <5	187,46	136,47	153,69	137,72	193,91	179,89
5 > h <10	169,44	171,24	182,77	179,39	188,59	186,54
10 > h <20	157,99	88,51	181,93	162,37	200,49	153,80
20 > h <50	174,92	155,50	161,86	98,89	172,25	180,11
50 > h <100	179,51	169,33	174,17	148,65	178,69	192,61
100 > h <200	160,34	191,76	195,73	208,28	193,06	152,89
200 > h <500	184,53	140,91	196,21	178,52	178,47	181,31
500 > h <1000	169,94	199,66	202,98	167,79	191,98	186,92
1000 > h <2500	182,09	205,50	206,12	183,61	192,78	187,39
h>2500	157,66	216,62	199,17	209,12	196,22	171,12

Fonte: Elaborado pelos autores.

E também uma queda de 52% na produção, 43% de redução na área utilizada e 49% no uso total de fertilizantes, conforme os dados já apresentados nas tabelas anteriores.

Por outro lado a área acima de 2500 hectares obteve um aumento de 25% na produção no mesmo período, uma queda de 20% na área, um aumento de 58% na produtividade e uma queda de 17% no uso de fertilizante entre 2006 e 2008.

O extrato de 200 a 500 hectares aumentou o consumo de fertilizantes em 18% entre 2006 e 2008. Aumentou a produtividade em 9,5%, a área em 29,3% e a produção em 41%.

Essa é outra evidência para o comportamento do produtor rural. Como os preços da soja se mantiveram em patamares elevados nesse período (conforme Tabela 16 e também o Anexo 4), isso pode ter estimulado os produtores a manter, ou aumentar o consumo de fertilizantes, com o objetivo de manter ou aumentar a produção total. O que ilustra o comportamento econômico, mesmo com aumento de custos, o produtor acompanhou o preço da soja e tomou suas decisões.

Essas estimativas sugerem que se deve aceitar a hipótese 2. Mesmo com as variações de preços internacionais, e nacionais dos fertilizantes, o consumo total tem sua variação, em diversos extratos de área, descolado desse movimento de preços. Há uma resposta considerada baixa se analisarmos as taxas de variação de ambas as variáveis (preço e quantidade de fertilizantes).

O comportamento do produtor rural também será analisado em conjunto com a próxima seção, em que se analisará a função custo, e as implicações financeiras.

O volume total consumido de Nitrogênio aumentou 144% entre 1995 e 2011. A maior taxa de variação foi no extrato de 100 a 200 hectares, 633% de variação. O extrato de área acima de 2500 hectares aumentou 101% no mesmo período. Maiores informações no Apêndice E em que constam os volumes totais, por nutriente.

Entre 1995 e 2011 o consumo total de P_2O_5 apresentou a variação de 104% na soma total do consumo, com o maior aumento no extrato de 10 a 20 hectares, com variação de 617%. O extrato acima de 2500 hectares aumentou 98%.

E finalmente, o K_2O apresenta um aumento total de 79,55%. A maior variação acontece na faixa de 10 a 20 hectares, com aumento de 242%. O extrato acima de 2500 hectares aumentou 48,9%³⁴.

Considerando os anos de 2006 e 2008 tem-se a seguinte situação:

³⁴ Lembrando apenas que a taxa isolada de variação das quantidades por hectare ou por tonelada apresentam valores diferentes, porque o cálculo total leva em conta a área, portanto, há um efeito conjunto nas taxas de crescimento. Esse esclarecimento, apesar de óbvio, precisa ser feito.

- A maior queda no total de P205 ocorreu no extrato de 500 a 1000 hectares (queda de 45%). O extrato de 5 a 10 hectares aumentou 106% seu consumo no mesmo período.
- No caso do nitrogênio o extrato de 20 a 50 hectares teve a maior queda (56,9%). O extrato acima de 2500 hectares teve uma queda de apenas 2,5% entre 2006 e 2008. E a extrato de 0 a 4 hectares apresentou um aumento de 18,9%.
- E no caso do K2O a maior queda também está na extrato de 20 a 50 hectares. O maior aumento foi no extrato de 5 a 10 hectares (38,2%). O extrato acima de 2500 hectares apresentou uma queda de 18%.

Essas informações vão construindo o argumento sobre uma ineficiência menor em extratos de área maiores.

A variação por nutriente entre os anos 2006 e 2008 também indica uma baixa sensibilidade do produtor rural frente ao aumento de preço (custo de aquisição). Os preços da tabela de preços de fertilizantes indicam um aumento interno de mais de 70% (Anexo 3). Por extrato de área, somente a faixa entre 5 a 10 hectares e de 200 a 500 hectares apresentou uma queda maior, em relação aos outros produtores, mas nada além de um coeficiente de elasticidade de -0,74 (indicando baixa sensibilidade³⁵). Alguns produtores exibem um comportamento de aumento de consumo de fertilizantes, o que indica um comportamento descolado do custo de aquisição dos insumos, pelo menos na média.

A variação entre 1995 e 2011 da taxa de aplicação (kg/hectare) para o nitrogênio tem uma queda no extrato de área acima de 2500 hectares. No extrato de área acima de 1000 hectares até 2500 hectares o aumento foi de 58,37%. Já o extrato de área acima de 100 até 200 hectares obteve um aumento de mais de 200% nessa taxa de uso, o que sugere uma investigação posterior dessa informação (Apêndice A).

No caso do fósforo, considerando a taxa de aplicação (kg/hectare), a variação maior ocorreu no extrato de 10 a 20 hectares (204,17%). No extrato acima de 2500 hectares houve uma queda de 9% (Apêndice A) entre 1995 e 2011.

³⁵ Do ponto de vista da Teoria Econômica existe o conceito de elasticidade (no caso elasticidade preço da demanda). Ela é calculada como a razão da variação da quantidade comprada de um determinado bem em função da variação no preço desse bem. Valores maiores que -1 indicam baixa sensibilidade. Esse valor se dá pela hipótese de relação inversa entre preços e quantidades. Para maiores detalhes, basta consultar materiais disponíveis na internet

E de novo, no caso do K_2O novamente o extrato entre 10 e 20 hectares teve o maior aumento (45,12%). No caso das áreas acima de 2500 hectares ocorreu uma queda de 32% na taxa de aplicação (Apêndice B).

O mesmo se repete na Tabela 8. A melhor eficiência de uso está nos extratos acima de 500 hectares, sendo o menor uso o extrato acima de 2500 hectares. A variação entre 1995 e 2011 também é mais eficiente nos extratos acima de 500 hectares. Entre 2006 e 2008 o extrato de 0 a 4 hectares apresenta um aumento no consumo, bem como o extrato de 100 a 200 hectares. A queda no consumo acontece em maior volume no extrato acima de 2500 hectares. Considerando o período de 1995 e 2011 a maior variação no uso total de Fertilizantes é o extrato de 10 a 20 hectares (154,96%), já o extrato acima de 2500 hectares teve uma queda de 49,94%.

Tabela 7 – Estimativa do Uso Total de Fertilizantes – kg/ t –Soja – Brasil

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	100,79	80,02	79,31	99,57	70,24	87,89
Sem área	136,18	82,91	55,63	72,60	63,05	85,20
4 > h <5	114,00	74,23	88,32	69,04	75,71	66,87
5 > h <10	116,00	83,37	80,30	74,40	72,93	84,83
10 > h <20	83,36	44,53	88,08	64,56	80,28	113,53
20 > h <50	102,74	88,17	79,45	86,39	77,06	57,29
50 > h <100	123,17	76,41	70,88	93,47	82,06	68,73
100 > h <200	73,27	90,71	83,16	94,66	90,41	78,02
200 > h <500	88,49	87,48	96,07	79,80	54,02	79,80
500 > h <1000	74,83	84,67	79,48	75,93	69,16	50,50
1000 > h <2500	126,40	82,26	83,49	50,44	78,46	53,39
h >2500	113,70	90,09	78,65	52,21	72,22	45,10

Fonte: Calculado pelos autores.

A produção de dados com a modelagem desenvolvida permite uma série de situações diferentes. Inundar o corpo do texto com diversas tabelas pode tornar a leitura cansativa, por isso escolheu-se deixar alguns dados nos apêndices.

Apenas para lembrar o leitor: uma das vantagens do modelo desenvolvido é que a partir de premissas mínimas sobre um determinado sistema é possível construir um conjunto de evidências, para construir estimativas, que são candidatas a imagens verossímeis (do ponto de vista da Estatística) do que ocorre.

Ao analisar os dados até o momento tem-se a indicação de que muitos produtores aumentaram sua eficiência no uso de fertilizantes (considerando aqui que uma redução no

consumo de fertilizantes por determinada quantidade de produção é um indicador de eficiência), muito embora inexistam dados para afirmar que esse seja o nível ótimo em termos de eficiência termodinâmica. Houve uma diminuição na quantidade utilizada por tonelada de soja produzida, sendo mais acentuada essa variação nos extratos acima de 1000 hectares. E variou também os volumes de produção, área total e produtividade.

Mas a Tabela 5 indica um aumento no total consumido de fertilizantes entre 1975 e 2011. Será que existem elementos para considerar o paradoxo de Jevons³⁶, em relação ao consumo de fertilizantes?

A dúvida sobre uma eficiência global (considerando-se um sistema produtivo formado por diversas tecnologias e técnicas de gestão) é:

- Será que esse sistema de produção da soja, considerado em seu total, e em seus diferentes produtores, poderia apresentar um desempenho diferente em relação ao uso de fertilizantes?

Algumas leituras indicam que a resposta a essa pergunta deve levar em conta que a produtividade é resultado de um conjunto de tecnologias - sementes, defensivos, técnicas de manejo, disponibilidade hídrica, temperatura (TANNURA, IRWIN e GOD, 2008). Para uma discussão sobre outros fatores, incluindo fatores institucionais : Gerssen-Gondelach, Wicke e Faaij (2015). A partir desses fatores outros estudos são conduzidos, com objetivos diversos dos apresentados aqui. Aqui esse efeito isolado de cada tecnologia não foi investigado, ou mesmo seu efeito combinado. Lembrando que a modelagem indica os valores mais prováveis para as variáveis de interesse, como foi explicado na seção de metodologia.

Os dados da Tabela 8 sugerem que o paradoxo de Jevons pode ser considerado como hipótese válida para o consumo de fertilizantes inorgânicos utilizados para a produção de soja no Brasil. Observa-se, por exemplo, que as variações no extrato de 0 até 100 hectares parecem incompatíveis com um desempenho eficiente, considerando apenas a variação no uso total de fertilizantes.

Pensando no efeito potencial de um grupo de tecnologias (sementes, manejo, máquinas, implementos e outros insumos) sobre a produção de soja. E considerando os resultados estimados para o uso e a taxa de aplicação de fertilizantes ao longo dos anos, parece provável que se esteja diante de um paradoxo de Jevons. Em alguma medida a

³⁶ “É um completo engano supor que um uso mais eficiente dos combustíveis implicará numa redução do seu consumo. A verdade é precisamente o oposto”. Ou seja, à medida que o progresso tecnológico consegue aumentar a eficiência com que um recurso é usado, o seu consumo total pode aumentar em vez de diminuir”. JEVONS, W.S. *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. Disponível em: <http://www.econlib.org/library/YPDBooks/Jevons>.

tecnologia se tornou mais eficiente, mas a variação do consumo total parece incompatível com a taxa de variação da produção e da área, o que sugere um uso subótimo.

Considerando esse conjunto de fatores que determinam a produtividade, além é claro do clima, a conclusão a favor do paradoxo de Jevons no uso de fertilizantes inorgânicos fica evidente, aos olhos do Economista. Outras evidências para corroborar essa hipótese estão no Apêndice D para os anos de 1975 a 2011.

Tabela 8 - Variação da Área, Produção, Produtividade e Volume Total de Nutrientes - Soja - 1995/2011

Extratos de área	Ítem					
	Área	Produção	Produtividade	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O
h <4	121,3%	88,2%	2,5%	260,9%	90,0%	237,8%
Sem área	144,1%	111,7%	-13,3%	112,1%	128,7%	110,2%
4 > h <5	74,5%	155,4%	46,3%	279,5%	125,3%	114,3%
5 > h <10	131,0%	147,3%	7,1%	99,9%	158,3%	160,4%
10 > h <20	135,8%	60,7%	-31,9%	185,6%	617,2%	242,5%
20 > h <50	71,9%	206,4%	78,3%	159,7%	95,3%	91,5%
50 > h <100	163,1%	232,8%	26,5%	140,0%	189,9%	224,3%
100 > h <200	138,0%	120,6%	-7,3%	633,1%	85,2%	66,2%
200 > h <500	122,8%	214,3%	41,0%	231,8%	312,4%	120,0%
500 > h <1000	52,5%	139,4%	57,0%	45,8%	27,6%	56,4%
1000 > h <2500	93,6%	172,1%	40,5%	206,7%	64,5%	68,8%
h >2500	118,6%	245,0%	57,8%	101,9%	98,3%	48,9%
Total	105,7%	191,1%	41,5%	143,5%	104,2%	79,6%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados apresentados permitem conjecturar que em alguns extratos de área a variação tanto do uso por tonelada, quanto a taxa de aplicação (kg/hectare) sugerem ao Economista que ainda há espaço para uma diminuição da ineficiência relativa. E que é preciso repensar a estrutura tecnológica de produção da soja no Brasil.

Tabela 9 - Variação da Produção de Área, Produção, Produtividade e Uso de Nutrientes - Soja - 1975/2011

Extratos de área	Item					
	Área	Produção	Produtividade	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O
h <4	418,2%	680,5%	78,0%	924,2%	587,9%	704,5%
Sem área	436,4%	1382,1%	176,4%	1229,4%	769,0%	812,7%
4 > h <5	278,3%	518,8%	63,6%	283,9%	293,1%	239,3%
5 > h <10	263,8%	447,7%	50,5%	269,2%	336,6%	283,6%
10 > h <20	373,1%	238,2%	-28,5%	275,2%	482,1%	321,4%
20 > h <50	211,8%	475,7%	84,6%	222,3%	235,8%	209,7%
50 > h <100	476,2%	1007,9%	92,4%	550,7%	606,3%	460,6%
100 > h <200	448,1%	390,8%	-10,4%	440,5%	472,9%	390,3%
200 > h <500	406,4%	451,7%	9,0%	540,6%	485,0%	319,1%
500 > h <1000	257,9%	483,3%	63,0%	283,4%	330,5%	271,3%
1000 > h <2500	226,1%	694,6%	143,6%	271,4%	261,4%	211,9%
h >2500	328,4%	1072,2%	173,6%	379,1%	484,1%	288,4%
Total	312,9%	657,0%	83,3%	353,4%	391,6%	283,4%

Fonte: Elaborado pelos autores.

O que os dados demonstram, temporariamente, é que inexistem uma homogeneidade de desempenhos entre os produtores rurais, o que leva a negação temporária da hipótese 4 do estudo. Além disso, esses dados da Tabela 9 e outros dados, indicam que o aumento da produção está mais atrelado ao aumento de área do que ao aumento do rendimento.

A história que esses dados contam é: diversos extratos de área apresentam um desempenho inferior quando comparados com extratos acima de 1000 hectares. Mesmo considerando que o potencial máximo desses extratos acima de 1000 hectares não foi investigado, há uma ineficiência menor nesses extratos de área, levando em conta a resposta média brasileira. Ou seja, em outras palavras, a capacidade de investimento em tecnologias que favorecem os ganhos de produtividade. Na Tabela 9 têm-se os mesmos dados da Tabela 8 para os anos de 1975 e 2011. Obviamente as taxas de variação são muito maiores, dada as diferenças tecnológicas entre esses dois períodos.

5.2.3 CUSTO DE PRODUÇÃO

A separação dos resultados da função custo, além de facilitar a exposição dos dados, serve para construir outras análises de suporte às hipóteses de pesquisa. Essa é a vantagem da modelagem desenvolvida aqui: permite uma série de considerações, com um mínimo de

informações, podendo ser reavaliada a qualquer momento. Qualquer nova evidência pode ser incorporada a sua rotina de cálculo, basta para isso, atualizar os vetores de suporte.

E como os custos são compatíveis com as estimativas da CONAB, conforme será visto adiante, indiretamente se tem a validação do modelo. Como são calculados para diversos níveis de produtividade esses valores diferem, mas apresentam a mesma tendência. O que sugere a adequação dos dados estimados.

Para se comparar os diferentes extratos de área, além da análise direta dos dados utilizar-se-á o conceito de Retorno Constante de Produtividade. O cálculo é feito da seguinte maneira:

$$RCP = \frac{(V_i * \pi_{max})}{\pi_i}$$

Em que V_i representa o valor do item no extrato de área i , e π_i representa a produtividade do extrato de área i , e π_{max} representa a maior produtividade de todos os extratos de área, no ano de interesse. Omitiu-se o subscrito do tempo para facilitar a exposição.

Ao longo do desenvolvimento do estudo percebeu-se que era possível aplicar o conceito de vantagem comparativa e retorno da terra, desenvolvidos por Ricardo (1982). Tem-se então que o retorno constante da produtividade é baseado no fator de eficiência da terra (Tabela 10). Ou seja, se produz mais, por unidade qualquer, então meu coeficiente técnico é menor, relativamente tenho uma vantagem comparativa - Teoria Ricardiana de vantagem comparativa. Esse valor representa, smj , o “custo de oportunidade” da sociedade em escolher produzir com determinado produtor, imaginando que essa escolha pudesse ser feita. E representa ainda uma forma de estimar a eficiência termodinâmica em termos físicos do processo de produção.

Uma explicação para esse fator pode ser o seguinte: se a produtividade direta for 2 toneladas, o fator de eficiência da terra seria 0,5, ou seja, é possível produzir uma tonelada em meio hectare. Esse é o fator de eficiência da terra. Se o índice indica maior que 1 quer dizer que preciso de mais de 1 hectare para produzir uma tonelada, ou quanto mais próximo de 1 pior. Esse índice é calculado como o inverso da produtividade, e representa hectares por tonelada.

