**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E
CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

**AQUECIMENTO GLOBAL, INVESTIMENTOS E IMPACTOS
AGRÍCOLAS**

Raquel Nadal

Orientador: Prof. Dr. Denisard Cnéio de Oliveira Alves

**SÃO PAULO
2010**

Prof. Dr. João Grandino Rodas
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Carlos Roberto Azzoni
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Denisard Cneio de Oliveira Alves
Chefe do Departamento de Economia

Prof. Dr. Dante Mendes Aldrighi
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

RAQUEL NADAL

**AQUECIMENTO GLOBAL, INVESTIMENTOS E IMPACTOS
AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Economia da
Faculdade de Economia, Administração
e Contabilidade da Universidade de São
Paulo como requisito para a obtenção do
título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Denisard Cnéio de Oliveira Alves

SÃO PAULO

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Nadal, Raquel

Aquecimento global, investimentos e impactos agrícolas / Raquel Cesar Gonçalves. -- São Paulo, 2010.
60 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2010.
Orientador: Denisard Cnéio de Oliveira Alves.

1. Aquecimento global – Modelos econométricos 2. Agricultura – Impacto 3. Políticas públicas – Recomendações I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade II. Título.

CDD – 363.73874

Agradecimentos

aos professores do IPE/USP; Denisard Alves, Gabriel Madeira, Eduardo Haddad e
Danilo Iglioni,
aos membros do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA); Eustáquio Reis,
José Féres e Juliana Speranza,
aos amigos Paula Pereda e Eduardo Jardim, além de toda minha turma de mestrado e
afins,
às secretárias Anilza, Alda e Janete.
aos meus pais, Heraldo e Eliana e,
ao Ian, meu gato.

The rain in Spain stays mainly in the plain"

My Fair Lady (1964)

Resumo

Para medir o impacto de mudanças climáticas, acompanhadas variações do investimento agrícola, sobre a atividade agrícola brasileira, foram estimadas conjuntamente funções de receita e de custo de produtos e insumos agrícolas. Estas foram derivadas de uma função de lucro restrita, condicional a variáveis de clima e investimento. A pesquisa inova pela metodologia, diferente das demais empregadas anteriormente para o caso brasileiro, pela maior precisão dos dados de clima e pela inclusão do investimento agrícola como variável de mitigação dos efeitos gerados pela variação climática. Os resultados mostraram uma redução da lucratividade agrícola para o Brasil com o aumento da temperatura e precipitação no longo prazo, apesar de variarem conforme regiões. Saíram beneficiadas regiões mais ricas, em detrimento das mais pobres, cuja maior parte da produção agrícola é voltada para a subsistência. O investimento agrícola atuou como redutor desta tendência, de crescimento da desigualdade agrícola, ajudando a reverter apenas parcialmente o efeito do aquecimento.

Abstract

To measure the impact of climate changes along with changes in agricultural investments in Brazil's agricultural sector, this paper jointly estimates revenue functions for the outputs and cost functions for the inputs. These equations were derived from a restricted profit function conditional to climate and investment variables. The paper innovates by using the profit function approach to study Brazil's agricultural sector. It also brings more precise data and adds investment as a relevant variable in the model. Results show a reduction in profitability as temperature and precipitation grow, but they are not homogeneous amongst the different regions. Richer regions seem to do better than the poor ones, which have a large part of their production focused on subsistence. Investment seems to act as a counterbalance to this trend of increasing agricultural inequality, partially reverting the global warming effects.

Sumário

I - Introdução	11
II - Revisão de literatura.....	13
III - Metodologia.....	18
IV - Dados	22
Fontes e metodologia empregada.....	22
Estatísticas descritivas.....	23
V - Estimação e Resultados.....	26
Resultados obtidos mantendo a variável de investimento agrícola constante	27
Resultados com variação do investimento agrícola	35
VI - Conclusões	37
Bibliografia.....	39
Anexo I – Estatísticas descritivas	42
Anexo II - Significância das equações, elasticidades e figuras ilustrativas	45
Anexo III - Coeficientes estimados para a obtenção das elasticidades.....	49
Anexo IV – Resultados com aumento de 10% do investimento no cenário A2	51
Anexo V - A função de lucro restrita.....	55
Anexo VI - Condições de regularidade de uma função lucro restrita.....	56
Anexo VII - A forma funcional da função de lucro restrita	58

Lista de tabelas

Tabela 1 - Teste LR das hipóteses de relevância e separabilidade	27
Tabela 2 - Resultados da estimação por SUR/ML.....	28
Tabela 3 – Receita e Custo dos produtos e insumos e Lucro agrícola.....	42
Tabela 4 – Investimento agrícola.....	42
Tabela 5 - Cenários climáticos	43
Tabela 6 – Teste de Significância das equações estimadas por SUR/ML	45
Tabela 7 - Elasticidades de temperatura, clima e investimento.....	46
Tabela 8 - Coeficientes de preços próprios e cruzados.....	49
Tabela 9 - Coeficientes de clima e dummies de região	50
Tabela 10 - Aumento do investimento agrícola no cenário A2 de longo prazo.....	51

I - Introdução

Existe preocupação crescente, de acordo com Deschênes e Greenstone (2007), que emissões de Gases do Efeito Estufa (GEEs) devidas à atividade humana levem a um aumento da temperatura e precipitação. Tais mudanças devem gerar impactos não desprezíveis sobre diversas atividades econômicas, dentre as quais merece destaque a atividade agrícola por serem temperatura e precipitação seus insumos diretos.

Este trabalho avalia as consequências econômicas de variações climáticas para os próximos anos sobre a agricultura brasileira observando características regionais e agrícolas exclusivas. A predição das implicações geradas por estas mudanças permite avaliar qual o custo econômico do aquecimento, o que pode ajudar na elaboração de políticas de prevenção de perdas de excedente agregado, que contrabalançam por meio de investimentos as transformações ocasionadas pela variação climática na atividade agrícola.

Para mensurar o impacto do aquecimento global sobre o custo dos insumos e sobre a receita de produtos agrícolas foi utilizada uma abordagem de equilíbrio parcial baseada na teoria microeconômica da produção. Formulou-se, para tanto, uma função de lucro restrita cuja derivada em relação aos preços dos insumos e dos produtos agrícolas permitiu, de acordo com o *Lema de Hotelling*, obter equações de oferta e demanda. Estas, multiplicadas pelos respectivos preços, deram origem a equações de receita e custo dos produtos e insumos agrícolas considerados. Reforçando a consistência da metodologia, por terem empregado enfoques similares, destacam-se os trabalhos de Behrman et al. (1992), Lang (1999) e Williamson et al. (2004).

Uma vez estimadas conjuntamente as elasticidades das receitas e custos agrícolas em relação ao clima e ao nível de investimento, além de outras variáveis exógenas, foi possível simular como variações de temperatura e precipitação podem afetar o lucro agrícola para diferentes cenários de emissão de gases do efeito estufa em diferentes períodos de tempo. Além disso, foi possível mensurar, por meio de manipulação algébrica, como o *mix* de culturas e insumos varia em função da variação do clima para diferentes regiões e para o Brasil.