Tabela 10 - Fator de Eficiência da terra – Soja - Brasil

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <1	1,03	0,71	0,71	0,78	0,71	0,53
1 > h <2	0,99	0,51	0,52	0,45	0,55	0,54
2 > h <3	1,10	0,60	0,57	0,45	0,62	0,51
3 > h <4	0,97	0,57	0,49	0,86	0,62	0,79
Sem área	1,35	0,42	0,46	0,39	0,36	0,49
4 > h <5	0,61	0,54	0,57	0,50	0,39	0,37
5 > h <10	0,68	0,49	0,44	0,41	0,39	0,45
10 > h <20	0,53	0,50	0,48	0,40	0,40	0,74
20 > h <50	0,59	0,57	0,49	0,87	0,45	0,32
50 > h <100	0,69	0,45	0,41	0,63	0,46	0,36
100 > h <200	0,46	0,47	0,42	0,45	0,47	0,51
200 > h <500	0,48	0,62	0,49	0,45	0,30	0,44
500 > h <1000	0,44	0,42	0,39	0,45	0,36	0,27
1000 > h <2500	0,69	0,40	0,41	0,27	0,41	0,28
h > 2500	0,72	0,42	0,39	0,25	0,37	0,26

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assumindo então que esse fator representa o custo de oportunidade da sociedade, em que extrato de área se espera receber o maior retorno?

A resposta a essa pergunta conduz a principal conclusão da tese, em conjunto com os dados apresentados até o momento. Na seção final de debate dos resultados os argumentos serão apresentados em sua totalidade.

Tabela 11 - Custo de Fertilizante por Tonelada de Soja - Em R\$ – Brasil – 1975/2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	224,09	120,03	164,87	182,78	178,93	108,97
Sem área	237,24	122,30	173,59	156,93	176,87	133,24
4 > h <5	246,90	125,54	170,26	177,80	201,94	132,70
5 > h <10	241,09	124,50	172,32	145,34	200,29	130,06
10 > h <20	242,93	130,82	164,29	172,64	179,73	133,35
20 > h <50	252,13	116,63	172,61	145,20	182,82	132,88
50 > h <100	238,33	125,13	160,68	146,80	181,95	133,58
100 > h <200	257,87	106,77	168,88	172,79	175,44	128,88
200 > h <500	233,94	133,34	168,78	145,69	172,68	129,15
500 > h <1000	250,06	120,43	172,13	164,94	194,08	132,37
1000 > h <2500	244,13	130,17	173,84	193,25	192,91	132,76
h > 2500	245,91	131,56	164,20	168,52	185,45	132,92

Fonte: Elaborado pelos autores. Valores atualizados até 03/2017.

Os dados sobre custos serão apresentados no corpo da tese apenas para Fertilizantes e o Custo total. Os outros dados estimados podem ser solicitados aos autores.

Os valores da Tabela 11 indicam que o gasto por tonelada não difere muito entre os extratos de área. Esse custo próximo vai se refletir quando comparado em termos de RCP. Esse indicador indica a eficiência econômica relativa entre os extratos de área.

Tabela 12 - Custo do Fertilizante – RCP – Soja – Brasil – 1975/2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	318,74	172,24	239,64	444,13	302,89	245,38
Sem área	445,27	124,88	204,28	247,51	173,36	247,51
4 > h <5	208,30	164,19	247,75	357,01	214,22	187,17
5 > h <10	228,88	145,74	191,70	241,44	210,46	224,40
10 > h <20	177,81	158,24	201,42	274,96	195,54	373,53
20 > h <50	205,34	159,00	214,55	508,14	222,22	160,38
50 > h <100	226,88	135,76	165,59	369,76	227,01	180,85
100 > h <200	163,47	121,44	181,70	314,57	223,24	249,54
200 > h <500	155,62	199,04	209,27	260,88	142,01	215,70
500 > h <1000	152,72	122,80	170,66	298,97	189,96	135,69
1000 > h <2500	234,98	125,29	178,30	212,65	213,32	143,53
h >2500	245,91	131,56	164,20	168,52	185,45	132,92

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esse retorno constante de produtividade representa o quanto cada extrato de área gastaria considerando a maior produtividade no ano. Essa relação representa uma forma de repensar a estrutura produtiva. Se existem extratos de área com maior ineficiência, como destinar recursos públicos, via crédito rural, por exemplo? Como já foi dito, esse custo de oportunidade deveria ser repensado pelas políticas públicas.

Além disso, esse argumento junta-se às considerações já realizadas sobre o uso físico de fertilizantes nos diferentes extratos. Esse índice pode ser melhorado em estudos regionais, ao considerar a localização, mas isso seria um refinamento. Talvez esse esforço metodológico venha a ser pouco significativo no acréscimo de informação, isto é, pode ser que essa tendência indicada pelo índice acabe por manter-se. Mas ainda assim, pode ser interessante fazer essa investigação.

Tabela 13 - Custo Total por tonelada – R\$ - Soja - Brasil - 1975/2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	1.090,07	672,07	729,09	801,69	804,88	568,87
Sem área	1.325,97	642,98	800,95	866,80	925,36	672,81
4 > h <5	1.320,22	637,16	800,96	807,82	923,13	669,06
5 > h <10	1.291,04	657,41	798,14	802,25	985,37	670,25
10 > h <20	1.352,66	632,16	779,24	874,86	946,03	671,37
20 > h <50	1.334,79	653,48	768,91	768,69	950,58	666,80
50 > h <100	1.292,55	622,80	747,25	882,47	948,20	668,18
100 > h <200	1.324,42	626,51	775,48	927,57	915,79	660,93
200 > h <500	1.335,79	726,84	793,54	863,57	920,65	662,83
500 > h <1000	1.323,59	671,29	807,21	864,34	961,18	661,55
1000 > h <2500	1.330,58	612,20	818,62	890,55	986,42	669,79
h>2500	1.339,69	641,43	768,42	884,60	926,03	667,17

Fonte: Elaborado pelos autores. Atualizado até 03/2017.

Ao analisar as duas tabelas juntas tem-se uma melhor aproximação do desempenho econômico. Cada extrato de área representa sua forma de adquirir os insumos e definem sua estrutura tecnológica. As explicações da razão do primeiro extrato de área apresentar um custo menor talvez esteja na forma como esse extrato adquire seus insumos, mas isso seria conjecturar demais em relação a qualidade do que é comprado.

Tabela 14 - Custo Total por Tonelada - RCP - Soja - Brasil - 1975/2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	1.551,36	962,57	1.059,40	2.011,05	1.366,94	1.288,58
Sem área	2.488,65	656,53	942,55	1.367,10	906,97	1.249,83
4 > h <5	1.113,83	833,30	1.165,49	1.622,10	979,24	943,69
5 > h <10	1.225,65	769,58	887,91	1.332,75	1.035,43	1.156,49
10 > h <20	990,04	764,66	955,33	1.393,37	1.029,23	1.880,56
20 > h <50	1.087,12	890,91	955,76	2.690,11	1.155,45	804,81
50 > h <100	1.230,45	675,69	770,07	2.222,73	1.183,06	904,66
100 > h <200	839,57	712,58	834,33	1.688,73	1.165,29	1.279,75
200 > h <500	888,60	1.084,96	983,89	1.546,30	757,15	1.107,01
500 > h <1000	808,38	684,49	800,33	1.566,70	940,78	678,17
1000 > h <2500	1.280,72	589,25	839,61	979,98	1.090,81	724,08
h>2500	1.339,69	641,43	768,42	884,60	926,03	667,17

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 14 tem-se os valores de custo total por hectare. Destaque para o fato de que o valor por hectare RCP é conceitualmente igual ao valor por tonelada, por isso não existe esse valor nas tabelas apresentadas.

Esses dados sobre os gastos com fertilizantes precisam ser analisados em conjunto com os preços de venda da soja. Esses dados em conjunto sugerem que o produtor rural mantém suas projeções de gasto, desde que os preços da soja não tenham uma tendência de queda para o próximo ano.

Foram pesquisados diversos preços de soja para compor o vetor de suporte das simulações de gasto. No Anexo 3 tem-se um conjunto dessas informações.

Tabela 15 Custo Total por Hectare - R\$ - Soja - Brasil - 1975/2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	1.064,72	1.143,90	1.295,88	1.396,45	1.299,26	984,40
Sem área	979,89	1.514,07	1.723,46	2.201,45	2.565,28	1.374,31
4 > h <5	2.170,44	1.171,39	1.393,83	1.611,47	2.364,50	1.799,89
5 > h <10	1.886,20	1.350,27	1.816,70	1.934,40	2.547,93	1.473,95
10 > h <20	2.563,28	1.256,58	1.609,47	2.200,32	2.362,64	909,47
20 > h <50	2.273,15	1.152,47	1.566,36	879,85	2.124,86	2.096,28
50 > h <100	1.883,25	1.380,22	1.836,11	1.403,40	2.064,91	1.872,60
100 > h <200	2.897,84	1.324,43	1.825,15	2.040,82	1.955,53	1.295,20
200 > h <500	2.785,11	1.170,77	1.620,62	1.931,87	3.041,65	1.505,92
500 > h <1000	3.005,88	1.582,94	2.061,60	1.910,10	2.668,23	2.448,65
1000 > h <2500	1.917,37	1.529,31	2.021,06	3.241,74	2.423,69	2.350,88
h >2500	1.858,15	1.542,26	1.945,76	3.543,39	2.516,11	2.531,54

Fonte: Elaborado pelos autores. Valores atualizados até março de 2017 pelo IGP-DI da FEE/RS.

Nova sugestão para um estudo específico pode ser o de verificar qual seria o preço mínimo em que o produtor desistiria de plantar. Ou qual o preço de fertilizantes e soja, em que esse mesmo produtor mudasse sua tendência de uso.

O leitor precisa considerar que nos anos em que o custo de produção aumentou, como ocorreu em 2008, 2009, o preço da soja se manteve em patamares similares aos anos anteriores, o que numa visão de curto prazo, acaba por sinalizar ao produtor a garantia de uma margem de lucro, mesmo com as possibilidades de aumento de custos nos insumos. Esse “sinal” define um cenário para o produtor rural em suas decisões de quanto e quando comprar os insumos, naqueles que possuem “porte” para essa estratégia. Nos pequenos produtores essa realidade pode ser bem diferente, dado que sua participação nesse mercado é reduzida e seu poder de mercado totalmente diferente dos grandes produtores.

A Tabela 16 é uma aproximação do preço mínimo, ou dito de outra forma o preço de referência do produtor rural. Esse valor é obtido na simulação, a restrição imposta ao modelo de custo total menor que a receita total resulta nessa estimativa. Acrescente-se que essa *proxy* é superior aos preços mínimos publicados pela CONAB(2016). O que parece convergir para um “sentimento” do agronegócio em relação as estimativas da CONAB. Esse preço mínimo e as estimativas de preço para a safra seguinte parecem ser os critérios adotados para a tomada de decisão. Percebe-se que o preço médio recebido pelo produtor rural e o chamado preço mínimo estimulam o produtor rural. Aqui entra o critério econômico balizando as decisões de plantar ou não e o uso de insumos.

Tabela 16 - Estimativa do Preço da Soja – 60 kg - Brasil*

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	77,34	42,54	48,75	42,91	56,43	40,71
Sem área	83,45	42,10	49,19	54,47	59,20	41,04
4 > h <5	83,20	43,76	49,23	53,03	58,97	40,93
5 > h <10	83,11	43,28	48,18	52,73	59,39	40,91
10 > h <20	83,18	43,09	47,71	55,82	58,66	40,91
20 > h <50	83,18	43,78	46,24	50,35	58,75	40,95
50 > h <100	82,92	42,75	46,03	55,82	58,99	41,00
100 > h <200	83,49	41,43	48,10	55,88	58,26	40,62
200 > h <500	83,30	44,66	48,31	52,84	58,84	40,56
500 > h <1000	83,14	43,82	48,68	56,20	59,19	40,74
1000 > h <2500	82,88	42,27	49,51	56,71	59,22	40,93
h >2500	82,87	42,50	46,14	58,22	59,10	40,85

Fonte: Calculado pelos autores. Valores atualizados até março de 2017 pelo IGP-DI da FEE/RS.

* Preço estimado – proxy do preço mínimo

As últimas tabelas desta seção são o gasto com combustíveis e a quantidade estimada de diesel. Entre 2006 e 2008 praticamente todos os extratos de área tiveram seus gastos médios maiores com diesel. Isso confirma que os aumentos nos custos de determinado insumo acaba por ter impacto sobre outros custos, conforme destaca Mew (2016). O autor conclui que os custos relacionados com os insumos para fertilizantes são resultado de uma complexa rede de causas e efeitos e complexos são seus impactos sobre os demais insumos.

Tabela 17 – Estimativa dos Gastos com Diesel - R\$/L - Soja - Brasil - 1975/2011

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	11,26	25,97	34,12	31,21	34,31	27,33
Sem área	129,53	69,83	75,22	83,35	94,56	64,22
4 > h <5	127,89	55,49	77,39	68,11	86,66	63,98
5 > h <10	132,67	63,70	75,15	75,30	86,77	63,58
10 > h <20	132,19	56,18	74,47	78,93	97,28	64,12
20 > h <50	123,65	72,65	73,83	71,29	83,95	62,47
50 > h <100	133,50	53,72	70,61	80,02	84,17	64,02
100 > h <200	132,53	56,19	74,13	86,01	97,49	62,04
200 > h <500	130,48	65,81	76,11	89,16	90,36	62,09
500 > h <1000	124,14	63,59	76,84	86,58	90,98	62,46
1000 > h <2500	127,98	54,40	75,39	80,38	84,04	62,68
h >2500	131,53	61,22	71,71	89,02	85,23	62,70

Fonte: Elaborado pelos autores. Valores atualizados até março de 2017 pelo IGP-DI da FEE/RS.

As estimativas de quantidade foram feitas da seguinte maneira: a partir do valor total gasto por hectare dividiu-se esses valor pelos preços atualizados da série histórica da ANP³⁷ para os anos de 1995 a 2011. Para o ano de 1975 utilizou-se estimativas com base nos preços do barril de petróleo³⁸. Atualizou-se os preços dos barris de petróleo para a data de outubro de 2016. Com base na proporção de custo dos preços disponibilizados pela ANP verificou-se a proporção desses preços em 2016 com o preço do barril de petróleo, aplicando a mesma proporção para o barril em 1974 chegando-se as estimativas do preço do Diesel. Esse ano foi considerado, pois os custos no Brasil são calculados pelo ano safra. Então em toda estimativa sempre se considerou o ano anterior (para safra 1975 os preços eram de 1974).

A quantidade de diesel corresponde à média das estimativas realizadas. Existe uma faixa de variação a ser considerada, dado que os dados sobre preços de combustíveis possuem uma variabilidade grande em todo o Brasil. Além disso, não se tem informação sobre compras em grandes quantidades, o que pode alterar essa estimativa para grandes produtores.

Ao considerar os dados de uso de Diesel o ganho de eficiência proporcionado pela evolução das máquinas fica evidente. Além disso, sistemas de plantio direto que foram adotados ao longo dos anos podem ter contribuído. Embora sejam dinâmicas tecnológicas diferentes, com ganhos em termos de eficiência diferentes, é interessante observar esses

³⁷ Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>

³⁸ Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>

dados. No Diesel, como nos fertilizantes, a eficiência na redução do consumo por tonelada ocorreu em diversas faixas, embora o consumo total tenha aumentado. O consumo total varia de 672 milhões de litros em 1975 para 2,04 bilhões de litros, considerando a média das estimativas.

Tabela 18 - Estimativa de Uso do Diesel - L/t - Soja - Brasil

Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	4,95	7,03	13,89	12,70	11,46	11,79
Sem área	56,88	18,89	30,62	33,92	31,58	27,70
4 > h <5	56,16	15,01	31,50	27,72	28,94	27,60
5 > h <10	58,29	17,23	30,59	30,64	28,98	27,42
10 > h <20	58,06	15,20	30,31	32,12	32,49	27,65
20 > h <50	54,33	19,65	30,05	29,01	28,04	26,94
50 > h <100	58,62	14,53	28,74	32,57	28,11	27,61
100 > h <200	58,21	15,20	30,18	35,00	32,56	26,76
200 > h <500	57,30	17,80	30,98	36,28	30,18	26,78
500 > h <1000	54,52	17,20	31,28	35,24	30,38	26,94
1000 > h <2500	56,23	14,72	30,69	32,71	28,07	27,04
h >2500	57,79	16,56	29,19	36,23	28,47	27,04

Fonte : Elaborado pelos autores.

Os valores médios próximos dos extratos de área parecem indicar uma estrutura tecnológica mais homogênea. Aqui também se tem a sugestão de novos estudos para o levantamento de dados disponíveis em publicações científicas, e/ou estudos de campo. Mas de novo, a contribuição dessa pesquisa precisa ser avaliada em termos de custo benefício. A estimativa aqui foi feita com dados mínimos de entrada.

Comparando com as taxas de variação da produção: a produção entre 1995 e 2011 variou 191% (aproximadamente 25 milhões de toneladas em 1995 para 74 milhões de toneladas em 2011). O consumo total de Diesel, na estimativa média, variou 237% no mesmo período. Em todos os cenários de consumo de combustíveis as variações no consumo total são maiores que a variação na produção. No limite superior da estimativa, para o período de 1995 a 2011, essa variação chega a mais de 350%. Esse resultado sugere também a ocorrência do paradoxo de Jevons, apesar dos ganhos na redução do consumo de diesel por tonelada de soja (aumento da eficiência) o consumo total apresenta uma variação que sugere um espaço de melhorias, seja pela adoção de novas tecnologias, seja pelo cuidado com o manejo.

Para adicionar informação ao comportamento do produtor rural para o ano de 2008: ocorre uma queda de 7% no consumo estimado médio em relação ao ano de 2006.