Foi realizada, ainda, uma análise de sensibilidade do valor agrícola relativamente ao crescimento do investimento permitindo verificar como políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento agrícola podem ajudar a mitigar os efeitos gerados pelo

aquecimento.

Para confirmar a adequação da forma funcional escolhida para a função de lucro, além de checar as hipóteses básicas deste trabalho, da influência das variáveis climáticas e tecnológicas sobre as possibilidades de produção de culturas e da influência do preço dos insumos sobre a receita dos produtos, foram realizados testes de razão de verossimilhança (LR).

Os resultados, quando não levado em consideração o aumento do investimento, mostraram uma redução da lucratividade agrícola em ambos os cenários climáticos, pessimista e otimista, do IPCC, em todos os períodos de tempo considerados. Contudo, vale destacar que estes variam entre regiões e culturas, levando a um aumento da desigualdade agrícola, com as regiões mais ricas beneficiadas em detrimento das mais pobres. Já, quando considerado um aumento do investimento agrícola, atuando como possível fator de mitigação dos efeitos gerados pelo aquecimento, torna-se plausível um aumento da lucratividade inclusive comparativamente ao cenário atual. Permanece, emtretanto, a tendência de crescimento da desigualdade agrícola, não podendo o resultado, portanto, ser considerado uma melhoria de Pareto.

A aplicação de uma função lucro para medir os impactos do aquecimento sobre a agricultura brasileira é inovadora, não antes realizada. Inova-se também pela inclusão da variável de investimento agrícola contrabalanceando os possíveis efeitos da alteração climática e permitindo direcionar políticas. Vale notar, além disso, a utilização de medidas de precipitação e temperatura mais precisas comparativamente a outros trabalhos realizados para o caso brasileiro, bem como o emprego do Censo Agrícola mais recente levando em consideração, na base de dados, quase todos os municípios brasileiros.

O trabalho estrutura-se em cinco seções. Após esta seção introdutória, a segunda seção teve como objetivo revisar trabalhos que discutem a relação esperada entre o desempenho do setor agrícola com o clima e os investimentos agrícolas, bem como os métodos utilizados por estes trabalhos para a estimação de tais relações empiricamente. A terceira seção trata da metodologia e a quarta, da base de dados empregada. A quinta seção apresenta o processo de estimação e os resultados obtidos. A sexta sumariza as principais conclusões.

II - Revisão de literatura

Dentre os estudos que procuraram mensurar impactos da mudança climática sobre a atividade agrícola merecem destaque as abordagens agronômica e ricardiana. Trabalhos que, assim como este, utilizaram a metodologia agronômica são os de Adams (1989), Lang (1999) e Féres et al. (2009). Já Mendelsonh et al. (1994), Sanghi et al. (1997), Everson e Alves (1998), Deschênes et al. (2007) e Féres et al. (2008) preferiram utilizar o enfoque ricardiano.

O enfoque agronômico busca, por meio da formulação de uma função de produção/lucro condicional ao preço e a fatores fixos tais quais variáveis climáticas e de investimento, estimar a receita dos produtos agrícolas e o custo dos fatores de produção. Exemplo de função lucro pode ser visualizado em (1), com x e $f(x|z)$ representando os insumos e produtos agrícolas, w e p sendo seus respectivos vetores de preços, e z atuando como o vetor de fatores fixos.

$$\pi(x|p, w, z) = pf(x|z) - wx \quad (1)$$

A diferença dos valores estimados para os diferentes insumos e produtos em condições climáticas e de tecnologia distintas dá a perda/ganho, ou a variação do valor, gerada pelo fenômeno do aquecimento.

Féres et al. (2008) citam como vantagem do enfoque de função de produção/lucro o fato de este, devido ao seu *design* experimental, permitir variar os insumos relevantes de meio ambiente para estimar o impacto climático no valor da produção. Contudo, destacam como desvantagem que o modelo pode gerar *viés negativo* para as estimativas dos valores de produção e lucro já que “não leva em consideração possíveis respostas compensatórias de produtores maximizadores de lucro às alterações de clima”. Tal ausência de resposta pode ser traduzida como a impossibilidade de substituição de um produto agrícola por outro que não estava inicialmente na formulação do modelo.

A metodologia ricardiana, por sua vez, examina como variáveis de clima de diferentes localidades afetam o preço da propriedade e pode ser visualizada de forma simplificada em (2), com y igual ao preço da terra, x sendo o vetor de variáveis observáveis do preço da terra, z igual ao vetor de variáveis climáticas e ε representando o termo aleatório.

$$y = x\beta + \theta f(z) + \varepsilon \quad (2)$$

É verdade que este enfoque corrige o viés da abordagem de função de produção/lucro uma vez que o produtor ajusta tanto seus insumos como seus produtos de acordo com mudanças nas variáveis de clima, possibilitando substituição indireta de diferentes atividades. Entretanto, porque existem características determinantes do preço dos campos agrícolas que são imensuráveis e que podem ser confundidas com fatores de clima, pode-se gerar outro viés, de variável omitida.

Uma maneira de corrigir tal viés, de variável omitida, proposta por Deschênes et al. (2007) é utilizar um modelo de efeitos fixos com *dummies* controlando para regiões e períodos de tempo distintos visando capturar, respectivamente, determinantes regionais da lucratividade agrícola inobserváveis e invariáveis no tempo e determinantes da lucratividade variáveis no tempo tais como melhorias tecnológicas. O modelo (2) com as modificações propostas por Deschênes et Greenstone (2007) pode ser visualizado a seguir:

$$y = \alpha + \gamma + x\beta + \theta f(z) + u \quad (3)$$

Em (3), α representa *dummies* capturando efeitos fixos regionais inobserváveis e invariantes no tempo e γ são *dummies* de tempo, visando controlar para características variantes no tempo de y comum a todas as localidades.

Estudos que utilizaram ambas as metodologias trazem como resultado, em linhas gerais, que os efeitos do aquecimento na agricultura e, conseqüentemente, na economia, devem ser negativos em países de baixas latitudes, onde a temperatura já é próxima do limite superior de cultivo, e ligeiramente positivo para altas latitudes e áreas mais secas, pelo aumento da precipitação decorrente da elevação climática. A diferença entre os enfoques, no que diz respeito às conclusões obtidas, reside substancialmente no montante de benefício/prejuízo esperado.

Mendelsonh et al. (1999), reforçando Féres et al. (2008), relatam que “o modelo ricardiano, aplicado ao cenário de aquecimento global para a agricultura norte-americana, mostrou um impacto significativamente menos severo em termos de perdas agrícolas do que aquele estimado quando utilizado o enfoque agrônômico, com viés negativo”.

Deschênes et Greenstone (2007), por sua vez, citam que “a omissão de variáveis do

modelo ricardiano pode levar a confusão do clima com outros fatores, tornando-se desconhecido o sinal e a magnitude do viés de estimação” e que “as estimativas do modelo ricardiano são extremamente sensíveis às pequenas escolhas a respeito de variáveis de controle, amostra e ponderação”.

Para o caso brasileiro, o modelo ricardiano foi estimado por Siqueira et al. (1994) visando capturar o impacto da elevação climática sobre a produção nacional de trigo, milho e soja. Os autores encontraram grande vulnerabilidade dessas culturas, sobretudo nas regiões centro-oeste e nordeste.

Em seguida, o trabalho de Sanghi et al. (1997), empregando metodologia similar também para o Brasil, avaliou como os efeitos climáticos de elevação da temperatura em 2,5° C e de aumento da precipitação em 7% afetariam a lucratividade agrícola, encontrando um impacto líquido negativo médio no valor da terra entre 2,16% e 7,40%. Os autores, em linha com o trabalho de Siqueira et al. (1994) confirmaram ainda que os estados do centro-oeste e nordeste devem ser os mais afetados pela variação climática.

Evenson e Alves (1998) estenderam o modelo de Sanghi et al. (1997) para incluir variáveis tecnológicas que mitigassem em parte o efeito do aquecimento sobre a produtividade agrícola. Além disso, os autores consideraram seis diferentes usos da terra, a saber, perenes, anuais, pastagem natural, pastagem plantada, floresta natural e floresta plantada, para estimar a variação de lucratividade em cada uma delas de acordo com suas respectivas variáveis de controle, clima e tecnologia. Os resultados mostraram que um aumento de 1° C na temperatura acompanhado de uma elevação de 3% da precipitação levaria a uma redução de 1,84% das florestas naturais e a um aumento de 2,76% das pastagens. Para todo o Brasil, levando-se em consideração as mesmas mudanças climáticas e variáveis de controle, a perda prevista para o valor da terra foi de 1,23%, sendo as regiões mais atingidas aquelas do Norte, Nordeste e parte do Centro-Oeste. Alguns municípios do Sul e Sudeste, ao contrário, se beneficiariam com tais mudanças de precipitação e clima.

Após o trabalho de Evenson e Alves (1998), merece destaque o trabalho de Féres et al. (2008) pela correção da falta de especificidade das projeções de clima e precipitação utilizadas em estudos anteriores. O trabalho de Féres et al. (2008) reestimou o modelo ricardiano para o caso brasileiro controlando para efeitos fixos como proposto por Deschênes e Greenstone (2007), além de empregar medidas de projeção de clima mais precisas e não lineares para cada diferente região geográfica. Os resultados obtidos

mostram que, para o médio prazo, os impactos do aquecimento climático sobre a lucratividade agrícola brasileira devem ser modestos, com queda esperada de 3,7% quando considerado o cenário A2 do IPCC, mais pessimista no que diz respeito a emissão de GEEs, e de menos de 1%, para o cenário B2, que prevê menor emissão de GEEs. Já para o longo prazo, os impactos da mudança climática encontrados são consideravelmente mais severos, indicando uma queda do lucro agrícola brasileiro de 26% com o cenário A2 e de 9% com o cenário B2. As regiões mais prejudicadas foram novamente a Norte e a Centro-Oeste. Fazendo uso do cenário A2, as perdas anuais de lucro estimadas para o médio e longo prazo foram de, respectivamente, 35% e 65% na região Norte e de 25% e 75% na região Centro-Oeste. Féres et al. (2008) encontraram ainda que as regiões Sudeste e Sul talvez se beneficiem levemente das alterações de clima em termos de lucratividade agrícola, em linha com o encontrado por Everson e Alves (1998).

O modelo agrônômico, por sua vez, foi aplicado para o Brasil por Féres et al. (2009). Os autores estimam, utilizando uma função de produção, a variação da produtividade média de produtos agrícolas controlando para fatores agrícolas e de clima, mas não levam em consideração variações no gasto com insumos. Foram analisadas as culturas do arroz, cana-de-açúcar, feijão, fumo, milho, soja e trigo para diferentes cenários climáticos em períodos de tempo distintos. Os resultados mostram que a maior perda de produtividade ocorre nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Já as regiões Sudeste e, em especial, a Sul, foram beneficiadas. Dentre as culturas, a cana e o trigo foram aquelas que mais perderam produtividade, sobretudo nas regiões norte e nordeste, respectivamente. As culturas de milho e soja, por sua vez, ganharam produtividade, principalmente na região norte.

Diferente desses dois enfoques, vale destacar ainda o trabalho desenvolvido por Pinto et al. (2008) que, empregando simulação computacional, buscou avaliar os impactos de mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro por meio da tecnologia de Zoneamento de Riscos Climáticos (ZRC). Esta permitiu inferir, com base na análise de séries históricas de temperatura, o nível de risco de plantio de cerca de 30 culturas para mais de 5.000 municípios brasileiros. Para as principais culturas analisadas, a saber, algodão, arroz, café, cana de açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja, um diferente cenário foi traçado mostrando que, com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, todas as demais devem sofrer impactos negativos advindos do choque climático,

apresentando uma diminuição de área plantada e valor da produção. Os autores enfatizaram ainda que enquanto a região Nordeste deve ser a mais afetada pela drástica redução da oferta de alimentos considerados como de subsistência, como milho, arroz, feijão, algodão e girassol, as culturas da soja e café devem ser aquelas mais prejudicadas pelo fenômeno do aquecimento, com diminuição significativa de áreas plantadas.

De forma resumida, as aplicações empíricas indicam que o impacto da mudança de clima na agricultura brasileira é negativo principalmente para as regiões do Norte, Nordeste e Centro-Oeste e positivo para as regiões Sul e Sudeste. Percebe-se, entretanto, ausência de consenso no que diz respeito à evolução de algumas culturas como a soja e a cana.

Vale destacar, também, que a maioria dos estudos são limitados no que diz respeito às projeções climáticas utilizadas, além de não levarem em consideração os efeitos de mitigação tecnológica, advindos de investimentos agrícolas, que podem alterar os resultados obtidos. Ponto importante também é que, para o caso brasileiro, não é conhecida nenhuma aplicação do modelo agronômico para mensurar como a mudança de clima, somada aos investimentos agrícolas, deve impactar a lucratividade agrícola, igual à receita de bens agrícolas menos o custo dos insumos.

Neste trabalho decidiu-se, por isso, utilizar a abordagem agronômica levando em consideração não somente variações de clima, mas também de investimentos agrícolas visando obter uma avaliação mais precisa dos impactos de mudanças climáticas e do investimento na agricultura brasileira como suporte para a formulação de políticas de mitigação de perdas e estratégias de adaptação. Para corrigir o viés negativo do modelo agronômico citado por Féres et al. (2008), pela omissão de variáveis e fatores fixos, utilizou-se procedimento similar ao de Deschênes et al. (2007), com *dummies* controlando para características regionais exclusivas e omitidas do modelo.

III - Metodologia

Assume-se que cada produtor, independentemente, se comporta como um maximizador de lucro em um ambiente de competição perfeita. Este último pressuposto implica que a demanda por fatores de produção, m^d , bem como as quantidades ofertadas de produção, m^s , são endógenas, e que seus respectivos preços são exógenos.