Observa-se um menor uso relativo na maioria dos extratos de área. Indicando uma tendência em relação aos ganhos com as inovações, tanto em máquinas quanto em processos, mas também se observa que o volume total consumido ainda está acima das estimativas de taxas de variação da produção de soja. Alguém pode argumentar que essas taxas não devem ser correlacionadas. Que existe um nível de ineficiência associado, e que está sendo deixado de fora da análise. Pode-se contra argumentar dizendo que ao considerar a termodinâmica: os ganhos de eficiência de conversão do combustível em trabalho estão em seu melhor nível de desempenho no Brasil?

A adoção de máquinas e implementos pelos diversos extratos de área tem o cuidado de verificar essa questão? Qual a idade do parque de máquinas brasileiro? Essas questões podem se tornar mundial e aumentar a abrangência dos estudos desenvolvidos aqui.

Essas são questões, e outras que têm sido feitas ao longo da tese, que fogem ao escopo da tese, mas fazem parte do problema. Tratar então sobre segurança alimentar vai além do que se percebe no debate científico, ou empresarial. As soluções simplistas, como “adote isso”, ou “aquilo”, parecem ser ineficientes pelo que se pode depreender, ou dito de outra forma, parece que estamos longe de um potencial minimamente aceitável. Levando em conta questões de rendimento termodinâmico, ainda deve existir espaço para evoluir de forma a considerar a exaustão dos recursos do planeta de forma clara e direta. E isso abre espaço para outro debate: intensificação sustentável, que já está em andamento³⁹.

5.3 RESULTADOS ADICIONAIS - CENÁRIOS

No desenvolvimento dos estudos percebeu-se que o modelo desenvolvido poderia ser utilizado para testar cenários sobre volume de produção e área de produtos agrícolas. Sua estrutura de cálculo permite adaptar-se a diferentes restrições. Basta que as informações dos vetores de suporte sejam atualizadas de forma adequada.

Constata-se então que a ferramenta apresentada aqui é uma forma de diagnóstico, de baixo custo financeiro e entrópico, com uma estrutura de construção matricial acessível para que o decisor possa ajustar rumos das políticas e/ou estratégias, uma forma de melhorar o

³⁹ Pesquisa em Andamento no CEPAN conduzida por Felipe Dalzotto Artuzzo.

processo de decisão, sem ter que recorrer a gastos em pesquisa de campo. É tácito que melhores informações levam a melhores decisões.

Quando da revisão da literatura alguns estudos sobre tendências de produção e área foram analisados. Por exemplo, estudo conduzido pela FAO (2000) sobre o uso futuro de fertilizantes traz elementos interessantes para o debate. Suas premissas relativas ao uso de fertilizantes e a resposta em termos produtivos aproxima-se do que foi utilizado por esta pesquisa. Além disso, para calcular o uso futuro de fertilizantes o estudo da FAO(2000) assume que esse valor é uma função de dados passados. Assume ainda que o progresso tecnológico também é função de dados passados. Uma versão revista com novas metodologias foi publicada posteriormente, utilizando também uma modelagem econométrica que também possui vantagens e desvantagens em relação à dependência de dados passados, em síntese, o passado acaba por condicionar o futuro. Uma revisão das projeções desse estudo foi realizada em 2012 e pode ser lida em Alexandratos e Bruinsma (2012). Um outra fonte de pesquisa e análise é o estudo de Tenkorang e Lowenberg-Deboer (2008).

A diferença básica desses estudos em relação à ferramenta desenvolvida aqui é que os resultados nestes estudos são calculados com base num ajuste dinâmico entre área, produção e uso de fertilizantes, tendo por base o que está colocado na seção de revisão da teoria de entropia generalizada e nos procedimentos metodológicos. Mas claro que existem limites à capacidade da modelagem de estimar os valores de interesse. Todos os modelos são limitados.

Não há qualquer imposição teórica em relação aos dados passados ou mesmo de relação funcional. Mesmo a função custo é calculada de forma dinâmica, ou seja, a ferramenta apresenta resultados que são calculados com base no ajuste entre os diversos parâmetros e limites colocados.

Escolheu-se testar as hipóteses de relatórios do Governo Federal Brasileiro, relativos a produção de soja. Esses dados foram inseridos como restrições, ou seja, a produtividade prevista, área e produção para o Brasil foram incorporadas a estrutura de cálculo, e com isso se tornou possível observar os resultados em cada extrato de área, ou dito resumidamente : observar como o sistema se comporta. Foi possível então ter uma estimativa de como a produção e área destinada se dividem nos extratos de área.

Ter uma imagem de uma situação futura pode ser útil para que seja possível antecipar-se aos desafios – num procedimento clássico de simulação: se ocorre tal situação então. Ou seja, buscar ajustar políticas, talvez perceber que determinadas premissas podem ser de difícil consecução. Ou talvez perceber que alguns objetivos são “fáceis” de serem atingidos, não

trazendo modificações significativas a estrutura produtiva (GODET, 2000; BRADFIELD et al., 2005).

Normalmente as projeções buscam descrever o cenário para determinado ano. Com base na estrutura de decisões dos produtores rurais, que normalmente observam poucos anos para trás, ou poucas projeções para frente, dado que os preços são voláteis, no caso da soja e outras commodities. Tem-se então por premissa que o tempo é uma variável secundária. Os resultados aqui apontam para uma similaridade com o estimativas para depois de 2023, tanto no estudo do Governo Brasileiro, quanto o estudo da OECD/FAO (2015).

Simulações feitas em março, ou abril para o próximo ano podem ser mais úteis, do que realizar estudos de longo prazo. Isso no caso dos produtores rurais, para o Governo essas estimativas podem ser continuamente atualizadas, fornecendo informações para suporte as decisões de forma mais frequente. Entende-se possível atuar de forma complementar ao que hoje é conhecido como Big Data , pois o princípio de máxima entropia pode ser interessante em termos analíticos. Para alguns debates sobre ferramentas e teorias sobre Big Data sugere-se Fan et al. (2015), Lokers et al.(2016), Chu (2014) e Waller e Fawcett(2013). A integração com ferramentas de simulação e predição em grande escala parece ser um campo de possibilidades para os modelos de entropia Generalizada, tais como o modelo desenvolvido para esta tese.

Vamos aos resultados. As estimativas do MAPA(2013) podem ser contextualizadas a partir do último Censo Agropecuário divulgado, em 2006. Os cenários, ou simulações, foram feitos levando em conta as seguintes premissas gerais:

- Cenário 1 – Em relação a 2006: o aumento de produção foi de mais de 100% e a área foi de 64,09%. A produtividade média projetada foi de 2,59 t/hectare (aumento de 22% em relação a 2006). Não foi definido um ano específico, pois isso seria um exercício talvez secundário⁴⁰, pois são muitos os elementos que influenciam a destinação de recursos financeiros e por conseguinte, o que será definido para o ano seguinte. Interessante, no entanto é observar as consequências (obter uma imagem/estimativa/cenário) a partir de determinados dados sobre preço da cultura, custos de compra de fertilizantes, ou demais insumos, com antecedência de 1 a 2 anos, conforme disponibilidade de dados para construir novos cenários.
- Cenário 2 – em relação a 2006: aumento da produção em 124,8% e aumento da área em 80,11%. A produtividade média de 2,58 t/há (praticamente a mesma do cenário 1).

⁴⁰ Talvez uma aproximação a determinado ano possa ser possível comparando os resultados em termos de produção e área com outros estudos. Observando os dados disponíveis de outros estudos, tem-se que os valores apresentados aqui encontram valores similares nos anos após 2023, tanto pelas simulações do governo quanto por outras instituições.

Esse cenário tem por base as hipóteses do relatório apresentado pelo governo Federal brasileiro (MAPA,2013).

- Cenário 3 – Em relação a 2006: aumento de 118,1% na produção e aumento de 56,02% na área total. A produtividade média estimada foi de 2,72 t/há (aumento de 28,7 % em relação a 2006).

Embora em comparação com o ano de 2006 exista uma variação acentuada na produção e área total destinada nos três cenários, em relação a 2016 esses valores são menos impactantes: a produção total de 2016 no Brasil foi de 99 milhões de toneladas de soja e mais de 33 milhões de hectares destinados. Os valores calculados ficam na faixa até 15% de variação em relação a esses dados, o que parece ser plausível, considerando a evolução do setor nos últimos anos. Ressalvando o que já foi dito no cenário 1. Ressalte-se ainda que os resultados apresentados para o ano de 2016 também são parte da modelagem, assim como os anos de 1975 a 2011.

Uma das hipóteses levantadas pelo estudo do Governo Brasileiro no documento do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2013) dizia respeito a produtividade média de 3,3 toneladas para o Brasil até 2025. Os testes feitos indicam que é preciso uma variação maior do que as projeções de área total consideram. O algoritmo não encontrou resposta válida ao considerar as restrições de área total apontadas no documento do Governo.

Lembrando que, segundo a teoria de máxima entropia, se nenhuma resposta emerge de uma estrutura de cálculo isso significa que as hipóteses do modelo adotado não condizem com valores possíveis, sendo necessário revisar as premissas (JAYNES, 2003).

5.3.1 CENÁRIOS DE PRODUÇÃO, ÁREA E PRODUTIVIDADE

Os resultados servem como debate e fonte de dados para futuras pesquisas, empreendidas também por outros pesquisadores. O teste da modelagem continua, modelos devem ser revistos, criticados, e aprimorados. É um processo sem fim, da mesma maneira que qualquer área científica, pelo menos assim deveria ser. Novas evidências conduzem a novos caminhos. Inexiste aqui o desejo de estar certo, e sim de apontar alternativas.

As projeções de expansão de área indicavam que em 2023 as áreas chegariam a 34,4 milhões de hectares, atingindo níveis médios de produtividade de 3, 3 toneladas de soja por hectare (MAPA, 2013).

Tabela 19 – Produção (10³ t) - Estimado – Soja - Brasil

Extratos de área	Item						
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	% A	% B	% C
h <4	80,23	143,62	163,02	147,87	79,0%	103,2%	84,3%
Sem área	7,79	5,33	4,90	4,73	-31,6%	-37,1%	-39,3%
4 > h <5	479,31	307,07	305,77	370,54	-35,9%	-36,2%	-22,7%
5 > h <10	983,08	1.421,12	1.196,86	1.087,18	44,6%	21,7%	10,6%
10 > h <20	3.834,43	2.577,10	2.721,88	2.753,86	-32,8%	-29,0%	-28,2%
20 > h <50	10.060,33	4.850,98	5.552,12	6.009,12	-51,8%	-44,8%	-40,3%
50 > h <100	8.459,49	5.137,89	5.408,55	4.812,14	-39,3%	-36,1%	-43,1%
100 > h <200	2.850,91	8.408,06	8.712,40	11.086,88	194,9%	205,6%	288,9%
200 > h <500	8.215,30	10.220,18	18.009,36	12.569,14	24,4%	119,2%	53,0%
500 > h <1000	21.589,75	14.895,80	17.201,93	13.746,35	-31,0%	-20,3%	-36,3%
1000 > h <2500	12.643,35	20.925,40	22.128,29	26.173,31	65,5%	75,0%	107,0%
h>2500	29.682,97	36.709,05	36.502,61	35.646,83	23,7%	23,0%	20,1%
TOTAL	98.984,39	105.601,60	117.907,69	114.407,94	6,7%	19,1%	15,6%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda:

% A – Variação entre o cenário 1 e o ano de 2016

% B – Variação entre o cenário 2 e 2016

% C – Variação entre o cenário 3 e 2016

As projeções realizadas indicam uma necessidade maior para atender as projeções de aumento de produção, considerando o atual padrão tecnológico- Tabela 18. No estudo citado realizado pelo MAPA não são feitas considerações sobre o uso de Fertilizantes. As hipóteses tecnológicas foram deixadas de fora. Aqui tem-se as projeções para atender a essas variações.

Tabela 20 - Área (10³ hectares) – Estimado – Soja - Brasil

Extratos de área	Item						
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	% A	% B	% C
h <4	53,96	74,75	77,28	68,70	38,5%	43,2%	27,3%
Sem área	3,27	1,94	1,95	1,89	-40,7%	-40,2%	-42,1%
4 > h <5	206,46	101,73	97,92	170,33	-50,7%	-52,6%	-17,5%
5 > h <10	486,31	411,33	444,37	346,52	-15,4%	-8,6%	-28,7%
10 > h <20	1.690,19	1.159,55	1.372,57	1.205,74	-31,4%	-18,8%	-28,7%
20 > h <50	3.159,22	2.579,54	2.801,95	2.787,37	-18,3%	-11,3%	-11,8%
50 > h <100	3.803,51	1.715,50	1.879,48	1.751,42	-54,9%	-50,6%	-54,0%
100 > h <200	1.455,95	2.409,51	2.945,34	2.889,81	65,5%	102,3%	98,5%
200 > h <500	3.453,78	4.503,18	6.055,53	3.776,14	30,4%	75,3%	9,3%
500 > h <1000	7.327,82	5.244,68	5.961,77	4.564,05	-28,4%	-18,6%	-37,7%
1000 > h <2500	3.439,61	7.512,77	7.175,25	7.202,11	118,4%	108,6%	109,4%
h>2500	8.019,61	10.495,49	10.931,10	9.664,91	30,9%	36,3%	20,5%
TOTAL	33.130,49	36.209,96	39.744,52	34.428,98	9,3%	20,0%	3,9%

Fonte: Elaborado pelos autores

Legenda:

% A – Variação entre o cenário 1 e o ano de 2016

% B – Variação entre o cenário 2 e 2016

% C – Variação entre o cenário 3 e 2016

Os técnicos do Governo afirmavam em 2013:

“A área de soja deve aumentar cerca de 6,7 milhões de hectares, chegando em 2023 com 34,4 milhões de hectares. Representa um acréscimo de 24,3% sobre a área que temos em 2013. Nas novas regiões do Centro Nordeste do Brasil a área de soja deve se expandir muito segundo técnicos da Conab. No Paraná a área pode crescer nos próximos anos tomando áreas de outras culturas. No Mato Grosso a expansão deve ocorrer em pastagens degradadas e em áreas novas”(MAPA, 2013, p. 30).

Em relação à produtividade e expansão da produção tem-se a palavra do Governo:

“A expansão da produção de soja no país dar-se-á pela combinação de expansão de área e de produtividade. Enquanto o aumento de produção previsto nos próximos 10 anos é de 21,8%, a expansão da área é de 24,3%. Nos últimos anos a produtividade da soja tem se mantido estável em 2,7 toneladas por hectare, e esse número está sendo projetado para 3,0 toneladas por hectare nos próximos 10 anos. Técnicos da Abiove com quem discutimos os resultados, projetam uma produtividade entre 2,8 e 3,3 toneladas por hectare nos próximos 10 anos”.(MAPA,2013, p. 32).

O que está projetado indica que a produtividade média (resultado da produtividade de todos os extratos de área de produção de soja atualmente em atividade no Brasil) parece de difícil consecução. As simulações indicam que esse valor colocado como restrição, não encontra uma solução (Tabela 19) . O que já foi apontado na seção de metodologia, indica um possível erro de hipótese acerca do comportamento do sistema modelado.

Tabela 21- Produtividade (t/hectare) – Estimado – Soja- Brasil

Extratos de área	Item						
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	% A	% B	% C
h <4	1,74	1,90	2,09	2,10	9,0%	20,0%	20,9%
Sem área	2,38	2,75	2,51	2,50	15,4%	5,2%	4,8%
4 > h <5	2,32	3,02	3,12	2,18	30,0%	34,5%	-6,3%
5 > h <10	2,02	3,45	2,69	3,14	70,9%	33,2%	55,2%
10 > h <20	2,27	2,22	1,98	2,28	-2,0%	-12,6%	0,7%
20 > h <50	3,18	1,88	1,98	2,16	-40,9%	-37,8%	-32,3%
50 > h <100	2,22	2,99	2,88	2,75	34,7%	29,4%	23,5%
100 > h <200	1,96	3,49	2,96	3,84	78,2%	51,1%	95,9%
200 > h <500	2,38	2,27	2,97	3,33	-4,6%	25,0%	39,9%
500 > h <1000	2,95	2,84	2,89	3,01	-3,6%	-2,1%	2,2%
1000 > h <2500	3,68	2,79	3,08	3,63	-24,2%	-16,1%	-1,1%
h >2500	3,70	3,50	3,34	3,69	-5,5%	-9,8%	-0,4%
Média	2,46	2,59	2,58	2,73	5,3%	5,2%	11,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda:

% A – Variação entre o cenário 1 e o ano de 2016

% B – Variação entre o cenário 2 e 2016

% C – Variação entre o cenário 3 e 2016

Em outras palavras, os testes com o modelo negam a hipótese dos técnicos do governo. Talvez um debate com esses resultados seja interessante para novas estimativas desenvolvidas pelos órgãos oficiais. Entende-se que tanto a pesquisa quanto o governo podem se beneficiar dessa interação/transferência de conhecimento.

5.3.2 CENÁRIOS DE USO DE FERTILIZANTES

As projeções de uso de fertilizantes não levam em conta avanços tecnológicos. Assume-se a continuidade da resposta média. Com o avanço das pesquisas, e a constatação de um movimento em direção à adoção de novas tecnologias, é possível mudar os valores de suporte, ou mesmo reformular as restrições. Existe uma flexibilidade completa da ferramenta quanto à informação que pode ser incorporada.

Peço ao leitor permissão para um momento de nostalgia, ou talvez um comentário de caráter metodológico: ao longo dos primeiros 8 ou 10 meses do desenvolvimento da modelagem foram necessárias muitos e muitos testes. Muitas formulações fracassaram, e tiveram que ser repensadas, e a cada novo teste ocorria um fenômeno muito próximo do que normalmente se fala sobre entropia⁴¹: assumindo que valores próximos de zero representam um equilíbrio termodinâmico (mais ordenado), quando uma nova informação era adicionada às restrições, ou aos vetores de suporte, ou a condição de equilíbrio do sistema, o valor da “entropia” do sistema voltava para seu estado inicial. Um estado de “alta entropia” que se caracterizava por uma completa “desorganização”(não convergência das condições de equilíbrio) dos resultados.