Além do vetor de preços das variáveis, $p = (p_1, \dots, p_m)'$, cada produtor também aceita como exógeno um conjunto de variáveis climáticas, $z = (z_1, \dots, z_q)'$, e um conjunto de variáveis tecnológicas, $g = (g_1, \dots, g_r)'$, ambos influenciando a quantidade a ser produzida e, conseqüentemente, os lucros. Como neste caso os vetores z e g funcionam como fatores fixos¹ do modelo, foram por vezes representados por um vetor $x = (x_1, \dots, x_w)'$. Como representação funcional da função de lucro restrita², adotada pelos produtores maximizadores do lucro agrícola, a seguinte forma funcional foi empregada:

$$\begin{aligned} \pi(p, z, g) = & a_0 + \sum_{i=1}^m a_i p_i^{1/2} + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} (p_i p_j)^{1/2} + \sum_{s=1}^q \sum_{d=1}^r b_{sd} (z_s g_d)^{1/2} + \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^q \sum_{t=1}^q b_{ist} p_i (z_s z_t)^{1/2} \\ & + \sum_{i=1}^m \sum_{d=1}^r \sum_{f=1}^r b_{idf} p_i (g_d g_f)^{1/2} \end{aligned} \quad (4)$$

Esta forma funcional, conhecida como Generalizada de Leontief (GL)³ e elaborada por Diewert (1973), é bastante utilizada em estudos empíricos por ser localmente flexível, continuamente diferenciável e muito menos restritiva⁴ que a Cobb-Douglas ou a CES (Lang, 1999). Além disso, a GL permite a inclusão de maneira simplificada de restrições visando assegurar simetria entre os coeficientes dos preços cruzados, homogeneidade linear dos preços e dos fatores fixos e convexidade dos preços das variáveis dadas por $m = m^d + m^s$.

Para a imposição de homogeneidade linear em (4) devem valer as seguintes restrições:

$$\begin{aligned} a_0 &= 0 \\ a_i &= 0 \text{ para } i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (5)$$

¹ Fatores fixos delimitam o conjunto de possibilidades de produção, restringindo o problema de maximização de lucros dos proprietários agrícolas.

² Ver anexo V para função de lucro restrito.

³ Ver anexo VII para formas funcionais da função de lucro restrito.

⁴ A forma funcional GL, ao contrário da CES ou Cobb-Douglas, não impõe restrições *a priori* no caminho de expansão da renda (não existe necessidade que a função de tecnologia seja homotética), na elasticidade de substituição, e nos efeitos de escala da tecnologia que se deseja analisar (Williamson, 2004).

$$b_{sd} = 0 \text{ para } s = 1, \dots, q \text{ e } d = 1, \dots, r$$

Já para que os pressupostos de simetria possam ser observados em (4), é importante a verificação de:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= a_{ji} \\ b_{ist} &= b_{its} \\ b_{idf} &= b_{ifd} \end{aligned} \quad (6)$$

Finalmente, para a obtenção de convexidade nos preços foi utilizado procedimento de autovalor (Talpaz et al., 1989). Como citado por Lang (1999), este se utiliza do fato de que todos os autovalores de uma matriz semi-definida positiva são não negativos. Adiciona-se, assim, a seguinte restrição não-linear a (4) para garantir convexidade local para o vetor de preços:

$$\min(\text{eig}[H(\beta, p^0)]) \geq 0 \quad (7)$$

com $H(\beta, p^0)$ igual à matriz hessiana da função de lucro, β igual ao vetor de parâmetros e p^0 representando o vetor com os valores médios de todos os preços de insumos e produtos agrícolas.

Em seguida à imposição das restrições acima citadas, puderam ser derivadas as equações de receita e custo dos m insumos e produtos considerados no modelo, seguindo o Lema de *Hotelling*⁵. Para tanto bastou derivar e multiplicar (4) por p_i , $i = 1, \dots, m$, obtendo-se:

$$h_i = \left(\frac{\partial \pi(p, z, g)}{\partial p_i} \right) p_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} (p_i p_j)^{1/2} + \sum_{s=1}^q \sum_{t=1}^q p_i b_{ist} (z_s z_t)^{1/2} + \sum_{d=1}^r \sum_{f=1}^r p_i b_{idf} (g_d g_f)^{1/2}$$

$$i = 1, \dots, m \quad (8)$$

Na equação (8), h_i representa o valor da receita obtido por meio do problema de maximização de lucros para todos os insumos e produtos considerados, com valores negativos representando o custo dos insumos. O lucro total é representado pela soma de todos os h_i . Dessa maneira:

⁵ Usando o Lema de *Hottelling* é possível derivar a função de lucro restrita para obter as quantidades de insumo e produto que maximizam o lucro do produtor. Ver anexo V e VI para maiores detalhes.

$$\pi = \sum_{i=1}^m h_i \quad (9)$$

Outra implicação importante da forma funcional flexível da função de lucro em (4) é que esta permite a realização de testes para verificar as hipóteses básicas deste trabalho, de que variáveis climáticas e investimento agrícola afetam as possibilidades de produção de culturas e, conseqüentemente, as quantidades totais de insumos e produtos, m . Isto porque a equação (4) exhibe vasta gama de interações entre as variáveis p e z e p e g .

Três foram os testes realizados no que diz respeito às variáveis climáticas e à variável de investimento agrícola.

O primeiro teve como objetivo inferir se o clima exerce influência considerável no processo de produção agrícola. Tal teste é equivalente à hipótese em (10).

$$b_{ist} = 0; \quad i = 1, \dots, m; \quad s, t = 1, \dots, q \quad (10)$$

Hipótese semelhante para testar se o investimento agrícola afeta o valor e o *mix* de bens agrícolas é descrita por:

$$b_{idf} = 0; \quad i = 1, \dots, m; \quad d, f = 1, \dots, r \quad (11)$$

Por fim, teve-se como intenção verificar a separabilidade dos m^s produtos ofertados. Se vale a separabilidade, então é plausível afirmar que a quantidade ofertada de bens agrícolas é independente do preço dos insumos. A não rejeição da hipótese de separabilidade de m^s , representada por (12) e extraídas de Livernois e Ryan (1989), implica que clima e tecnologia somente têm influência sobre o nível agregado de produto ofertado m^s , uma vez que estes são independentes dos preços dos insumos.

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial \pi / \partial p_i}{\partial \pi / \partial p_j} \right)}{\partial p_e} = 0 \quad (12)$$

$$\forall p_i, p_j \in p^s, \quad i \neq j;$$

Indicando os resultados dos testes um impacto estatisticamente significativo do clima e do investimento sobre a atividade agrícola, procurou-se medir a importância econômica dessas variáveis por meio do cálculo da variação de valor da função lucro induzida por mudanças dessas variáveis. Definiu-se, por isso, x^0 e x^1 como os vetores de variáveis climáticas e de investimento correntes e projetadas, respectivamente. Isto, combinado com o uso de vetores de preços e investimento correntes, possibilitou o cálculo de (13), igual à variação da lucratividade estimada para a atividade agrícola por alterações de clima e investimento.

$$\Delta\pi^{x^0x^1} = \pi(p, x^1) - \pi(p, x^0) \quad (13)$$

A fórmula em (13) permite avaliação monetária de uma mudança em uma ou várias variáveis de clima e de investimento, além de variações simultâneas em p e x .

Apesar de não ser do escopo deste trabalho, variações nos preços podem ser interessantes já que, conforme citado por Kane et al. (1992), o aquecimento global pode reduzir a oferta de alimento e aumentar, dessa maneira, seus preços.

Vale notar ainda que manipulações algébricas da equação (13), expostas pela equação (14), tornam possível medir a reação das quantidades de produtos ofertados e de fatores de produção demandados às variações dos vetores em x .

$$\Delta q_i^{x^0x^1} = \frac{\left(\frac{\partial \pi(p, x^1)}{\partial p_i} \right) - \left(\frac{\partial \pi(p, x^0)}{\partial p_i} \right)}{\frac{\partial \pi(p, x^0)}{\partial p_i}}, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (14)$$

IV - Dados

Fontes e metodologia empregada

Micro-dados em *cross-section* serviram como suporte empírico para a realização da pesquisa. Não foram utilizados dados em painel, que poderiam gerar resultados mais precisos, por motivos de incompatibilidade de dados entre diferentes Censos agrícolas. A unidade empregada para realização do *cross-section* foi a de municípios⁶, o que possibilitou a obtenção de até 5524 observações para cada um dos vetores do modelo.

O conjunto de dados usados para a estimação pode ser dividido em quatro partes: variáveis agro-econômicas, medindo quantidades e preços das m categorias de produtos agrícolas, dados de clima e precipitação correntes, projeções sobre condições de clima e precipitação e dados de investimentos em pesquisa agrícola. Os dados agro-econômicos e de investimento agrícola foram extraídos do Censo Agrícola Brasileiro de 2006, produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já os dados de temperatura e precipitação foram cedidos pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) e derivam do conjunto de dados produzido pelo Centro de Pesquisa Climática da Universidade de *East Anglia*.

As variáveis agro-econômicas, representadas por vetores de preço e valor, foram selecionadas visando abranger insumos e produtos agrícolas de maior relevância atualmente cultivados em terras brasileiras. Os produtos agrícolas escolhidos, por isso, foram as culturas do algodão, arroz, banana, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, mandioca, milho, soja e trigo, enquanto os insumos selecionados foram trabalho, terra, máquinas e capital.

Foram utilizados como *proxy* para o preço dos produtos agrícolas o preço do quilograma, igual ao valor da produção dividido pela quantidade em quilogramas produzida em cada unidade de observação. Para a variável trabalho, o preço foi obtido pela divisão das despesas com salários de trabalhadores agrícolas pelo número de trabalhadores agrícolas. Como *proxy* para o preço da terra, por sua vez, utilizou-se a razão entre as variáveis despesa com arrendamento de terra e quantidade de hectares arrendados. No caso da variável máquina e equipamentos, o procedimento adotado para obtenção do preço foi o de dividir as despesas com aluguel de máquinas pela quantidade

⁶ No trabalho foram empregadas observações de municípios para os quais existem plantações de culturas de acordo com o Censo 2006.

de máquinas alugadas. Finalmente, como *proxy* para a variável preço do capital, igual à taxa de juros, foi empregada a razão entre as despesas com juros bancários e o valor dos financiamentos obtidos para atividades agrícolas.

Baseando-se nas variáveis de preço, foram definidos os vetores de receita e custo, iguais às variáveis dependentes do modelo. Para a receita dos produtos agrícolas, utilizou-se o valor da produção de cada cultura. Já para o custo do trabalho, da terra, das máquinas e equipamentos e do capital, as variáveis empregadas foram, respectivamente, gastos com trabalho agrícola, hectares de terra utilizados para atividade agrícola multiplicados pelo preço de arrendamento⁷, número de máquinas e equipamentos existentes nos estabelecimentos agropecuários multiplicados pelo preço de aluguel das máquinas e equipamentos⁸ e valor dos financiamentos agrícolas obtidos.

Para os valores de clima projetados, foram utilizados dados do Modelo de Circulação Geral (MCG) de Hadley⁹. O modelo prediz temperatura diária e precipitação dadas as especificações de parâmetros contidos nos cenários A2 e B2 de concentração de GEEs¹⁰, exibidos no Terceiro relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2001). Dos dados obtidos foram calculadas médias para quatro períodos de tempo; de 1970 a 2000, considerado o cenário *atual*, de 2010 a 2039, igual à previsão de curto prazo, de 2040 a 2069, representando a previsão de médio prazo, e de 2070 a 2099, para o longo prazo. A separação em períodos de tempo se justifica, de acordo com Féres et al. (2008), porque “períodos de tempo permitem captar a tendência geral, que é mais interessante que projeções ano a ano, com possíveis *outliers*”.

Estatísticas descritivas

A tabela 3, do Anexo I, resume informações relevantes sobre a receita e o custo dos

⁷ Para os municípios nos quais a prática do arrendamento é inexistente, foi impossível calcular um *preço* para o valor do estabelecimento. Por isto, para estes, o preço foi estabelecido por meio de extrapolação de preços de estabelecimentos localizados nas proximidades possibilitando, dessa maneira, o cálculo do custo da terra para localidades nas quais não é comum o arrendamento. Procedimento semelhante foi realizado para a obtenção do custo das máquinas e equipamentos, já que, em alguns municípios, a prática de alugá-los não ocorre.

⁸ Vide nota de rodapé 7.

⁹ Ver Féres et al. (2009) para referências mais precisas a respeito do modelo de MCG de Hadley2, derivado do conjunto de dados produzido pelo Centro de Pesquisa Climática da Universidade de *East Anglia*.

¹⁰ O cenário A2 é pessimista no que diz respeito às emissões de GEEs, enquanto o cenário B2 é mais otimista (Para mais informações, ver IPCC, 2001).

produtos e insumos agrícolas do modelo e sobre o lucro agrícola, igual a receita advinda dos produtos cultivados menos o custo dos insumos.

De acordo com a metodologia utilizada por este trabalho, o gasto com insumos é mais expressivo nas regiões Sudeste e Sul. A receita dos produtos agrícolas também é gerada de maneira mais intensa nas regiões Sudeste e Sul já que estas produzem em maior escala os produtos responsáveis pela maior geração de receita agrícola, quais sejam, a cana-de-açúcar, a soja e o milho. As regiões Nordeste e Norte produzem em maior quantidade as culturas consideradas de subsistência tais como mandioca, banana e feijão, geradoras de menor valor comparativamente àquelas produzidas nas demais regiões.

Fato importante é que a medida de lucratividade, também exposta na tabela 3, Anexo I, leva em consideração somente os insumos e produtos considerados neste trabalho enquanto deveria considerar todos os insumos e produtos agrícolas da economia brasileira. Vale notar, contudo, que os produtos agrícolas escolhidos geram receita agrícola equivalente a 86,7% da receita agrícola total de acordo com o Censo Agrícola 2006 sendo, portanto, bastante representativos. Também o custo dos insumos considerados constitui amostra representativa do custo agrícola total, já que foram selecionadas matérias primas básicas indispensáveis para o cultivo de todos os produtos agrícolas selecionados.

Ponto de resalta é que, visando adequar o custo dos insumos à receita dos produtos, de maneira a tornar a medida de lucratividade mais condizente e melhor adequada aos dados, este foi multiplicado pela razão entre a receita agrícola obtida com os 12 produtos considerados e a receita agrícola total em nível municipal, mantendo-se a proporcionalidade do custo de cada insumo no custo total. Adota-se com este procedimento, entretanto, a hipótese de que o custo dos insumos reflete de maneira proporcional a receita dos produtos. Como tal hipótese é passível de refutação, recomenda-se levar em consideração mais a variação do lucro induzida pelo aquecimento do que o valor monetário deste.