Ao longo das simulações os valores iam se reconfigurando, e se fosse o caso, novos valores apareciam nas células que representavam os objetivos da simulação. Essa digressão grande é para demonstrar aspectos operacionais, que revelam questões teóricas. Nesse momento da pesquisa a rotina envolvia testar, errar e voltar a testar, e voltar a errar. Até que lá

⁴¹ O comentário aqui não considera o senso comum da desordem, considera um indicador do comportamento das partículas em um sistema fechado. Como dito na revisão teórica.

pelo décimo segundo mês de “laboratório” os modelos começaram a se apresentarem mais estáveis e demonstrar alguns resultados que foram sendo debatidos e apresentados⁴².

Muito embora, boa parte das simulações ainda foram desenvolvidas ao longo de vários meses depois de apresentados os primeiros resultados viáveis. Mas insisto, esse processo é constante, e aí está o grande interesse: poder evoluir. Poder ser parte ativa no processo, sem recorrer a simulações feitas em “caixas pretas” de algum software especializado.

Voltemos aos resultados!

Tabela 22- Fertilizantes – Volume Total Estimado – Soja – Brasil

Extratos de área	Item						
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	% A	% B	% C
h <4	3,10	2,61	2,87	2,49	-0,16	-0,07	-0,20
Sem área	0,38	0,35	0,36	0,31	-0,06	-0,04	-0,17
4 > h <5	34,86	18,25	17,60	30,41	-0,48	-0,50	-0,13
5 > h <10	88,42	75,70	80,47	60,33	-0,14	-0,09	-0,32
10 > h <20	332,25	221,93	250,24	228,87	-0,33	-0,25	-0,31
20 > h <50	624,99	488,51	501,35	541,61	-0,22	-0,20	-0,13
50 > h <100	759,31	287,76	339,10	299,72	-0,62	-0,55	-0,61
100 > h <200	282,25	444,32	528,59	548,06	0,57	0,87	0,94
200 > h <500	685,33	817,69	1.097,35	626,29	0,19	0,60	-0,09
500 > h <1000	1.509,78	1.020,89	1.096,54	839,32	-0,32	-0,27	-0,44
1000 > h <2500	714,48	1.440,30	1.300,49	1.244,12	1,02	0,82	0,74
h >2500	1.664,52	1.822,82	1.979,80	1.680,69	0,10	0,19	0,01
TOTAL	6.699,67	6.641,14	7.194,75	6.102,22	-0,9%	7,4%	-8,9%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda:

% A – Variação entre o cenário 1 e o ano de 2016

% B – Variação entre o cenário 2 e 2016

% C – Variação entre o cenário 3 e 2016

As projeções por tipo de nutriente estão nos Apêndice F e Apêndice H. Pode-se perceber que como não se incorporou alguma mudança tecnológica para as simulações, os valores por hectare nos cenários ficam próximas, como já comentado esse detalhe metodológico.

Os valores por nutriente apresentam uma diminuição talvez influenciados pela expansão de área, o que levou a queda na produtividade média, e por consequência, a taxa de aplicação apresenta queda em diversos extratos de área, a exceção do extrato sem área. A variação de área total e produção são declinantes nos três cenários em relação a 2016, o que sugere um ponto a ser investigado por outros pesquisadores.

⁴² Na defesa do projeto de Tese.

O uso de P205 aumenta nos três cenários nos extratos de 20 a 50 hectares, de 1000 a 2500 hectares e sem área. A taxa de aplicação de K₂O é declinante nos três cenários considerados em relação a 2016. Talvez a explicação para esse comportamento seja a expansão das áreas destinadas à produção. Concordando com as hipóteses do governo. A maior expansão estimada está no extrato acima de 1000 hectares. Em 2016 essas áreas correspondiam a pouco mais de 34 % do total de área destinada, nos 3 cenários esse valor passa de 45%. A expansão de áreas desse porte precisa ser considerada de forma adequada. A proposta desta tese prevê esse mecanismo de concentração da produção de soja em grandes propriedades, a questão aqui é chamar a atenção para evitar o descuido de questões relacionadas com a eficiência termodinâmica, adotando um pensamento linear da Economia Circular (como descrito na seção de considerações teóricas).

5.3.3 CENÁRIOS PARA O CUSTO DE PRODUÇÃO -

Essa seção apresenta as projeções dos custos para a soja. Uma das formas de validar modelagens é verificar seu grau de aderência a outros dados, fornecidos por órgãos oficiais, ou provindos de outras pesquisas.

Segundo relato obtido em seminário dado pela CONAB em 2016 a metodologia utilizada utiliza um banco de dados, e a realização de rodadas com os produtores rurais nas diversas unidades para levantamento dos dados anuais. Segundo o que se pode depreender trata-se de um procedimento estatístico. Do ponto de vista formal, similar ao adotado para as simulações neste estudo.

Tabela 23 - Soja – Custos Estimados - Valores por Hectare - R\$ - Brasil - 2016

Extratos de área	Item						P/A
	Fertilizantes	Agroquímicos	Combustível	Energia Elétrica	Outros	Soma	
h <4	279,12	554,45	13,36	111,76	376,11	1.334,80	1,74
Sem área	595,80	617,34	238,72	267,34	1.069,30	2.788,51	2,38
4 > h <5	534,30	521,27	226,62	183,36	983,05	2.448,59	2,32
5 > h <10	301,22	357,73	133,03	131,22	593,87	1.517,08	2,02
10 > h <20	484,33	523,61	203,53	197,44	900,34	2.309,25	2,27
20 > h <50	715,75	856,46	319,99	331,24	1.497,42	3.720,87	3,18
50 > h <100	507,49	527,73	223,29	183,05	899,67	2.341,24	2,22
100 > h <200	471,49	577,99	200,87	183,46	834,64	2.268,45	1,96
200 > h <500	535,79	607,26	224,88	213,28	989,30	2.570,51	2,38
500 > h <1000	701,66	773,12	310,84	291,70	1.319,06	3.396,38	2,95

1000 > h <2500	910,31	988,45	385,42	334,79	1.554,95	4.173,92	3,68
h>2500	863,48	1.036,90	382,92	362,25	1.562,23	4.207,77	3,70
Média	575,06	661,86	238,62	232,57	1.048,33	2.756,45	2,46

Fonte: Elaborado pelos autores. Valores atualizados até 03/2017.

Legenda: P/A = produtividade (tonelada por hectare)

Ao ler as tabelas (Tabela 23 e Tabela 24) se pode observar que a média do custo total é semelhante, validando pelo menos temporariamente a metodologia empregada. As diferenças podem ser devido às cidades escolhidas para compor a tabela de exemplo da CONAB.

Por exemplo, na cidade de Sorriso, com produtividade de 3,18 t/hectare, os valores apresentados por igual produtividade (no extrato de 20 a 50 hectares) são praticamente os mesmos. Difícil dizer aqui que valores são os corretos para o nível de produtividade, dado que se trata de valores médios. Portanto, os dois valores indicam tendências similares. Neste momento os dados sugerem a aceitação da validade do modelo desenvolvido.

Os valores a maior da simulação em relação aos dados da CONAB, para valores de produtividade nos extratos de área acima de 1000 hectares, podem ser devidos a uma subestimação dos custos nos procedimentos da CONAB, dado que os painéis são declaratórios, sendo possível que outros elementos estejam interferindo nas estimativas.

Tabela 24 - Custos CONAB - Cidades Seleccionadas - 2016 - R\$ - Soja - Brasil

P/A	Custo Variável Total	Fertilizantes	Agroquímicos	Custo Total	Cidade/Estado
2,2	1.128,65	358,93	246,15	2.092,66	São Luiz Gonzaga - RS
2,7	1.406,22	494,61	430,18	2.805,92	Cruz Alta - RS
	1.409,81	612,70	531,31	2.811,77	Barreiras - BA
	1.449,22	572,00	342,23	2.499,17	Cristalina - GO
3	1.938,55	1.020,00	517,40	3.978,84	Boa Vista - RR
	1.176,58	295,51	409,07	2.308,90	Campo Mourão - PR
	1.559,32	575,01	440,55	2.722,75	Brasília - DF
3,1	1.819,17	697,50	527,30	3.060,43	Pedro Afonso - TO
	1.822,69	839,80	601,34	3.214,28	Chapadão do Sul - MS
	1.495,58	726,75	388,90	2.706,41	Balsas - MA
	1.762,27	732,14	716,72	2.436,00	Sorriso - MT
3,12	1.672,46	664,68	560,29	2.711,33	Unaí - MG
	1.864,24	741,93	817,92	2.828,27	Campo Novo do Parecis - MT
	1.872,03	741,93	811,23	2.856,01	Campo Novo do Parecis - MT
3,18	1.775,93	732,14	748,64	2.442,07	Sorriso - MT
3,24	2.152,69	849,77	954,60	3.185,47	Primavera do Leste - MT
3,3	1.445,90	559,45	485,06	2.338,13	Rio Verde - GO
3,6	1.746,19	306,98	600,88	3.174,28	Londrina - PR
Média	1.638,75	640,10	562,77	2.787,37	

Fonte: Baseado em : CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP.(2016). Atualizados até 03/2017.

Obviamente essas observações visam apenas comparar, buscar validar a modelagem. Trata-se de buscar verificar convergências, tendências, pois todos os procedimentos descritos aqui são estatísticos, portanto, sujeitos a erros intrínsecos. A natureza de qualquer dado observado é um nível de incerteza associado a sua estimativa. A ciência se baseia em dados que são apenas estimativas.

Um dos módulos da simulação diz respeito aos preços da soja, como já se explicou. Seu papel na construção de cenários torna-se mais um dado de apoio à decisão. Os valores da Tabela 25 podem ser considerados *proxy* do preço mínimo para a soja. Pela flexibilidade da ferramenta, é possível desenvolver cenários para qualquer produto agropecuário, desde que se tenha informações mínimas sobre sua estrutura de custo.

Caso não estejam disponíveis, é possível estimar, a construção da modelagem leva um pouco mais de tempo computacional até que os valores apresentem respostas. A validação pode ser feita via entrevistas, ou qualquer outro procedimento, cada informação obtida pode ser incorporada, inclusive informações qualitativas sobre o comportamento dos sistemas produtivos, sobre volumes máximos, valores improváveis. Cada informação tem seu papel: ou é uma restrição, um valor para o vetor de suporte, ou um limite de variação. Utilizando a linguagem de programação matemática, adotada aqui.

Tabela 25 - Preços Estimados de Soja –R\$ por Saca 60 Kg - Soja - Brasil

Extratos de área	Item			
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
h <4	49,72	70,85	72,36	72,22
Sem área	47,35	73,23	74,23	74,04
4 > h <5	48,49	72,13	64,68	73,99
5 > h <10	49,19	72,32	72,57	73,39
10 > h <20	49,53	72,26	71,71	72,43
20 > h <50	49,75	72,52	70,89	67,43
50 > h <100	49,30	73,11	75,54	74,80
100 > h <200	47,56	72,46	74,65	73,64
200 > h <500	50,04	71,16	75,59	70,31
500 > h <1000	50,11	72,86	74,27	73,90
1000 > h <2500	49,82	69,70	70,31	73,65
h >2500	48,21	73,24	69,04	72,06
Média	49,09	72,16	72,15	72,66

Fonte: elaborado pelos autores.

O preço mínimo na soja pelos dados da CONAB (2016) foram de R\$30,72 por saca de 60 kg em 2016. Comparando os dados abaixo se verifica que os produtores podem estar certos quando reclamam do preço mínimo, pois o preço colocado na tabela 25 representa o preço que garante a lucratividade da operação, segundo a estrutura de cálculo adotada para este estudo.

Esses valores foram simulados de forma conjunta e representam o preço mínimo, como já foi dito. Eles são compatíveis com a quantidade de oferta de soja e do total de área destinada a essa produção. Esses valores podem ser comparados com os contratos futuros de soja, ou talvez com as tendências de preços publicadas. Os preços são voláteis no caso da soja e outras commodities. A informação da Tabela 25 pode assegurar a lucratividade no curto prazo, sendo mais um elemento na gestão do negócio.

Pode-se pensar numa regra simples: se o preço que esta sendo negociado no mercado futuro fica abaixo desse mínimo, como reagir? E essa pergunta pode ser feita logo após o fim da colheita, quando se começa a pensar a próxima colheita, não precisa acontecer em outubro ou novembro, quando boa parte dos custos já foi realizada.

Na Tabela 26 se tem as projeções para o gasto por tonelada de soja com fertilizantes. Na média os valores ficam muito próximos de um cenário para outro, pois são levados em conta as quantidades de produção e área. As restrições informadas ao sistema informam que o total de gastos não pode ser superior ao total da receita. A partir dessa informação e outras, são construídas as estimativas.

Tabela 26 Custo de Fertilizantes por Tonelada Estimado – Soja – Brasil

Extratos de área	Item			
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
h <4	132,65	281,85	286,37	284,52
Sem área	163,91	248,57	250,80	249,35
4 > h <5	173,59	244,99	219,00	249,10
5 > h <10	109,82	242,00	241,58	244,45
10 > h <20	161,86	241,47	241,19	242,84
20 > h <50	156,67	249,67	242,96	229,85
50 > h <100	163,44	252,26	259,64	256,35
100 > h <200	154,92	246,10	252,55	247,83
200 > h <500	150,87	238,39	252,17	234,43
500 > h <1000	164,31	247,57	252,14	249,18
1000 > h <2500	165,44	233,61	235,19	245,12
h >2500	154,79	244,98	230,24	239,01
Média	154,36	247,62	246,99	247,67

Fonte: Elaborado pelos autores.

O vetor de suporte para o coeficiente na função relativo aos fertilizantes possui valores capazes de abranger uma variedade de situações, portanto, são previstos intervalos que evitem a perda de informação. Lembrando que o coeficiente é transformado em reais a partir da multiplicação desse coeficiente pelo valor total da produção do extrato de área correspondente, conforme explicado na seção de procedimentos metodológicos.

A última tabela a ser apresentada das simulações corresponde ao custo total por hectare. O custo relativamente alto do extrato de 100 a 200 hectares pode ser derivado da produtividade maior projetada pela simulação. Lembrando que esses dados correspondem a uma imagem do futuro, seja ele qual for. Cenários servem para preparar a ação (WACK, 1985).

Tabela 27 Custo Total por Hectare – Estimado - Soja - Brasil

Extratos de área	Item				
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Área/item
h <4	1.303,82	1.553,54	1.918,19	2.150,94	2.146,32
Sem área	1.725,87	1.809,19	3.315,20	3.047,87	3.020,89
4 > h <5	1.393,11	1.842,28	3.588,93	3.303,93	2.630,07
5 > h <10	1.816,28	1.134,75	4.082,93	3.180,45	3.732,35
10 > h <20	1.621,47	1.777,33	2.621,39	2.317,64	2.690,59
20 > h <50	1.568,02	2.555,56	2.253,24	2.310,19	2.383,84
50 > h <100	1.848,13	1.673,81	3.620,58	3.580,72	3.370,70
100 > h <200	1.832,84	1.467,95	4.158,79	3.613,02	4.611,34
200 > h <500	1.629,64	1.774,54	2.635,86	3.651,50	3.796,20
500 > h <1000	2.073,58	2.414,56	3.389,62	3.500,29	3.621,97
1000 > h <2500	2.028,22	2.780,53	3.158,94	3.517,20	4.338,18
h >2500	1.949,54	2.795,95	4.185,67	3.753,11	4.306,97
Média	1.732,54	1.965,00	3.244,11	3.160,57	3.387,45

Fonte: Elaborado pelos autores.

Aqui se encerra a apresentação dos dados adicionais e encerra a construção do caminho que se iniciou com uma revisão teórica sobre tópicos relativos à visão da Bioeconomia, em especial sobre o conceito de entropia e suas consequências para a atividade humana na terra.

É preciso ficar claro que o tópico sobre Economia Circular serve para criticar essa abordagem linear. Soluções tecnológicas podem ser procrastinadoras. Elas podem aliviar a pressão momentaneamente sobre o sistema produtivo, agrícola ou não. Existem considerações a serem feitas fora do agronegócio, mas isso fugiria ao escopo da pesquisa.

5.4 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Aqui encerra-se a apresentação e discussão dos resultados. Lembrando ao leitor que os cenários foram colocados como demonstração da capacidade da ferramenta desenvolvida. É preciso ficar claro para o leitor que um dos temas relacionados diretamente com o uso eficiente de fertilizantes é a segurança alimentar. Muito se debate sobre como alimentar a população projetada, e os debates geralmente abordam a necessidade de intensificar o uso do solo e aumentar a eficiência de uso dos insumos (GODFRAY e GARNETT, 2014).

Dentre as estratégias apresentadas por Godfray e Garnett (2014) estão: diminuir as diferenças de produtividade, a partir de melhor uso de sementes, nutrientes, conhecimento entre outros aspectos. Segundo os autores, existe uma diversidade de padrões de produtividade, mesmo dentro de regiões próximas. Ainda segundo o autor, essa diferença na produtividade pode ser resultado dos altos custos dos insumos e dos baixos retornos. Esse “efeito tesoura” acaba por impactar a lucratividade o que conduz a situações subótimas para o aumento da produção. Numa visão de salvação da lavoura. Percebe-se nesses trabalhos um debate essencialmente tecnológico.

A partir dessas leituras foi feito um exercício de síntese com 31 artigos selecionados utilizando a expressão “*food security*”, na base Sciencedirect (selecionados aleatoriamente), e com a utilização do Software NVivo 11⁴³ foi possível construir a Figura 6.

⁴³ Disponibilizado para uso pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

pelos autores. Propostas parciais são totalmente desnecessárias como solução para os problemas da humanidade.

Nos limites de abordagem sugeridos pela Figura 6 inexistem espaços para se debater uma mudança no paradigma de consumo de recursos, como sugere Georgescu-Roegen (1975) e também Spash (2012).

Essas considerações teóricas sugerem que o problema do desperdício de recursos naturais pode ainda estar longe de uma solução.

Complementar ao que já foi dito sobre o desempenho dos produtores rurais: uma avaliação dos dados disponíveis no IBGE (2017), na tabela 822, por municípios, percebe-se uma discrepância dentro de um mesmo município, que teoricamente está sujeito às mesmas condições médias de solo e clima. A que debitar essa diferença na produtividade de produtores acima de 500 hectares e produtores com área inferior a 100 hectares? As respostas completas a essa pergunta ficam como sugestão para outros estudos. Essa diferença reforça os achados da pesquisa, pois o conjunto dos dados permite uma discussão acerca de sua eficiência.

Mas a impressão que essas considerações deixam é: existe realmente uma heterogeneidade em termos de eficiência produtiva com relação ao uso de fertilizantes em diversos extratos de área, e ao longo dos anos. Obviamente condições climáticas interferem⁴⁴, sabe-se que um campo é um sistema vivo, mas aqui o efeito médio é o interesse, por exemplo, de um formulador de política pública. O que interessa é o uso eficiente de um recurso que é escasso, e no agregado, cada tonelada desperdiçada representa um passo adiante para uma situação que não há volta.

Talvez nesta altura do estudo seja preciso esclarecer uma questão: existe alguma intenção de tratar os agricultores como irracionais do ponto de vista produtivo? Obviamente esse ponto está fora de questão. As estruturas de decisão são variadas e por essa razão as políticas públicas devem induzir os agentes a tomarem melhores decisões.

Mas como poderia o decisor público tomar essa iniciativa, sem a uma estrutura organizada de dados? Sem uma estrutura condensada de evidências?

Essa estrutura está disponível a partir da conclusão desta pesquisa. O objetivo principal da pesquisa foi o de construir um modelo capaz de estimar o comportamento das principais variáveis do sistema produtivo da soja no Brasil e isso foi cumprido.

⁴⁴ Essa afirmação é uma constatação empírica, pois o pesquisador não é da área de Ciências Agrônômicas, e afirmações categóricas podem ser mal interpretadas. Aqui pede-se a compreensão do leitor em relativizar certos comentários.

A partir de toda a discussão dos dados estimados e com base nas considerações teóricas, a principal conclusão desta tese pode ser apresentada da seguinte forma:

- ❖ Produtores com áreas inferiores a 100 hectares precisam ser reavaliados quanto à pertinência de sua permanência na produção de soja;
- ❖ Produtores com áreas inferiores a 20 hectares precisam ser incentivados a procurarem outra atividade agropecuária, desde que obtenham também assistência técnica efetiva para práticas de manejo adequadas, para evitar o desperdício nessas atividades.

O estudo de JU, X. et al. (2016) sugere um aumento no tamanho médio das áreas produtoras agrícolas para evitar o desperdício de fertilizantes. Os autores afirmam que considerando a existência de uma dominância de pequenos produtores, é preciso aumentar o tamanho, acompanhado de ações para melhor aplicação das inovações tecnológicas e uma melhor transferências de informações para atingir um melhor uso do fertilizante na China.

A convergência de conclusões, com procedimentos diversos, e sem o conhecimento prévio do estudo Chinês, torna as conclusões aqui apresentadas, ainda mais pertinentes para um debate aberto no Brasil. Um debate que precisa considerar o pequeno produtor como um agente econômico, que toma decisões e que caso suas decisões estejam gerando efeitos abaixo do esperado, a partir de critérios objetivos, então é preciso agir para corrigir o desempenho global do sistema.

A proposta aqui não é retirar o homem do campo, é realmente dar condições para uma produção menos entrópica, com possibilidades de melhores ganhos (inclusive econômicos), e que evite o desperdício de recursos finitos. Mas alguém ainda pode perguntar a esta altura: Qual a base para tal afirmativa?

E a resposta direta é: o desempenho relativo dos produtores em relação aos extratos de área com produtividade maior. Foi dito que aqui assume-se a hipótese de que todos são ineficientes, mas os dados demonstram que os produtores nos extratos abaixo de 20 hectares apresentam um comportamento médio ainda mais ineficiente. Futuras pesquisas poderão adicionar novas variáveis a esse debate, mas a tendência apontada pelos dados estimados precisa ser considerada pelos formuladores de políticas públicas, e por toda a sociedade.

O pequeno produtor precisa ser reavaliado em relação a sua permanência na produção de commodities. Esse produtor não produz articulado com as principais tecnologias

disponíveis, atua em uma posição sem acesso a recursos financeiros suficientes, e que apesar de todo o esforço, a avaliação de seu desempenho demonstra que também a sociedade recebe menos a partir de cada valor investido (pois crédito rural ou subsídios são derivados de impostos) e , portanto, precisa ser realocado em outra atividade agrícola.

Em outras palavras, considerando níveis mínimos de eficiência a saída de produtores abaixo de 20 hectares deveria ser pensada como uma estratégia nacional, evitando que ele naturalmente seja expulso da atividade agrícola, o que poderá acarretar em problemas sociais.

Em síntese: grandes culturas, com uso intensivo em insumos precisam ser redesenhadas do ponto de vista de sua estrutura produtiva e de sua relação com o uso de recursos naturais. Pode-se pensar a partir de uma perspectiva bioeconômica que todo o sistema agrícola da soja precisa passar por uma reavaliação. E todos os outros. Mas isso está fora do escopo da pesquisa.

Pode-se afirmar com base na revisão da literatura que também a demanda por produtos agrícolas precisa de uma reorganização, mas essa é outra sugestão de pesquisa. As teorias trazidas aqui reforçam que soluções tecnológicas isoladas são insuficientes para resolver o problema da segurança alimentar mundial.

Além desse estudo, tem-se o estudo de Pandey e Diwan (2018) feito na Índia. Suas conclusões apontam que existe pouca interação institucional do governo para implantar treinamentos para os produtores, baixa capacidade de implantar tecnologias de monitoramento das concentrações de nutrientes no solo, o que sugere a necessidade de melhoria na atuação do governo. O que é análogo ao que ocorre no Brasil.

Os resultados da pesquisa feita na região de Punjab (produz 12% de todo o cereal produzido na Índia) apontam que: as motivações intrínsecas (motivação baseada em convicções pessoais) dos produtores rurais são: a intuição, a falta de punição pelo uso excessivo, a desconfiança em relação aos fertilizantes orgânicos. A aplicação dos fertilizantes baseia-se no *feeling* sobre as necessidades da planta, o que acaba por facilitar o uso sem controle (PANDEY e DIWAN, 2018).

Os autores apresentam como sugestão alguns mecanismos de mercado, tais como penalidades e impostos sobre o uso excessivo de nitrogênio. A questão é: como controlar esse uso excessivo num país continental como a Índia, ou mesmo no Brasil? As tecnologias de sensores apresentadas brevemente pelos autores são tidas como solução para a Índia.

Mungai et al.(2016) destaca que sem um serviço de extensão para dar suporte aos pequenos produtores, melhorando suas práticas de manejo, e o uso de subsídios para a compra de insumos poderá ser pouco efetivo para aumentar a produção de alimentos.

Os autores consideraram na pesquisa também as motivações extrínsecas, que essencialmente tem relação com os agentes externos. O principal agente externo são as distribuidoras (agropecuárias no Brasil). Além disso, foram considerados fatores como : os riscos de perder dinheiro, tamanho de propriedade e incentivos para adoção de práticas ecoeficientes. As distribuidoras acabam por pressionar os produtores rurais, pois eles também estão pressionados por metas de vendas. Esses revendedores apenas cuidam da venda, sem informar adequadamente aos produtores a correta aplicação. Além disso, os produtores da região apontam que os fertilizantes são uma garantia de produtividade e renda. Os autores apontam que os pequenos produtores são mais conservadores de recursos do que os grandes produtores da região, o que contrasta com estudos pesquisados pelos autores sobre as taxas de uso alta entre os pequenos produtores.

Os autores insistem que os mecanismos de controle via mercado podem ser capazes de reduzir o desperdício e/ou o uso ineficiente dos fertilizantes. O que parece ser algo de difícil consecução. No estudo os autores trazem exemplos da Europa que adotaram mecanismos de controle e punição para o excesso de uso de fertilizantes (PANDEY e DIWAN, 2018). Mecanismos de mercado são debatidos também no estudo de Lankoski e Ollikainen (2013).

Talvez as situações descritas por Pandey e Diwan (2018) aconteçam em alguma medida no Brasil. Decisões tomadas com base em variáveis fora do campo agrônomico ou até mesmo bioeconômico (para englobar questões relacionadas com a redução da disponibilidade de recursos naturais) podem resultar em desempenhos menos eficientes.

Talvez as soluções via mercado possam reverter em ganhos de curto prazo em relação a uma redução no desperdício de recursos naturais, mas é preciso insistir: é necessário uma mudança na forma como o produtor rural percebe a finitude dos recursos naturais. A literatura de bioeconomia sugere que somente uma mudança de valores pode ser capaz de conduzir os sistemas produtivos para uma nova dinâmica, qualquer outra tentativa se traduz em procrastinação (aqui incluem-se os debates sobre reciclagem de nutrientes).

É preciso ficar claro que a bioeconomia não pretende negar o desenvolvimento tecnológico. O debate é mais profundo: trata-se de deixar de considerar as inovações como soluções isoladas. Que desconsideram os impactos sobre os processos termodinâmicos da terra. Novas tecnologias podem ser inclusive maiores consumidores de energia, ou consumirem volumes adicionais de recursos naturais para sua construção e disponibilização para a base produtiva.

Pense por um instante no consumo de energia de ter a disposição filmes em qualquer lugar que desejar? Imagine a rede de comunicação via wireless, o consumo de energia elétrica

dessa rede, o consumo de diversos materiais para que essa rede imensa esteja disponível, para que você a qualquer momento, possa assistir um filme. A demanda por tecnologias cada vez mais rápidas e integradas, pode acelerar o consumo de recursos finitos, como o Lítio para as baterias, para disponibilizar aparelhos cada vez mais rápidos em seu processamento de diversas atividades. Tecnologias não são neutras.

A terra entrará em equilíbrio termodinâmico, mas isso significa o fim. Em síntese, cada nova tecnologia precisa considerar aspectos termodinâmicos em sua construção. E também os sistemas produtivos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ênfase dada aos fertilizantes nesta tese se dá em função de sua representatividade para a produção agrícola mundial. É impossível pensar a produção agrícola sem o uso de fertilizantes, pelo menos por enquanto. Além disso, seu uso reflete uma complexa rede de relações que envolvem, por exemplo, o uso da terra, os modelos de gestão adotados, as políticas públicas. E no aspecto mais geral o uso de fertilizantes está ligado à segurança alimentar global.

Adicione-se o lado da demanda por alimentos, que refletem as escolhas das sociedades e seus valores, e será possível perceber que é um amplo debate ancorado na análise de um único item (composto de três principais recursos).

Os indícios apontados pelos dados estimados contam uma história. Uma história que foi contada também pelas teorias da Antropologia, com o surgimento da agricultura. Essa história é a predominância de variáveis econômicas (expectativa de lucro, crescimento infinito, minimização de custos) sobre aspectos agronômicos, ambientais e principalmente termodinâmicos. Outros indícios foram contados por Hardin (1968) em sua tragédia dos comuns. Agentes interessados em seu benefício egoísta, desconsiderando a capacidade de suporte de uma dada área acabam por prejudicar a todos.

As conclusões, temporárias é preciso frisar, buscam chamar a atenção para o que está acontecendo no Agronegócio Brasileiro, mas o tema é universal. A preocupação com a finitude do planeta terra é um problema de todos, pelo menos deveria ser.

As estimativas feitas, em conjunto com o debate teórico, sugerem a necessidade de uma transição. Uma mudança de abordagens puramente econômicas para abordagens que levem em conta os aspectos da termodinâmica apontados aqui. As sociedades precisam entender que existe um limite à exploração dos recursos naturais, ditado pela lei da entropia.

Sem alarmismos desnecessários é preciso reconsiderar as estratégias definidas por governos e produtores rurais. As inovações precisam ser reconfiguradas em sua concepção, levando em conta o efeito regressivo que podem impor aos recursos naturais (paradoxo de Jevons).

Argumentando por absurdo: talvez seja preciso desconfiar da entropia. Talvez a entropia seja parte de um plano de algum economista maluco para evitar o crescimento econômico, para evitar que todos vivam bem, e felizes.

Embora esse comentário pareça deslocado do formalismo de uma tese, e da neutralidade de um cientista, mas considere o discurso ao redor do mundo e irá perceber que o

crescimento infinito e a qualquer custo está em todo lugar. Quando foi a última vez que ouviu algum político falando em evitar que a entropia da terra aumente?

As soluções são multifacetadas, inexistem soluções simplistas. Abordagens lineares, com total certeza sobre o futuro deveriam ser ignoradas, se o objetivo é traçar alguma estratégia de convivência pacífica com a queda na quantidade de exergia em todo o planeta.

A partir desse debate parece que uma constatação emerge e se impõe à futuros debates: precisamos de seres humanos melhores, ou melhor informados e que tomem decisões consistentes com suas informações, para que tenhamos um mundo melhor.

Talvez seja difícil considerar possível que o planeta terra possa suportar 15 bilhões de seres melhores (*“hommo sapiens parcus”*), mas é praticamente inviável conviver com 1 bilhão de *“hommo sapiens prodigi”*⁴⁵.

Entende-se que a variável chave é o tempo. A segurança alimentar é muito mais que uma questão produtiva, demográfica, ou sociológica. A segurança alimentar do futuro passa por considerar a exaustão física dos recursos do nosso planeta. Taxas de desconto são ineficientes para definir uma taxa de uso eficiente, do ponto de vista da entropia. Taxas de desconto servem para definir ganhos financeiros.

O caminho normalmente traçado para resolver os problemas atuais e futuros da demanda de alimentos possuem duas estratégias genéricas: extensiva e intensiva. A extensiva pode vir a necessitar cada vez mais insumos. E a intensiva, com o aumento da eficiência de conversão pode acelerar a depleção dos solos. Ambas as estratégias acabam por impactar a disponibilidade de matéria e energia. Lembrando que alterações na taxa de uso são inócuas para aumentar o estoque disponível de recursos naturais. Novamente: é tudo uma questão de tempo.

Todas essas considerações remetem as conclusões de Malthus. De alguma forma, o problema original de Malthus, se converte em nossos dias, em uma “figura” bem mais complexa, num problema que precisa ser mais bem desenhado, com novas propostas que realmente informem a toda população mundial a existência de limites, da sua responsabilidade efetiva em relação ao consumo de recursos naturais.

Apontou-se na seção de revisão teórica as incongruências de aceitar a tecnologia como a “salvação da lavoura”, e ainda, verificou-se que políticas públicas que deixem de lado questões relativas a redução efetiva do consumo de recursos, serão inócuas para a garantia da alimentação da população futura. E por fim, esse quadro complexo precisa considerar uma redução na população.

⁴⁵ Tradução livre para o latim: parcimonioso e desperdiçador. Essas categorias inexistem, são apenas exercício de imaginação.

Uma figura histórica que surge ao finalizar este trabalho é a do TITANIC⁴⁶. Sem o rigor da pesquisa, e sem analisar todas as causas que o levaram a naufragar há mais de 100 anos o que se deseja destacar é: os documentários assistidos, materiais lidos, enfim, as poucas informações obtidas sobre o TITANIC tem em comum uma afirmação: Os construtores e proprietários tinham tanta confiança na tecnologia, que consideravam o barco virtualmente inafundável. A prova de qualquer problema. E por essa razão colocaram menos botes salvavidas.

O resultado: a estimativa é que morreram mais de 1500 pessoas, e somente 800 puderam ser salvas. A precisão dos dados é secundária. As causas também. O ponto é que os comportamentos mais frequentes, que levam ao desperdício, tem em comum um sentimento: o de que todos os problemas podem ser resolvidos pela tecnologia.

Se as sociedades irão evoluir para um novo entendimento do nosso papel na terra está fora do alcance desta pesquisa. Se iremos realmente entender a finitude do crescimento tanto da atividade econômica quanto das necessidades supérfluas ainda é uma incógnita.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Felizmente a disponibilidade dos dados não é uma das limitações da pesquisa. A principal limitação aqui é o entendimento das relações que ocorrem dentro do sistema. Ao longo da pesquisa foram sendo incorporadas diversas perguntas, que não invalidam as hipóteses de pesquisa, ou as respostas encontradas. Somente adicionam novos horizontes.

Dentre as dificuldades encontradas está a necessidade de uma maior intimidade com os dados agrônômicos, para que seja possível avaliar se determinado estudo pode ser consultado ou não. Entende-se que a maior parte das pesquisas são experimentais, e que as recomendações de adubação são um balizamento para os profissionais da área. Com o avanço das pesquisas, e com as discussões sobre os resultados da ferramenta, será possível avançar cada vez mais, incorporando outras variáveis, caso essas se mostrem adequadas.

Outra limitação foi o de capacidade de processamento. Chegou-se a cogitar realizar simulações para grupos de cidades, ou mesmo regiões. Mas a capacidade limitada do notebook infelizmente barrou essa possibilidade. Existe a necessidade de um laboratório com

⁴⁶ <https://seuhistory.com/noticias/titanic-nova-investigacao-diz-que-cao-do-naufragio-nao-foi-o-iceberg>

capacidade de processamento. Isso poderá ser provido por computação em nuvem, mas isso ainda é um objetivo que vai levar um tempo para ser concretizado.

6.2 SUGESTÕES DE NOVOS ESTUDOS

Os procedimentos adotados aqui poderão ser alvo de debates na Ciência do Agronegócio. Espera-se contribuir com o avanço nas ferramentas quantitativas, pois parece urgente a incorporação da bioeconomia na Ciência do Agronegócio Brasileiro. E ferramentas antigas para os atuais desafios, e futuros, parecem inadequadas. Já se falou em Big Data, em Termodinâmica. Acredita-se que a velocidade das mudanças em curso irá exigir uma nova forma de analisar essa dinâmica.