A tabela 4, do Anexo I, por sua vez, descreve a variável de investimento agrícola. Os investimentos agrícolas são mais representativos nas regiões Sudeste e Sul, com participações percentuais de, respectivamente, 33,4% e 27,7% do valor total investido. Em seguida, destaque para as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, com percentuais

de 17,6%, 12,9% e 8,4%.

Já a tabela 5, Anexo I, descreve os valores de temperatura e precipitação atuais e futuros para cada uma das regiões brasileiras nos cenários A2, pessimista quanto às emissões futuras de GEEs, e B2, mais otimista. Percebe-se que ambas as variáveis, temperatura e precipitação, aumentam para todas as regiões de acordo com a elevação da emissão de GEEs prevista. As regiões que atingem a maior temperatura média em todos os períodos considerados são a Norte e a Nordeste, seguidas pelas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Em termos de precipitação, a região Norte alcança os maiores níveis médios de mm/mês também em todos os cenários considerados. Em seguida, em ordem decrescente de pluviosidade, encontram-se as regiões Sul, Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste.

V - Estimação e Resultados

Para estimar a equação demonstrada em (8), igual à receita/custo de cada produto/insumo m , foi empregado o modelo de *Seemly Unrelated Regression* (SUR). O SUR permite estimar, conjuntamente, as m equações, semelhantes ao número de produtos e insumos agrícolas, para as i observações, levando em consideração a informação presente na matriz de variância-covariância dos termos de erro das equações, correlacionados entre si (Cameron e Trivedi, 2008). A estimação, realizada por ML¹¹, garantiu a ocorrência de iterações sobre a matriz de variância-covariância e sobre os parâmetros estimados até a convergência, além da convexidade dos preços imposta por (7)¹². As restrições (5) e (6) também foram impostas.

Ponto importante é que, no processo de estimação, procurou-se corrigir o viés negativo do enfoque agrônômico citado por Mendelson et al. (1999) e Féres et al. (2008) por meio da inclusão de *dummies* visando controlar características e variáveis regionais omitidas pelo modelo. O procedimento foi similar ao empregado por Deschênes et al. (2007) no enfoque ricardiano para a correção do viés de variável omitida¹³.

As equações estimadas foram todas altamente significativas, mostrando que os resultados têm grande relevância estatística¹⁴. Além disso, os testes de razão de verossimilhança (LR) realizados para verificar as hipóteses de (10), (11) e (12) permitiram rejeitar ao nível de 1% as hipóteses nulas, de que as condições de clima são irrelevantes para determinação do valor dos produtos e insumos agrícola, de que o investimento agrícola é irrelevante para o valor dos produtos e insumos agrícolas e de que a quantidade ofertada de bens agrícolas independe dos preços dos insumos conforme tabela 1, abaixo. A rejeição de todas as hipóteses nulas testadas comprova a viabilidade do modelo e da forma funcional escolhidos para a estimação do SUR.

¹¹ Preferiu-se estimar o modelo por ML (iteraões) ao invés de *Feasible Generalized Least Squares* (modelo de dois estágios) uma vez que o estimador de ML é o melhor estimador se a função densidade é corretamente especificada. Por melhor estimador, entende-se que não existe nenhum outro estimador com matriz de variância-covariância assintótica menor do que a estimada (Cameron e Trivedi, 2008).

¹² Iteraões somente ocorrem se a matriz hessiana é semi-definida positiva.

¹³ Embora este trabalho tenha utilizado o enfoque agrônômico, conforme já anteriormente citado.

¹⁴ Ver anexo II, tabela 6, para significância das equações e tabela 7 para significância e valores das elasticidades.

Tabela 1 - Teste LR das hipóteses de relevância e separabilidade

Hipótese nula	Estatística LR	Resultado
Condições de clima são irrelevantes	7687.73	Rejeita a hipótese nula
Investimento agrícola é irrelevante	2926.09	Rejeita a hipótese nula
Separabilidade dos produtos agrícolas	3424.67	Rejeita a hipótese nula

Fonte: Elaboração própria.

Resultados obtidos mantendo a variável de investimento agrícola constante

A seguir, são apresentados os impactos resultantes de uma mudança climática sobre a receita dos produtos, sobre o custo dos insumos, sobre o *mix* de produtos e insumos e sobre a lucratividade para cada região brasileira em todos os períodos de tempo e cenários considerados. A variável investimento, neste caso, foi mantida constante.