Diversas questões foram colocadas ao longo da tese. Muitas delas podem originar outros estudos. Espera-se que outros pesquisadores se interessem pelos achados de pesquisa e participem do debate sobre as implicações dessa estrutura produtiva que temos atualmente.

Dentre as pesquisas de interesse para o futuro estão : estudar mais a relação entre o princípio de máxima entropia e os sistemas abertos, aplicando esse conceito aos sistemas ecológicos, dinâmica social e outras abordagens que forem sendo incorporadas.

Em relação à continuidade dos estudos desenvolvidos para a tese está a investigação da contribuição dos diferentes fatores que influenciam a produtividade agrícola, tanto do efeito conjunto, quanto isolado.

O uso do conceito de máxima entropia e energia está em andamento e espera-se concluir em breve essa abordagem, que poderá contribuir para o desenvolvimento de análises dos sistemas produtivos, com base em álgebra linear, princípio de máxima entropia e energia.

A integração do conceito de máxima entropia com as ferramentas de Big Data parece o próximo passo da pesquisa, antes de qualquer avanço. Pois aqui a lógica do Big Data é inversa: a partir de poucos dados se constroem estruturas analíticas. Qual será a vantagem dessa integração? Ainda é desconhecida.

Por pura curiosidade pretende-se ler mais sobre a interpretação do conceito de máxima entropia e a evolução das espécies. Estudos como o de Herrmann-Pillath (2011) e Dewar (2009) chamaram a atenção nesse sentido. Considerar que o DNA segue o mesmo princípio explorado aqui de entropia para transmitir informação, é um desafio em termos do entendimento de como a natureza evolui. Ou seja, outra resposta a pergunta de Schrodinger:

o que é a vida? Entender como o processo evolucionário é a expressão da segunda lei da Termodinâmica, ou pelo menos tentar entender.

Enfim, existe um mundo a explorar, e o sentimento é que essa viagem está em seus instantes iniciais, e que vai levar muito tempo.

REFERÊNCIAS

- AL RAWASHDEH, R.; MAXWELL, P. Analysing the world potash industry. **Resources Policy**, Guildford, v. 41, p. 143-151, 2014.
- AL RAWASHDEH, R. A.; XAVIER-OLIVEIRA, E.; MAXWELL, P. The potash market and its future prospects. **Resources Policy**, Guildford v. 47, p. 154-163, 2016.
- ARORA, S.; HAZAN, E.; KALE, S. The Multiplicative Weights Update Method: a Meta-Algorithm and Applications. **Theory of Computing**, Chicago, v. 8, n. 1, p. 121-164, 2012. Disponível em: <<https://www.cs.princeton.edu/~arora/pubs/MWsurvey.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2017.
- AURBACHER, J.; DABBERT, S. Generating crop sequences in land-use models using maximum entropy and Markov chains. **Agricultural Systems**, Essex, v. 104, n. 6, p. 470-479, 2011.
- BALINT, T. et al. Complexity and the Economics of Climate Change: A Survey and a Look Forward. **Ecological Economics**, Amsterdam v. 138, p. 252-265, 2017.
- BALUJA, S. Using a priori knowledge to create probabilistic models for optimization. **International Journal of Approximate Reasoning**, New York, v. 31, n. 3, p. 193-220, 2002.
- BEAUSANG, C.; HALL, C.; TOMA, L. Food waste and losses in primary production: Qualitative insights from horticulture. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 126, p. 177-185, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302355>>. Acesso em: 15 set. 2017.
- BELFER-COHEN, A.; GORING-MORRIS, N. For the First Time. **Current Anthropology**, Chicago, v. 50, n. 5, p. 669-672, 2009.
- BENCHEKROUN, H.; WITHAGEN, C. The optimal depletion of exhaustible resources: A complete characterization. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 612-636, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928765511000066>>. Acesso em: 25 jul. 2015.
- BOSERUP, E. **The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure**. London: London George Allen & Unwin Ltd Ruskin House Museum St London, 1965.108 p.
- BOBULESCU, R. From Lotka's biophysics to Georgescu-Roegen's bioeconomics. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 120, p. 194-202, 2015.
- BRADFIELD, R. et al. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. **Futures**, Guildford, v. 37, n. 8, p. 795-812, 2005.
- BREABAN, M.; LUCHIAN, H.; SIMOVICI, D. A. **Entropic-Genetic Clustering**. [S.l.: s.n.]. 2011. Disponível em: < <https://www.cs.umb.edu/~dsim/papersps/egc.pdf> >. Acesso em: 17 mai. 2017.

BROWN, G. R.; RICHERSON, P. J. Applying evolutionary theory to human behaviour: past differences and current debates. **Journal of Bioeconomics**, New York, v. 16, n. 2, p. 105-128, 2014.

BROWNLIE, W. J. et al. Developing a global perspective on improving agricultural nitrogen use. **Environmental Development**, Amsterdam, v. 15, p. 145-151, 2015.

CATICHA, A.; GOLAN, A. An entropic framework for modeling economies, **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 408, n. 15, p. 149-163, 2014.

CHIARINI, B. Was Malthus right? The relationship between population and real wages in Italian history, 1320 to 1870. **Explorations in Economic History**, Orlando, v. 47, n. 4, p. 460-475, 2010.

CHOWDHURY, R. B. et al. A novel substance flow analysis model for analysing multi-year phosphorus flow at the regional scale. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 572, n. Supplement C, p. 1269-1280, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715308743>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

CHU, W. W. (Ed.). **Data mining and knowledge discovery for Big Data: Methodologies, Challenge and Opportunities**. Amsterdam: Springer, 2014. 309 p.

COHEN, M. N. Introduction: Rethinking the Origins of Agriculture. **Current Anthropology**, Chicago, v. 50, n. 5, p. 591-595, 2009.

CICERI, D.; MANNING, D. A. C.; ALLANORE, A. Historical and technical developments of potassium resources. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 502, p. 590-601, 2015.

COLLINS, G. W. **Fundamental Numerical Methods and Data Analysis**. [S.l.:s.n.]. 1990. Disponível em: <<https://ads.harvard.edu/books/1990fnmd.book/>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas**. 2015. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de Produção**. 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1546&t=>>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

COOPER, S. J. G. et al. Thermodynamic insights and assessment of the ‘circular economy’. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 162, p. 1356-1367, 2017.

CRATE, S. Gone the bull of winter? Grappling with the cultural implications of and anthropology's role(s) in global climate change. **Current Anthropology**, Chicago, v. 49, n. 4, p. 569-595, 2008.

CRISCI, A. Estimation methods for the Structural Equation Models: Maximum Likelihood, Partial Least Squares e Generalized Maximum Entropy. **Journal of Applied Quantitative Methods**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 3-17, 2012. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=91671498&lang=pt-br&site=ehost-live>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

- DALY, H. E. On Economics as a Life Science. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 76, n. 3, p. 392-406, 1968. Disponível em: <<https://doi.org/10.1086/259412>>. Acesso em: 10 mai. 2015.
- DENHAM, T. A. Practice Centered Method for Charting the Emergence and Transformation of Agriculture. **Current Anthropology**, Chicago, v. 50, n. 5, p. 661-667, 2009.
- DEWAR, C. R. Maximum Entropy Production as an Inference Algorithm that Translates Physical Assumptions into Macroscopic Predictions: Don't Shoot the Messenger. **Entropy**, Basel, v. 11, n. 4, p. 931-944, 2009.
- DEWULF, J.; VAN LANGENHOVE, H.; VAN DE VELDE, B. Exergy-Based Efficiency and Renewability Assessment of Biofuel Production. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 39, n. 10, p. 3878-3882, 2005.
- DMITRIEVA, D.; ILINOVA, A.; KRASLAWSKI, A. Strategic management of the potash industry in Russia. **Resources Policy**, Guildford, v. 52, p. 81-89, 2017.
- DUPÂQUIER, J. Malthus, Thomas Robert (1766–1834). In: WRIGHT, J. D. (Ed.). **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)**. Oxford: Elsevier, 2015. p. 457-461.
- EIBEN, A. E.; SMITH, J. E. **Introduction to evolutionary computing**. New York: Springer, 2003. 299 p.
- FAN, W. et al. Prediction of Crop Yield Using Big Data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND DESIGN (ISCID), 8., 2015, Hangzhou. **Proceedings...** Hangzhou: IEEE, 2015. p. 255-260.
- FAO. **Fertilizer Requirements in 2015 and 2030**. Rome: FAO, 2000. Disponível em: <<http://www.foresightfordevelopment.org/sobipro/download-file/46-921/54>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Londres, v. 478, p. 337-342, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature10452>>. Acesso em: 12 abr. 2015.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy and the economic myths. **Southern Economic Journal**, Chapel Hill, v. 41, n. 3, p. 347-381, 1975.
- GERSSSEN-GONDELACH, S.; WICKE, B.; FAAIJ, A. Assessment of driving factors for yield and productivity developments in crop and cattle production as key to increasing sustainable biomass potentials. **Food and Energy Security**, West Sussex, v. 4, n. 1, p. 36-75, 2015.
- GILLER, K. E. et al. Beyond conservation agriculture. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-14, 2015. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.00870/full>>. Acesso em: 22 mai. 2017.
- GO, D. S. et al. Estimating parameters and structural change in CGE models using a Bayesian cross-entropy estimation approach. **Economic Modelling**, Surrey, v. 52, p. 790-811, 2016.

GODET, M. The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls. **Technological forecasting and social change**, New York, v. 65, n. 1, p. 3-22, 2000.

GODFRAY, H. C. J.; GARNETT, T. Food security and sustainable intensification. **Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B: Biological Sciences**, London, v. 369, n. 1639, p. 2012-2073, 2014.

GOLAN, A.; JUDGE, G.; MILLER, D. **Maximum Entropy Econometrics**: robust estimation with limited data. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 1996. 307 p.

GOLAN, A. Information and entropy econometrics: a review and synthesis. **Foundations and Trends in Econometrics**, Boston, v. 2, n. 1-2, p. 1-145, 2008.

GOLAN, A.; JUDGE, G.; PERLOFF, J. Estimation and inference with censored and ordered multinomial response data. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 23-51, 1997.

GOLUB, A. et al. Uncovering Discrete Non-Linear Dependence with Information Theory. **Entropy**, Basel, v. 17, n. 5, p. 2606-2623, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1099-4300/17/5/2606>>. Acesso em: 07 abr. 2016

GOOD, A. G.; BEATTY, P. H. Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons. **PLOS Biology**, San Francisco, v. 9, n. 8, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001124>>. Acesso em: 12 abr. 2016

GREMILLION, K. J.; PIPERNO, D. R. Human Behavioral Ecology, Phenotypic (Developmental) Plasticity, and Agricultural Origins: Insights from the Emerging Evolutionary Synthesis. **Current Anthropology**, Chicago, v. 50, n. 5, p. 615-619, 2009.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science**, Washington, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 1968.

HARDIN, G. **Cultural Carrying Capacity**. 1986. Disponível em: <http://www.garretthardinsociety.org/articles/art_cultural_carrying_capacity.html>. Acesso em: 12 set. 2015

HARDIN, G. **Ethical Implications of Carrying Capacity**. 1977. Disponível em: <http://www.garretthardinsociety.org/articles/art_ethical_implications.html>. Acesso em: 12 set. 2015

HARRIS, J. M. World agricultural futures: regional sustainability and ecological limits. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 95-115, 1996.

HEILIÖ, M. et al. **Mathematical Modelling**. Switzerland: Springer, 2016. 237 p.

HENDERSON, H.; GOLAN, A.; SEABOLD, S. Incorporating prior information when true priors are unknown: An Information-Theoretic approach for increasing efficiency in estimation. **Economics Letters**, Amsterdam, v. 127, p. 1-5, 2015.

HERRMANN-PILLATH, C. The evolutionary approach to entropy: Reconciling Georgescu-Roegen's natural philosophy with the maximum entropy framework. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 70, n. 4, p. 606-616, 2011.

HIGUCHI, T. Self-organizing time series model. In: DOUCET, A. (Ed.). **Sequential Monte Carlo Methods in Practice**. New York: Springer, 2001. p. 429-444.

HOBSON, K.; LYNCH, N. Diversifying and de-growing the circular economy: Radical social transformation in a resource-scarce world. **Futures**, Guildford, v. 82, p. 15-25, 2016.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence**. Cambridge: MIT Press. 1992. 245 p.

HOWITT, R. E.; MSANGI, S. Entropy estimation of disaggregate production functions: An application to northern Mexico. **Entropy**, Basel, v. 16, n. 3, p. 1349-1364, 2014.

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

JAYNES, E. T. **Probability theory: the logic of science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 753 p.

JU, X. et al. Reducing China's fertilizer use by increasing farm size. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 41, p. 26-32, 2016.

KABANIKHIN, S. I. Definitions and Examples of Inverse and Ill-Posed Problems. **Journal of Inverse and Ill-Posed Problems**, Berlin, v. 16, n. 4, p. 317-357, 2008.

KARTHIKEYAN, O. P.; MEHARIYA, S.; CHUNG WONG, J. W. Bio-refining of food waste for fuel and value products. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 136, p. 14-21, 2017.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 127, p. 221-232, 2017.

KLEIDON, A. Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth. **Physics of Life Reviews**, Amsterdam, v. 7, n. 4, p. 424-460, 2010.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 143, p. 37-46, 2018.

LAMBIN, E. F. Global land availability: Malthus versus Ricardo. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 1, n. 2, p. 83-87, 2012.

LANKOSKI, J.; OLLIKAINEN, M. Innovations in Nonpoint Source Pollution Policy European Perspectives. **Choices**, Milwaukee, v. 28, n. 3, 2013. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:ags:aaeach:159206>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

LENCE, S. H.; MILLER, D. J. Estimation of multi-output production functions with incomplete data: A generalised maximum entropy approach. **European Review of Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 188-209, 1998.

LEVINE, D. K.; MODICA, S. Anti-Malthus: Conflict and the evolution of societies. **Research in Economics**, Amsterdam, v. 67, n. 4, p. 289-306, 2013.

- LOKERS, R. et al. Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 84, p. 494-504, 2016.
- LUNARDI, M. S.; CASTRO, J. M. F. C.; MONAT, A. S. Visualização dos resultados do Yahoo em nuvens de texto: uma aplicação construída a partir de web services. **InfoDesign Revista Brasileira de Design da Informação**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 21-35, 2008.
- MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Projeções do Agronegócio Brasil: 2012-2013 a 2022-2023**. Brasília: MAPA, 2013. 98 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-brasil-2012-2013-a-2022-2023.pdf/view>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- MEW, M. C. Phosphate rock costs, prices and resources interaction. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 542, n. Part B, p. 1008-1012, 2016.
- MING, J. M. et al. Ecological Economic Evaluation Based on Emergy as Embodied Cosmic Exergy: A Historical Study for the Beijing Urban Ecosystem 1978–2004. **Entropy**, Basel, v. 12, n. 7, 2010.
- MITCHELL, M. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge: MIT press, 1998. 158 p.
- MITRA, T. et al. Characterizing the sustainability problem in an exhaustible resource model. **Journal of Economic Theory**, San Diego, v. 148, n. 5, p. 2164-2182, 2013.
- MORAN, M.; SHAPIRO, H. **Fundamentals of engineering thermodynamics**. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2006. 831p.
- MUNGAI, L. M. et al. Smallholder Farms and the Potential for Sustainable Intensification. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, 2016. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01720/full>>. Acesso em: 12 de mai. 2017.
- NYSSSEN, J. et al. Geographical determinants of inorganic fertiliser sales and of resale prices in north Ethiopia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 249, p. 256-268, 2017.
- OECD/FAO. **Agricultural Outlook 2015/2024**. Paris: OECD Publishing, 2015. p. 148. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2015.
- PANDEY, C.; DIWAN, H. Reconceptualizing INRM in understanding environmental risks from food production systems. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 615, p. 1271-1281, 2018.
- PARRY, M. L. et al. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 14, n. 1, p. 53-67, 2004.
- PEETERS, L.; SURRY, Y. **Generalized Cross-Entropy Estimation of a Varying-coefficients Model of Cost Allocation in Multi-Product Farming**. 2007. Disponível em:

<<https://doclib.uhasselt.be/dspace/bitstream/1942/7976/1/ERAE%20paper%20GME-RCM.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2015.

PEURA, P. From Malthus to sustainable energy—Theoretical orientations to reforming the energy sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 19, p. 309-327, 2013.

PIPERNO, D. R. The Origins of Plant Cultivation and Domestication in the New World Tropics: Patterns, Process, and New Developments. **Current Anthropology**, Chicago, v. 52, n. S4, p. S453-S470, 2011.

PITTELKOW, C. M. et al. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**, London, v. 517, p. 365-368, 2014. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1038/nature13809>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

PRICE, D. T.; BAR-YOSEF, O. The Origins of Agriculture: New Data, New Ideas: An Introduction to Supplement 4. **Current Anthropology**, Chicago, v. 52, n. S4, p. S163-S174, 2011.

QI, X.; LIANG, C.; ZHANG, J. Generalized cross-entropy based group decision making with unknown expert and attribute weights under interval-valued intuitionistic fuzzy environment. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 79, p. 52-64, 2015.

RAWASHDEH, R. A.; XAVIER-OLIVEIRA, E.; MAXWELL, P. The potash market and its future prospects. **Resources Policy**, Guildford, v. 47, p. 154-163, 2016.

ROMERO, J. C.; LINARES, P. Exergy as a global energy sustainability indicator. A review of the state of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 33, p. 427-442, 2014.

RUBINSTEIN, R. Y.; KROESE, D. P. **The cross-entropy method**: a unified approach to combinatorial optimization, Monte-Carlo simulation and machine learning. New York: Springer Science & Business Media, 2004. 300 p.

RUSSELL, S. V. et al. Bringing habits and emotions into food waste behavior. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 125, p. 107-114, 2017.

SCANDIZZO, P. L.; FERRARESE, C. Social accounting matrix: A new estimation methodology. **Journal of Policy Modeling**, New York, v. 37, n. 1, p. 14-34, 2015.

SCHMIDT, K. A.; DALL, S. R. X.; GILS, J. A. V. The ecology of information: an overview on the ecological significance of making informed decisions. **Oikos**, West Sussex, v. 119, n. 2, p. 304-316, 2010.

SCIENCE. Outline of the History of Commercial Fertilizers. **Science**, New York, v. 17, n. 427, p. 207, 1891. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1766978>>. Acesso em: 12 set. 2017.

SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Banco de Dados Agregados**. Disponível em: <<https://www2.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

SOLOW, R. M. The economics of resources or the resources of economics. **The American Economic Review**, Nashville, v. 64, n. 2, p. 1-14, 1974. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1816009>>. Acesso em: 12 jul. 2015.

SPASH, C. L. New foundations for ecological economics. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 77, p. 36-47, 2012.

STEINER, G. et al. Efficiency developments in phosphate rock mining over the last three decades. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 105, n. Part B, p. 235-245, 2015.

TANNURA, M. A.; S. H. IRWIN; GOOD, D. L. "Weather, Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt. Champaign: [s.n.], 2008. Marketing and Outlook Research Report 2008-01. Disponível em: <http://www.farmdoc.uiuc.edu/marketing/morr/morr_archive.html>. Acesso em: 10 set. 2017.

TARANTOLA, A. **Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation**. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005. p. 348. Disponível em: <<http://epubs.siam.org/doi/book/10.1137/1.9780898717921>>. Acesso em: 09 mai. 2015.

TARANTOLA, A. Popper, Bayes and the inverse problem. **Nature Physics**, London, v. 2, p. 492-494, 2006. Disponível em: <https://www.ipgp.fr/~tarantola/Files/Professional/Papers_PDF/NaturePhysicsTarantola.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2015.

TAYLOR, C. R.; MOSS, D. L. **The fertilizer oligopoly: the case for global antitrust enforcement**. Washington, DC: The American Antitrust Institute, 2013. 95 p. Disponível em: <<http://www.antitrustinstitute.org/sites/default/files/FertilizerMonograph.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

TENKORANG, F.; LOWENBERG-DEBOER, J. Forecasting long-term global fertilizer demand. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 83, n. 3, p. 233-247, 2008.

URBINATI, A.; CHIARONI, D.; CHIESA, V. Towards a new taxonomy of circular economy business models. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 168, p. 487-498, 2017.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: princípios básicos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus. 2000.756 p.

VOHNOUT, K. (Ed.). **Mathematical modeling for system analysis in agricultural research**. New York: Elsevier, 2003.438 p.

WACK, P. **Scenarios: Shooting the Rapids**. 1985. Disponível em: <<https://hbr.org/1985/11/scenarios-shooting-the-rapids>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

WALLER, M. A.; FAWCETT, S. E. Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. **Journal of Business Logistics**, Oak Brook, v. 34, n. 2, p. 77-84, 2013.

WILLIAMSON, J. **Bayesian nets and causality**: philosophical and computational foundations. Oxford: Oxford University Press, 2005.

WORLD BANK. **World Development Indicators**. 2016. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>>. Acesso em: 20 mai 2016.

WORLD BANK. **Commodity Markets**. 2017. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>>. Acesso em: 26 set. 2017.

YILDIZ, T.; YERCAN, F. The cross-entropy method for combinatorial optimization problems of seaport logistics terminal. **Transport**, Vilnius, v. 25, n. 4, p. 411-422, 2010.

YOU, L.; WOOD, S.; WOOD-SICHTA, U. Generating plausible crop distribution maps for Sub-Saharan Africa using a spatially disaggregated data fusion and optimization approach. **Agricultural Systems**, Essex, v. 99, n. 2-3, p. 126-140, 2009.

ZHANG, X.; FAN, S. Estimating Crop-Specific Production Technologies in Chinese Agriculture: A Generalized Maximum Entropy Approach. **American Journal of Agricultural Economics**, Cary, v. 83, n. 2, p. 378-388, 2001.

ZHAO, Z. New Archaeobotanic Data for the Study of the Origins of Agriculture in China. **Current Anthropology**, Chicago, v. 52, n. S4, p. S295-S306, 2011.

APÊNDICE

Apêndice A Taxa de Aplicação de NPK – kg/ha - Soja - Brasil

Nitrogênio - N ₂						
Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h <4	8,82	12,26	12,16	14,52	16,92	16,02
Sem área	8,12	23,16	20,04	11,50	20,25	20,12
4 > h <5	20,34	9,49	11,75	7,14	21,37	20,64
5 > h <10	19,38	22,72	23,87	9,82	21,89	19,67
10 > h <20	18,21	11,92	23,64	13,72	20,86	14,44
20 > h <50	20,29	13,88	20,35	10,46	20,17	20,97
50 > h <100	18,73	23,19	22,44	14,94	20,86	21,15
100 > h <200	17,60	5,64	24,05	16,80	21,97	17,36
200 > h <500	16,69	14,18	24,40	19,39	20,93	21,11
500 > h <1000	18,23	20,43	24,04	12,04	22,26	19,52
1000 > h <2500	19,72	14,18	24,12	19,89	21,54	22,46
h >2500	19,05	23,07	19,49	23,94	22,18	21,31
FÓSFORO - P ₂ O ₅						
h <4	39,53	60,05	51,46	53,84	45,27	51,28
Sem área	43,71	75,59	40,40	58,21	68,37	70,82
4 > h <5	65,68	52,87	55,06	48,10	73,45	68,26
5 > h <10	59,23	63,57	62,28	85,03	68,15	71,09
10 > h <20	43,72	17,69	71,20	52,49	75,68	53,80
20 > h <50	66,16	62,72	58,81	31,52	46,82	71,26
50 > h <100	59,42	66,13	56,09	50,63	66,91	72,84
100 > h <200	52,06	69,95	60,88	74,13	75,91	54,41
200 > h <500	65,05	40,59	71,02	53,99	59,38	75,14
500 > h <1000	60,49	86,97	75,16	40,80	73,94	72,76
1000 > h <2500	63,65	83,03	77,42	54,05	72,41	70,53
h >2500	52,82	79,38	78,33	81,11	79,93	72,03
POTÁSSIO - K ₂ O						
h <4	49,96	61,68	74,23	93,72	50,96	80,50
Sem área	48,83	96,48	59,25	114,68	86,18	83,10
4 > h <5	101,44	74,10	86,88	82,49	99,10	90,99
5 > h <10	90,83	84,95	96,62	84,55	98,54	95,78
10 > h <20	96,06	58,90	87,09	96,16	103,95	85,56
20 > h <50	88,47	78,90	82,70	56,90	105,26	87,88
50 > h <100	101,35	80,02	95,64	83,08	90,93	98,61
100 > h <200	90,68	116,18	110,80	117,35	95,18	81,12
200 > h <500	102,79	86,15	100,79	105,14	98,16	85,06
500 > h <1000	91,22	92,26	103,78	114,95	95,77	94,64
1000 > h <2500	98,73	108,29	104,59	109,68	98,82	94,41
h >2500	85,79	114,17	101,34	104,06	94,11	77,79

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apêndice B Uso de Nutrientes - Kg por tonelada - Soja - Brasil

Nitrogênio - N ₂						
Extratos de área	Ano					
	1975	1995	2006	2008	2009	2011
h < 4	9,05	7,33	6,94	9,28	10,54	9,62
Sem área	10,98	9,84	9,31	4,53	7,30	9,85
4 > h < 5	12,37	5,16	6,75	3,58	8,34	7,67
5 > h < 10	13,27	11,06	10,49	4,07	8,47	8,94
10 > h < 20	9,61	6,00	11,45	5,46	8,35	10,66
20 > h < 50	11,92	7,87	9,99	9,14	9,02	6,67
50 > h < 100	12,85	10,46	9,13	9,39	9,58	7,55
100 > h < 200	8,04	2,67	10,22	7,64	10,29	8,86
200 > h < 500	8,00	8,80	11,95	8,67	6,33	9,29
500 > h < 1000	8,02	8,66	9,41	5,45	8,02	5,27
1000 > h < 2500	13,69	5,68	9,77	5,46	8,77	6,40
h > 2500	13,74	9,60	7,70	5,98	8,16	5,62
FÓSFORO - P ₂ O ₅						
0 > h < 4	40,50	35,83	29,33	32,60	28,08	30,57
Sem área	59,13	32,10	18,78	22,92	24,66	34,67
4 > h < 5	39,94	28,76	31,64	24,11	28,67	25,37
5 > h < 10	40,55	30,95	27,36	35,26	26,36	32,33
10 > h < 20	23,07	8,90	34,47	20,87	30,30	39,71
20 > h < 50	38,86	35,57	28,87	27,54	20,95	22,67
50 > h < 100	40,77	29,84	22,83	31,84	30,72	25,99
100 > h < 200	23,79	33,09	25,87	33,69	35,55	27,77
200 > h < 500	31,19	25,20	34,78	24,14	17,97	33,07
500 > h < 1000	26,64	36,88	29,43	18,46	26,64	19,66
1000 > h < 2500	44,18	33,24	31,36	14,85	29,47	20,09
2500 > h	38,09	33,02	30,94	20,25	29,42	18,98
POTÁSSIO - K ₂ O						
h < 4	51,24	36,86	43,05	57,69	31,61	47,69
Sem área	66,06	40,97	27,54	45,16	31,09	40,68
4 > h < 5	61,69	40,31	49,93	41,35	38,69	33,82
5 > h < 10	62,19	41,36	42,45	35,06	38,11	43,55
10 > h < 20	50,69	29,63	42,17	38,23	41,62	63,16
20 > h < 50	51,96	44,74	40,60	49,71	47,09	27,95
50 > h < 100	69,54	36,11	38,92	52,24	41,75	35,19
100 > h < 200	41,44	54,96	47,08	53,33	44,58	41,40
200 > h < 500	49,29	53,48	49,35	47,00	29,71	37,44
500 > h < 1000	40,16	39,13	40,63	52,02	34,50	25,57
1000 > h < 2500	68,53	43,35	42,36	30,13	40,22	26,90
h > 2500	61,87	47,48	40,02	25,98	34,64	20,50

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apêndice C Variação em Diferentes Períodos (Valores em decimais) - Produção, Área e Produtividade - Soja - Brasil

Descrição	Período	Extratos de área												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Produção (10³ t)		2,60	6,00	1,42	1,21	1,10	0,88	2,33	1,22	0,76	1,44	1,92	2,40	1,60
Área Colhida (10³ ha)	1995/1975	1,03	1,20	1,17	0,57	1,01	0,81	1,19	1,30	1,27	1,35	0,68	0,96	1,01
Produtividade		0,74	2,19	0,12	0,41	0,05	0,04	0,52	-0,03	-0,23	0,04	0,73	0,73	0,30
Produção (10³ t)		-0,15	0,41	-0,11	0,67	0,37	-0,53	-0,44	-0,34	0,42	-0,13	0,50	0,25	0,14
Área Colhida (10³ ha)	2008/2006	-0,10	0,20	-0,22	0,58	0,13	-0,16	-0,13	-0,30	0,29	0,00	0,01	-0,21	-0,04
Produtividade		-0,02	0,18	0,15	0,06	0,22	-0,44	-0,35	-0,07	0,10	-0,13	0,47	0,58	0,19
Produção (10³ t)		0,47	-0,24	0,14	-0,15	-0,19	1,49	0,48	0,37	-0,04	0,21	-0,31	-0,12	-0,04
Área Colhida (10³ ha)	2009/2008	0,46	-0,31	-0,11	-0,21	-0,18	0,28	0,08	0,41	-0,35	-0,03	0,02	0,30	0,03
Produtividade		0,01	0,09	0,28	0,07	-0,01	0,95	0,37	-0,03	0,48	0,26	-0,33	-0,32	-0,07
Produção (10³ t)		0,03	0,09	0,39	-0,14	-0,26	0,50	0,60	0,22	-0,13	0,19	0,33	0,60	0,31
Área Colhida (10³ ha)	2011/2009	-0,04	0,47	0,32	0,02	0,36	0,07	0,24	0,32	0,27	-0,11	-0,07	0,15	0,10
Produtividade		0,09	-0,26	0,05	-0,15	-0,46	0,41	0,29	-0,08	-0,31	0,33	0,43	0,40	0,18
Produção (10³ t)		0,23	0,16	0,41	0,23	-0,18	0,76	0,33	0,09	0,19	0,25	0,38	0,77	0,43
Área Colhida (10³ ha)	2011/2006	0,27	0,23	-0,09	0,27	0,25	0,14	0,17	0,31	0,07	-0,14	-0,03	0,18	0,09
Produtividade		0,01	-0,05	0,55	-0,03	-0,34	0,54	0,14	-0,17	0,11	0,45	0,42	0,50	0,31
Produção (10³ t)		6,94	13,82	5,19	4,48	2,38	4,76	10,08	3,91	4,52	4,83	6,95	10,72	6,57
Área Colhida (10³ ha)	2011/1975	3,61	4,36	2,78	2,64	3,73	2,12	4,76	4,48	4,06	2,58	2,26	3,28	3,13
Produtividade		0,79	1,76	0,64	0,51	-0,29	0,85	0,92	-0,10	0,09	0,63	1,44	1,74	0,83

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
0 > h < 4	sem área	4 > h < 5	5 > h < 10	10 > h < 20	20 > h < 50	50 > h < 100	100 > h < 200	200 > h < 500	500 > h < 1000	1000 > h < 2500	2500 > h	TOTAL

Apêndice D Variação da Produção de Área, Produção, Produtividade e Uso de Nutrientes – Soja – Anos selecionados

Extratos de área	Item – 1995/2011					
	Área	Produção	Produtividade	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O
h <4	121,3%	88,2%	2,5%	260,9%	90,0%	237,8%
Sem área	144,1%	111,7%	-13,3%	112,1%	128,7%	110,2%
4 > h <5	74,5%	155,4%	46,3%	279,5%	125,3%	114,3%
5 > h <10	131,0%	147,3%	7,1%	99,9%	158,3%	160,4%
10 > h <20	135,8%	60,7%	-31,9%	185,6%	617,2%	242,5%
20 > h <50	71,9%	206,4%	78,3%	159,7%	95,3%	91,5%
50 > h <100	163,1%	232,8%	26,5%	140,0%	189,9%	224,3%
100 > h <200	138,0%	120,6%	-7,3%	633,1%	85,2%	66,2%
200 > h <500	122,8%	214,3%	41,0%	231,8%	312,4%	120,0%
500 > h <1000	52,5%	139,4%	57,0%	45,8%	27,6%	56,4%
1000 > h <2500	93,6%	172,1%	40,5%	206,7%	64,5%	68,8%
h >2500	118,6%	245,0%	57,8%	101,9%	98,3%	48,9%
Total	105,7%	191,1%	41,5%	143,5%	104,2%	79,6%

Extratos de área	Item – 1975/2011					
	Área	Produção	Produtividade	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O
h <4	418,2%	680,5%	78,0%	924,2%	587,9%	704,5%
Sem área	436,4%	1382,1%	176,4%	1229,4%	769,0%	812,7%
4 > h <5	278,3%	518,8%	63,6%	283,9%	293,1%	239,3%
5 > h <10	263,8%	447,7%	50,5%	269,2%	336,6%	283,6%
10 > h <20	373,1%	238,2%	-28,5%	275,2%	482,1%	321,4%
20 > h <50	211,8%	475,7%	84,6%	222,3%	235,8%	209,7%
50 > h <100	476,2%	1007,9%	92,4%	550,7%	606,3%	460,6%
100 > h <200	448,1%	390,8%	-10,4%	440,5%	472,9%	390,3%
200 > h <500	406,4%	451,7%	9,0%	540,6%	485,0%	319,1%
500 > h <1000	257,9%	483,3%	63,0%	283,4%	330,5%	271,3%
1000 > h <2500	226,1%	694,6%	143,6%	271,4%	261,4%	211,9%
h >2500	328,4%	1072,2%	173,6%	379,1%	484,1%	288,4%
Total	312,9%	657,0%	83,3%	353,4%	391,6%	283,4%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apêndice E - Volume Total de Fertilizantes em Toneladas - NPK - Soja - Brasil - 1975-2011

(continua)

Nitrogênio - N ₂								
Extratos de área	Anos Selecionados						1975/2011	1995/2011
	1975	1995	2006	2008	2009	2011		
h <4	22,22	63,04	127,74	151,92	242,57	227,52	924,2%	260,9%
Sem área	2,58	16,16	27,82	19,12	23,38	34,27	1229,4%	112,1%
4 > h <5	420,63	425,47	1.010,13	476,78	1.264,56	1.614,61	283,9%	279,5%
5 > h <10	1.554,66	2.870,94	5.471,28	3.556,80	6.289,73	5.740,17	269,2%	99,9%
10 > h <20	3.764,55	4.946,02	18.466,98	12.061,60	14.954,07	14.124,44	275,2%	185,6%
20 > h <50	10.274,98	12.752,05	28.126,63	12.111,09	29.771,06	33.117,19	222,3%	159,7%
50 > h <100	5.327,41	14.441,46	31.520,08	18.208,69	27.531,48	34.663,48	550,7%	140,0%
100 > h <200	6.566,30	4.841,57	37.414,61	18.376,11	33.918,63	35.492,41	440,5%	633,1%
200 > h <500	11.973,45	23.113,36	83.017,47	85.238,73	59.948,14	76.699,63	540,6%	231,8%
500 > h <1000	13.474,54	35.437,94	73.594,99	36.981,76	66.131,56	51.659,26	283,4%	45,8%
1000 > h <2500	24.164,16	29.267,89	99.529,07	83.325,55	92.310,58	89.750,69	271,4%	206,7%
h >2500	31.541,34	74.850,08	116.832,06	113.835,95	137.368,56	151.114,69	379,1%	101,9%
Total	109.153,47	203.215,11	495.522,08	384.799,87	470.482,02	494.920,92	353,4%	143,5%