Tabela 2 - Resultados da estimação por SUR/ML

	Atual	Cenário A2			Cenário B2		
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
Custo da Terra (mil R\$)	16,986,197	17,656,449	18,280,205	18,804,050	17,592,877	18,151,165	18,423,167
%quantidade demandada		3.95%	7.62%	10.70%	3.57%	6.86%	8.46%
Norte	541,573	529,568	427,984	353,648	499,647	451,675	417,527
%		-2.22%	-20.97%	-34.70%	-7.74%	-16.60%	-22.90%
Nordeste	2,878,415	2,419,614	2,339,681	2,045,734	2,488,924	2,362,950	2,288,153
%		-15.94%	-18.72%	-28.93%	-13.53%	-17.91%	-20.51%
Sudeste	4,770,083	5,509,523	5,754,759	6,147,287	5,331,677	5,679,274	5,935,458
%		15.50%	20.64%	28.87%	11.77%	19.06%	24.43%
Sul	5,468,333	6,056,838	6,714,367	7,514,431	6,094,834	6,562,603	6,904,285
%		10.76%	22.79%	37.42%	11.46%	20.01%	26.26%
Centro-Oeste	3,327,793	3,140,907	3,043,414	2,742,950	3,177,796	3,094,663	2,877,743
%		-5.62%	-8.55%	-17.57%	-4.51%	-7.01%	-13.52%
Valor da Capital (mil R\$)	16,472,334	16,880,256	17,187,043	17,520,123	16,877,401	17,127,161	17,264,560
%quantidade demandada		2.48%	4.34%	6.36%	2.46%	3.98%	4.81%
Norte	553,368	517,017	518,792	481,255	530,551	524,049	498,275
%		-6.57%	-6.25%	-13.03%	-4.12%	-5.30%	-9.96%
Nordeste	2,140,692	2,038,269	1,889,429	1,655,455	2,033,642	1,932,146	1,804,971
%		-4.78%	-11.74%	-22.67%	-5.00%	-9.74%	-15.68%
Sudeste	5,392,175	5,717,270	6,000,897	6,411,893	5,694,179	5,909,191	6,138,425
%		6.03%	11.29%	18.91%	5.60%	9.59%	13.84%
Sul	5,537,777	5,960,747	6,357,736	6,896,580	5,970,903	6,259,572	6,508,538
%		7.64%	14.81%	24.54%	7.82%	13.03%	17.53%
Centro-Oeste	2,848,321	2,646,952	2,420,188	2,074,941	2,648,125	2,502,203	2,314,351
%		-7.07%	-15.03%	-27.15%	-7.03%	-12.15%	-18.75%
Valor das Máquinas (mil R\$)	7,973,414	8,332,256	8,643,566	9,269,319	8,377,461	8,530,871	8,871,327
%quantidade demandada		4.50%	8.40%	16.25%	5.07%	6.99%	11.26%
Norte	113,172	102,641	103,141	91,836	106,536	104,686	97,273
%		-9.30%	-8.86%	-18.85%	-5.86%	-7.50%	-14.05%
Nordeste	748,077	718,870	681,487	620,861	717,843	691,623	658,815
%		-3.90%	-8.90%	-17.01%	-4.04%	-7.55%	-11.93%
Sudeste	3,491,811	3,626,365	3,930,656	4,379,808	3,695,197	3,833,161	4,056,873
%		3.85%	12.57%	25.43%	5.82%	9.78%	16.18%
Sul	2,243,212	2,564,018	2,669,409	3,008,862	2,535,099	2,621,180	2,828,772
%		14.30%	19.00%	34.13%	13.01%	16.85%	26.10%
Centro-Oeste	1,377,142	1,320,362	1,258,873	1,167,952	1,322,787	1,280,221	1,229,593
%		-4.12%	-8.59%	-15.19%	-3.95%	-7.04%	-10.71%
Valor do Trabalho (mil R\$)	17,258,907	16,882,434	17,280,755	17,367,208	16,899,218	17,230,800	17,256,173
%quantidade demandada		-2.18%	0.13%	0.63%	-2.08%	-0.16%	-0.02%
Norte	640,796	598,817	585,345	531,908	609,524	595,325	561,104
%		-6.55%	-8.65%	-16.99%	-4.88%	-7.10%	-12.44%
Nordeste	2,861,159	2,544,184	2,530,496	2,365,342	2,587,190	2,537,351	2,505,913
%		-11.08%	-11.56%	-17.33%	-9.58%	-11.32%	-12.42%
Sudeste	7,650,454	8,157,852	8,476,644	8,889,970	8,066,803	8,393,427	8,629,164
%		6.63%	10.80%	16.20%	5.44%	9.71%	12.79%
Sul	3,321,647	2,978,618	3,266,697	3,460,920	3,026,599	3,217,605	3,245,475
%		2.64%	12.56%	19.25%	4.29%	10.87%	11.83%
Centro-Oeste	2,784,851	2,602,962	2,421,573	2,119,067	2,609,103	2,487,093	2,314,518
%		-6.53%	-13.04%	-23.91%	-6.31%	-10.69%	-16.89%
Valor dos Insumos (mil R\$)	58,690,852	59,751,395	61,391,569	62,960,700	59,746,958	61,039,997	61,815,226
%quantidade demandada		1.81%	4.60%	7.28%	1.80%	4.00%	5.32%
Norte	1,848,909	1,748,043	1,635,262	1,458,646	1,746,258	1,675,734	1,574,179
%		-5.46%	-11.56%	-21.11%	-5.55%	-9.37%	-14.86%
Nordeste	8,628,343	7,720,937	7,441,093	6,687,392	7,827,598	7,524,070	7,257,852
%		-10.52%	-13.76%	-22.50%	-9.28%	-12.80%	-15.88%
Sudeste	21,304,523	23,011,011	24,162,957	25,828,958	22,787,856	23,815,054	24,759,920
%		8.01%	13.42%	21.24%	6.96%	11.78%	16.22%
Sul	16,570,969	17,560,221	19,008,210	20,880,793	17,627,435	18,660,960	19,487,070
%		5.97%	14.71%	26.01%	6.38%	12.61%	17.60%
Centro-Oeste	10,338,107	9,711,183	9,144,048	8,104,910	9,757,811	9,364,180	8,736,205
%		-6.06%	-11.55%	-21.60%	-5.61%	-9.42%	-15.50%

Tabela 2 – Resultados da estimação por SUR/ML (continuação)

	Atual	Cenário A2			Cenário B2		
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
Valor do Algodão (mil R\$)	2,629,512	2,530,226	2,390,434	2,180,926	2,529,477	2,439,565	2,326,041
%quantidade ofertada		-3.78%	-9.09%	-17.06%	-3.80%	-7.22%	-11.54%
Norte	0	0	0	0	0	0	0
%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Nordeste	840,444	807,868	754,671	671,755	808,161	774,241	728,291
%		-3.88%	-10.21%	-20.07%	-3.84%	-7.88%	-13.34%
Sudeste	75,557	78,020	81,583	85,087	78,536	80,675	82,330
%		3.26%	7.98%	12.61%	3.94%	6.77%	8.96%
Sul	16,532	17,271	18,417	19,613	17,394	18,189	18,609
%		4.47%	11.40%	18.64%	5.22%	10.02%	12.56%
Centro-Oeste	1,696,979	1,627,066	1,535,763	1,404,472	1,625,385	1,566,461	1,496,811
%		-4.12%	-9.50%	-17.24%	-4.22%	-7.69%	-11.80%
Valor do Arroz (mil R\$)	4,513,788	4,543,547	4,612,508	4,604,771	4,559,958	4,614,145	4,570,862
%quantidade ofertada		0.66%	2.19%	2.02%	1.02%	2.22%	1.26%
Norte	653,366	605,098	579,177	514,788	612,923	591,723	550,097
%		-7.39%	-11.35%	-21.21%	-6.19%	-9.43%	-15.81%
Nordeste	955,321	923,410	857,538	764,039	918,790	878,938	825,825
%		-3.34%	-10.24%	-20.02%	-3.82%	-8.00%	-13.56%
Sudeste	107,202	111,115	115,216	120,966	111,092	114,010	116,946
%		3.65%	7.48%	12.84%	3.63%	6.35%	9.09%
Sul	2,595,396	2,712,227	2,874,512	3,035,471	2,723,584	2,840,375	2,900,192
%		4.50%	10.75%	16.96%	4.94%	9.44%	11.74%
Centro-Oeste	202,503	191,697	186,066	169,506	193,570	189,097	177,803
%		-5.34%	-8.12%	-16.29%	-4.41%	-6.62%	-12.20%
Valor do Banana (mil R\$)	5,046,053	4,981,164	4,698,517	4,266,457	4,926,517	4,753,901	4,501,001
%quantidade ofertada		-1.29%	-6.89%	-15.45%	-2.37%	-5.79%	-10.80%
Norte	173,668	168,085	157,580	144,889	166,606	160,926	153,939
%		-3.21%	-9.26%	-16.57%	-4.07%	-7.34%	-11.36%
Nordeste	3,314,215	3,187,505	2,849,603	2,373,106	3,142,524	2,914,815	2,646,864
%		-3.82%	-14.02%	-28.40%	-5.18%	-12.05%	-20.14%
Sudeste	1,115,776	1,177,413	1,220,091	1,262,334	1,166,309	1,210,996	1,231,794
%		5.52%	9.35%	13.14%	4.53%	8.53%	10.40%
Sul	380,270	389,113	414,153	435,501	393,745	409,264	415,732
%		2.33%	8.91%	14.52%	3.54%	7.62%	9.33%
Centro-Oeste	62,124	59,048	57,091	50,626	57,333	57,899	52,671
%		-4.95%	-8.10%	-18.51%	-7.71%	-6.80%	-15.22%
Valor do Café (mil R\$)	7,338,437	7,537,018	8,249,469	9,313,374	7,678,940	7,993,390	8,509,035
%quantidade ofertada		2.71%	12.41%	26.91%	4.64%	8.92%	15.95%
Norte	29,253	27,191	25,952	22,914	27,499	26,477	24,594
%		-7.05%	-11.29%	-21.67%	-5.99%	-9.49%	-15.93%
Nordeste	448,218	407,786	370,360	304,532	409,794	381,247	348,103
%		-9.02%	-17.37%	-32.06%	-8.57%	-14.94%	-22.34%
Sudeste	6,453,002	6,672,969	7,393,620	8,492,825	6,809,581	7,132,649	7,670,965
%		3.41%	14.58%	31.61%	5.53%	10.53%	18.87%
Sul	389,181	410,087	440,200	473,180	413,230	433,854	445,980
%		5.37%	13.11%	21.58%	6.18%	11.48%	14.59%
Centro-Oeste	18,783	18,986	19,338	19,923	18,835	19,163	19,393
%		1.08%	2.95%	6.07%	0.28%	2.02%	3.25%
Valor da Cana-de-açúcar (mil R\$)	18,475,772	18,996,968	19,558,469	20,251,914	18,989,925	19,389,760	19,728,913
%quantidade ofertada		2.82%	5.86%	9.61%	2.78%	4.95%	6.78%
Norte	26,599	25,521	22,423	18,859	25,230	23,405	21,654
%		-4.05%	-15.70%	-29.10%	-5.15%	-12.01%	-18.59%
Nordeste	3,262,661	3,181,012	3,077,289	2,905,575	3,175,968	3,094,398	3,004,193
%		-2.50%	-5.68%	-10.94%	-2.66%	-5.16%	-7.92%
Sudeste	12,217,567	12,826,629	13,450,556	14,323,766	12,809,034	13,264,396	13,723,709
%		4.99%	10.09%	17.24%	4.84%	8.57%	12.33%
Sul	1,078,010	1,116,593	1,193,417	1,260,782	1,126,462	1,179,003	1,196,949
%		3.58%	10.71%	16.95%	4.49%	9.37%	11.03%
Centro-Oeste	1,890,935	1,847,214	1,814,784	1,742,933	1,853,231	1,828,558	1,782,408
%		-2.31%	-4.03%	-7.83%	-1.99%	-3.30%	-5.74%