Fósforo - P ₂ O ₅								
Extratos de área	Anos Selecionados						1975/2011	1995/2011
	1975	1995	2006	2008	2009	2011		
h <4	103,41	374,34	526,78	558,00	717,82	711,36	587,9%	90,0%
Sem área	13,88	52,74	56,07	96,83	78,95	120,60	769,0%	128,7%
4 > h <5	1.358,33	2.369,99	4.734,65	3.212,79	4.346,69	5.339,63	293,1%	125,3%
5 > h <10	4.751,78	8.031,34	14.278,17	30.796,87	19.579,33	20.746,23	336,6%	158,3%
10 > h <20	9.039,01	7.336,19	55.607,70	46.127,77	54.265,21	52.616,90	482,1%	617,2%
20 > h <50	33.511,29	57.619,84	81.306,64	36.487,16	69.103,59	112.539,54	235,8%	95,3%
50 > h <100	16.898,97	41.178,25	78.790,99	61.707,56	88.305,45	119.363,15	606,3%	189,9%
100 > h <200	19.423,88	60.093,82	94.730,39	81.085,14	117.212,09	111.274,18	472,9%	85,2%

Apêndice F - Volume Total de Fertilizantes em Toneladas - NPK - Soja - Brasil - 1975-2011

(continuação)

	46.663,42	66.185,07	241.686,24	237.405,31	170.081,19	272.977,64	485,0%	312,4%
200 > h <500								
500 > h <1000	44.725,05	150.890,23	230.149,22	125.363,56	219.643,82	192.534,42	330,5%	27,6%
1000 > h <2500	78.003,34	171.385,93	319.523,75	226.381,61	310.262,38	281.895,73	261,4%	64,5%
h>2500	87.445,17	257.550,19	469.522,18	385.610,95	495.037,50	510.795,28	484,1%	98,3%
Total	341.937,52	823.067,93	1.590.912,77	1.234.833,54	1.548.634,01	1.680.914,66	391,6%	104,2%

Potássio - K₂O

Extratos de área	Anos Selecionados						1975/2011	1995/2011
	1975	1995	2006	2008	2009	2011		
h <4	133,12	317,01	685,11	920,28	670,11	1.070,86	704,5%	237,8%
Sem área	15,50	67,31	82,24	190,77	99,51	141,51	812,7%	110,2%
4 > h <5	2.097,89	3.321,33	7.471,24	5.510,06	5.864,82	7.117,47	239,3%	114,3%
5 > h <10	7.286,96	10.732,44	22.148,70	30.621,84	28.310,28	27.951,19	283,6%	160,4%
10 > h <20	19.859,38	24.432,58	68.019,71	84.505,06	74.534,00	83.683,57	321,4%	242,5%
20 > h <50	44.808,79	72.477,56	114.323,72	65.865,70	155.353,32	138.773,42	209,7%	91,5%
50 > h <100	28.824,76	49.828,56	134.346,92	101.252,01	120.009,05	161.589,96	460,6%	224,3%
100 > h <200	33.831,70	99.810,33	172.402,81	128.356,56	146.976,63	165.890,09	390,3%	66,2%
200 > h <500	73.739,91	140.465,98	342.971,14	462.306,62	281.151,30	309.017,79	319,1%	120,0%
500 > h <1000	67.440,00	160.074,96	317.760,22	353.156,70	284.490,49	250.429,82	271,3%	56,4%
1000 > h <2500	120.993,62	223.534,69	431.647,22	459.396,67	423.442,34	377.331,53	211,9%	68,8%
h>2500	142.029,56	370.401,44	607.416,10	494.751,06	582.870,30	551.641,15	288,4%	48,9%
Total	541.061,19	1.155.464,19	2.219.275,13	2.186.833,33	2.103.772,16	2.074.638,35	283,4%	79,6%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apêndice G - Taxa de aplicação de nutrientes – NPK –Kg por hectare – Soja – Cenários

(continua)

Nitrogênio - N ₂							
Extratos de área	Item						
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	% A	% B	% C
h <4	15,79	14,05	16,49	14,18	-11,01%	4,47%	-10,17%
Sem área	13,20	25,26	22,41	22,79	91,38%	69,75%	72,62%
4 > h <5	20,76	23,24	22,59	23,66	11,95%	8,83%	13,98%
5 > h <10	22,55	25,01	23,01	24,64	10,93%	2,06%	9,29%
10 > h <20	23,94	23,62	23,27	25,53	-1,35%	-2,79%	6,66%
20 > h <50	24,54	25,40	21,99	24,76	3,51%	-10,41%	0,88%
50 > h <100	24,32	26,19	22,68	25,82	7,69%	-6,76%	6,17%
100 > h <200	25,14	21,10	23,57	22,97	-16,06%	-6,27%	-8,65%
200 > h <500	25,33	23,36	22,76	23,72	-7,77%	-10,17%	-6,35%
500 > h <1000	24,73	24,22	23,10	22,38	-2,06%	-6,57%	-9,49%
1000 > h <2500	26,16	22,09	22,39	21,11	-15,57%	-14,44%	-19,33%
h>2500	25,28	22,07	23,24	22,86	-12,70%	-8,07%	-9,56%
Fósforo - P ₂ O ₅							
h <4	46,03	50,67	57,06	54,40	10,07%	23,95%	18,19%
Sem área	40,27	54,36	69,25	51,55	35,00%	71,96%	28,02%
4 > h <5	54,23	64,30	67,43	59,64	18,58%	24,35%	9,98%
5 > h <10	61,51	58,74	67,21	59,26	-4,50%	9,28%	-3,66%
10 > h <20	66,06	67,56	70,41	73,03	2,28%	6,59%	10,56%
20 > h <50	64,57	68,40	67,13	72,37	5,94%	3,97%	12,08%
50 > h <100	66,76	54,70	67,07	54,01	-18,06%	0,47%	-19,09%
100 > h <200	68,76	66,60	66,84	68,90	-3,15%	-2,80%	0,20%
200 > h <500	68,11	59,57	69,30	51,76	-12,53%	1,75%	-24,00%
500 > h <1000	69,80	66,41	69,27	70,21	-4,87%	-0,76%	0,58%

Apêndice H - Taxa de aplicação de nutrientes – NPK –Kg por hectare – Soja – Cenários

							(continuação)
1000 > h <2500	68,04	68,42	69,22	60,22	0,56%	1,74%	-11,49%
h>2500	73,92	62,12	70,04	61,52	-15,96%	-5,24%	-16,77%
Potássio - K₂O							
h <4	70,05	75,66	75,29	76,93	8,01%	7,47%	9,82%
Sem área	61,25	102,41	92,49	90,80	67,21%	51,01%	48,25%
4 > h <5	93,87	91,87	89,70	95,21	-2,13%	-4,45%	1,43%
5 > h <10	97,75	100,29	90,87	90,20	2,59%	-7,04%	-7,73%
10 > h <20	106,58	100,22	88,64	91,25	-5,97%	-16,84%	-14,38%
20 > h <50	108,72	95,58	89,81	97,18	-12,09%	-17,39%	-10,62%
50 > h <100	108,55	86,85	90,68	91,29	-20,00%	-16,47%	-15,90%
100 > h <200	99,96	96,70	89,06	97,79	-3,26%	-10,90%	-2,17%
200 > h <500	104,99	98,65	89,16	90,37	-6,04%	-15,08%	-13,92%
500 > h <1000	111,50	104,03	91,55	91,31	-6,70%	-17,89%	-18,11%
1000 > h <2500	113,52	101,21	89,64	91,42	-10,84%	-21,03%	-19,47%
h>2500	108,36	89,49	87,84	89,51	-17,42%	-18,94%	-17,40%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda:

% A – Variação entre o cenário 1 e o ano de 2016

% B – Variação entre o cenário 2 e 2016

% C – Variação entre o cenário 3 e 2016

Apêndice I- Uso de Nutrientes - NPK - Por Tonelada de Soja – Brasil

(continua)

Nitrogênio - N₂							
Extratos de área	Item						
	2016	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	% A	% B	% C
h <4	8,31	7,51	7,92	6,83	-9,7%	-4,7%	-17,9%
Sem área	5,54	9,19	8,94	9,12	65,9%	61,4%	64,7%
4 > h <5	8,94	7,70	7,23	10,88	-13,9%	-19,1%	21,6%
5 > h <10	11,15	7,24	8,54	7,86	-35,1%	-23,4%	-29,6%
10 > h <20	10,55	10,63	11,73	11,18	0,7%	11,2%	5,9%
20 > h <50	7,71	13,51	11,10	11,48	75,3%	44,0%	49,0%
50 > h <100	10,94	8,75	7,88	9,40	-20,0%	-27,9%	-14,1%
100 > h <200	12,84	6,05	7,97	5,99	-52,9%	-38,0%	-53,4%
200 > h <500	10,65	10,29	7,65	7,13	-3,3%	-28,2%	-33,1%
500 > h <1000	8,39	8,53	8,01	7,43	1,6%	-4,6%	-11,5%
1000 > h <2500	7,12	7,93	7,26	5,81	11,4%	2,0%	-18,4%
h >2500	6,83	6,31	6,96	6,20	-7,6%	1,9%	-9,2%
Fósforo - P₂O₅							
h <4	24,26	27,15	27,40	25,94	11,9%	12,9%	6,9%
Sem área	16,89	19,77	27,61	20,63	17,0%	63,5%	22,1%
4 > h <5	23,36	21,30	21,59	27,42	-8,8%	-7,6%	17,4%
5 > h <10	30,43	17,00	24,95	18,89	-44,1%	-18,0%	-37,9%
10 > h <20	29,12	30,40	35,50	31,98	4,4%	21,9%	9,8%
20 > h <50	20,28	36,37	33,88	33,57	79,4%	67,1%	65,6%
50 > h <100	30,01	18,26	23,31	19,66	-39,2%	-22,4%	-34,5%
100 > h <200	35,12	19,09	22,60	17,96	-45,7%	-35,7%	-48,9%
200 > h <500	28,63	26,25	23,30	15,55	-8,3%	-18,6%	-45,7%
500 > h <1000	23,69	23,38	24,01	23,31	-1,3%	1,3%	-1,6%

1000 > h <2500	18,51	24,56	22,44	16,57	32,7%	21,3%	-10,5%
----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

Apêndice J- Uso de Nutrientes - NPK - Por Tonelada de Soja – Brasil

(continuação)

h>2500	19,97	17,76	20,97	16,68	-11,1%	5,0%	-16,5%
--------	-------	-------	-------	-------	--------	------	--------

Potássio - K₂O

h <4	36,74	40,69	36,15	37,43	10,8%	-1,6%	1,9%
Sem área	25,69	37,24	36,88	36,33	44,9%	43,6%	41,4%
4 > h <5	40,44	30,44	28,72	43,77	-24,7%	-29,0%	8,2%
5 > h <10	48,36	29,03	33,74	28,75	-40,0%	-30,2%	-40,5%
10 > h <20	46,98	45,09	44,70	39,95	-4,0%	-4,9%	-15,0%
20 > h <50	34,14	50,82	45,33	45,08	48,9%	32,8%	32,0%
50 > h <100	48,81	29,00	31,51	33,23	-40,6%	-35,4%	-31,9%
100 > h <200	51,05	27,71	30,11	25,49	-45,7%	-41,0%	-50,1%
200 > h <500	44,14	43,46	29,98	27,15	-1,5%	-32,1%	-38,5%
500 > h <1000	37,84	36,63	31,73	30,32	-3,2%	-16,2%	-19,9%
1000 > h <2500	30,88	36,34	29,07	25,15	17,7%	-5,9%	-18,5%
h>2500	29,28	25,59	26,30	24,27	-12,6%	-10,2%	-17,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda:

% A – Variação entre o cenário 1 e o ano de 2016

% B – Variação entre o cenário 2 e 2016

% C – Variação entre o cenário 3 e 2016

ANEXOS

Anexo 1 Áreas Seleccionadas por Estados - Concentração da Produção de Soja - 2006 - Brasil

Estado	Grupo de area total	Quantidade produzida (Toneladas)	Área colhida (Hectares)
Maranhão	De 2500 ha e mais	506.591	187.465
Piauí	De 2500 ha e mais	416.745	157.759
Bahia	De 2500 ha e mais	1.561.853	600.870
Bahia	De 1000 a menos de 2500 ha	536.444	209.508
Minas Gerais	De 2500 ha e mais	674.890	249.875
Minas Gerais	De 1000 a menos de 2500 ha	525.655	200.818
Minas Gerais	De 500 a menos de 1000 ha	384.289	148.191
Minas Gerais	De 200 a menos de 500 ha	321.475	126.415
São Paulo	De 200 a menos de 500 ha	213.760	115.181
Paraná	De 200 a menos de 500 ha	1.732.834	696.352
Paraná	De 100 a menos de 200 ha	1.500.776	606.238
Paraná	De 20 a menos de 50 ha	1.333.975	528.646
Paraná	De 50 a menos de 100 ha	1.143.042	453.112
Paraná	De 500 a menos de 1000 ha	1.104.152	390.956
Santa Catarina	De 200 a menos de 500 ha	140.103	52.983
Santa Catarina	De 100 a menos de 200 ha	115.165	41.616
Santa Catarina	De 20 a menos de 50 ha	109.918	42.754
Rio Grande do Sul	De 200 a menos de 500 ha	1.482.945	619.441
Rio Grande do Sul	De 20 a menos de 50 ha	1.222.868	573.845
Rio Grande do Sul	De 500 a menos de 1000 ha	1.175.996	480.613
Rio Grande do Sul	De 1000 a menos de 2500 ha	1.024.985	458.265
Mato Grosso do Sul	De 2500 ha e mais	1.072.309	407.049
Mato Grosso do Sul	De 1000 a menos de 2500 ha	978.981	362.010
Mato Grosso	De 2500 ha e mais	7.104.364	2.521.861
Mato Grosso	De 1000 a menos de 2500 ha	2.854.497	1.024.563
Mato Grosso	De 500 a menos de 1000 ha	1.109.060	393.301
Goiás	De 1000 a menos de 2500 ha	1.626.007	591.548
Goiás	De 2500 ha e mais	1.583.019	569.363
Goiás	De 500 a menos de 1000 ha	1.181.572	466.070
Distrito Federal	De 200 a menos de 500 ha	31.691	12.473
Distrito Federal	De 2500 ha e mais	25.572	9.106

Fonte: IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. (2016).

Anexo 2 Quantidade produzida - 10⁶ toneladas - SOJA - Anos Seleccionados – Brasil e Estados Seleccionados

País/Estado/Ano	1995	2006	2008	2009	2011
Brasil	25,68	52,46	59,83	57,35	74,82
Rio Grande do Sul	5,85	7,56	7,68	8,03	11,72
Goiás	2,15	6,02	6,6	6,81	7,7
Minas Gerais	1,2	2,45	2,57	2,75	2,94
Mato Grosso	5,49	15,59	17,8	17,96	20,8
Santa Catarina	0,44	0,8	0,95	0,99	1,49
Piauí	0,02	0,54	0,82	0,78	1,14
Maranhão	0,16	0,93	1,26	1,21	1,57
São Paulo	1,19	1,65	1,45	1,33	1,27
Bahia	1,07	1,99	2,75	2,43	3,51
Mato Grosso do Sul	2,28	4,15	4,57	4,05	5,08
Paraná	5,69	9,36	11,8	9,41	15,46

Fonte: IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. (2016).

Anexo 3 Preço de Venda de Fertilizantes – Anos Selecionados – Brasil – 1974/2011

Produto/Ano	Todos os produtos - Fertilizantes		TSP		DAP		03-15-15	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
1974	3,58	3,90	3,58	3,90	2,54	2,80	-	-
1975	3,13	2,97	3,13	2,97	2,03	1,47	-	-
1994	1,44	1,49	0,93	0,88	1,66	1,74	1,13	1,17
1995	1,31	1,30	0,88	0,87	1,73	1,71	1,06	1,08
2004	2,04	2,06	1,42	1,47	1,36	1,36	1,77	1,78
2005	1,74	1,69	1,23	1,18	1,17	1,20	1,41	1,36
2006	1,54	1,55	1,09	1,09	1,09	1,08	1,23	1,23
2007	1,75	1,82	1,20	1,27	1,54	1,51	1,53	1,61
2008	2,74	3,01	1,88	2,12	2,85	3,18	2,40	2,60
2009	1,86	1,64	1,22	1,09	1,05	0,91	1,54	1,31
2010	1,46	1,43	1,00	1,01	1,36	1,36	1,11	1,07
2011	1,60	1,66	1,22	1,29	1,47	1,52	1,23	1,27

Fonte: para DAP - World Bank Commodity Price Data.

Para outros valores: Instituto de Economia Agrícola (Agricultural Economic Institute of São Paulo/BR).

Todos os dados atualizados até 03/2017.

Legenda:

M1 média anual

M2 média entre julho e outubro de cada ano

- não disponível

Anexo 4 Preço médio recebido pelo produtor rural – Soja – 60 kg - Brasil

Ano/item	Média Anual	SD	Média 09/12	SD
1974	129,97	16,22	141,29	9,00
1975	96,62	10,18	97,91	8,12
1994	82,41	13,86	75,32	2,03
1995	79,40	5,35	85,31	4,41
2004	81,08	17,40	62,32	5,55
2005	54,04	4,35	49,15	1,30
2006	48,87	3,33	51,71	3,57
2007	57,27	7,10	66,08	4,24
2008	69,86	4,85	64,96	1,59
2009	69,85	3,01	66,65	1,66
2010	55,51	5,91	61,62	3,38
2011	59,72	3,62	58,56	2,73

Fonte:

1974-1995: World Bank Commodity Price Data. Atualizado até 10/2016.

2004 -2011: SEAB - PR (Parana's Estate Agricultural Secretary). Atualizado até 03/2017.

SD – desvio-padrão