Tabela 2 – Resultados da estimação por SUR/ML (continuação)

	Atual	Cenário A2			Cenário B2		
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
Valor do Feijão (mil R\$)	1,050,754	973,515	955,166	901,480	1,001,222	963,902	950,515
%quantidade ofertada		-7.35%	-9.10%	-14.21%	-4.71%	-8.27%	-9.54%
Norte	32,595	28,960	28,818	24,827	30,275	29,422	26,595
%		-11.15%	-11.59%	-23.83%	-7.12%	-9.74%	-18.41%
Nordeste	390,164	318,299	282,360	212,366	324,391	290,795	267,828
%		-18.42%	-27.63%	-45.57%	-16.86%	-25.47%	-31.35%
Sudeste	337,198	343,340	366,080	404,824	346,817	357,035	376,603
%		1.82%	8.57%	20.06%	2.85%	5.88%	11.69%
Sul	167,810	172,878	189,294	201,073	175,392	186,480	188,520
%		3.02%	12.80%	19.82%	4.52%	11.13%	12.34%
Centro-Oeste	122,987	110,038	88,613	58,390	124,348	100,169	90,969
%		-10.53%	-27.95%	-52.52%	1.11%	-18.55%	-26.03%
Valor do Fumo (mil R\$)	2,879,868	3,278,131	3,275,154	3,581,850	3,198,685	3,239,380	3,480,364
%quantidade ofertada		13.83%	13.73%	24.38%	11.07%	12.48%	20.85%
Norte	994	896	869	746	930	891	807
%		-9.81%	-12.55%	-24.98%	-6.45%	-10.37%	-18.77%
Nordeste	91,789	80,732	75,524	67,333	82,062	76,360	75,627
%		-12.05%	-17.72%	-26.64%	-10.60%	-16.81%	-17.61%
Sudeste	1,578	1,666	1,707	1,758	1,648	1,697	1,731
%		5.55%	8.17%	11.40%	4.44%	7.51%	9.69%
Sul	2,785,446	3,194,784	3,197,007	3,511,973	3,113,988	3,160,383	3,402,148
%		14.70%	14.78%	26.08%	11.79%	13.46%	22.14%
Centro-Oeste	61	53	47	41	57	50	50
%		-12.66%	-22.72%	-33.07%	-7.08%	-17.62%	-17.80%
Valor da Laranja (mil R\$)	4,174,756	4,138,245	4,147,349	4,102,457	4,150,158	4,147,708	4,110,500
%quantidade ofertada		-0.87%	-0.66%	-1.73%	-0.59%	-0.65%	-1.54%
Norte	60,385	55,071	53,209	46,365	56,538	54,448	50,018
%		-8.80%	-11.88%	-23.22%	-6.37%	-9.83%	-17.17%
Nordeste	675,031	628,108	576,565	488,409	627,926	589,135	544,060
%		-6.95%	-14.59%	-27.65%	-6.98%	-12.72%	-19.40%
Sudeste	3,071,484	3,092,592	3,123,116	3,165,022	3,096,920	3,113,617	3,133,752
%		0.69%	1.68%	3.05%	0.83%	1.37%	2.03%
Sul	349,714	345,278	379,073	389,938	352,787	374,647	368,698
%		-1.27%	8.40%	11.50%	0.88%	7.13%	5.43%
Centro-Oeste	18,142	17,196	15,387	12,722	15,986	15,861	13,972
%		-5.21%	-15.19%	-29.87%	-11.88%	-12.57%	-22.98%
Valor do Mandioca (mil R\$)	3,683,827	3,340,126	3,248,490	2,970,145	3,407,554	3,283,088	3,177,945
%quantidade ofertada		-9.33%	-11.82%	-19.37%	-7.50%	-10.88%	-13.73%
Norte	876,203	762,575	723,993	579,929	792,692	750,434	656,843
%		-12.97%	-17.37%	-33.81%	-9.53%	-14.35%	-25.04%
Nordeste	1,464,313	1,190,294	1,127,020	932,566	1,228,756	1,143,403	1,089,576
%		-18.71%	-23.03%	-36.31%	-16.09%	-21.92%	-25.59%
Sudeste	285,238	294,577	320,853	358,162	300,253	312,661	330,889
%		3.27%	12.49%	25.57%	5.26%	9.61%	16.00%
Sul	906,294	953,257	947,650	988,586	944,369	943,593	978,322
%		5.18%	4.56%	9.08%	4.20%	4.12%	7.95%
Centro-Oeste	151,779	139,423	128,975	110,903	141,484	132,997	122,315
%		-8.14%	-15.02%	-26.93%	-6.78%	-12.37%	-19.41%
Valor do Milho (mil R\$)	11,359,560	11,352,652	11,787,465	11,898,083	11,451,837	11,730,571	11,666,775
%quantidade ofertada		-0.06%	3.77%	4.74%	0.81%	3.27%	2.70%
Norte	264,248	253,040	239,542	219,176	252,555	244,319	232,595
%		-4.24%	-9.35%	-17.06%	-4.42%	-7.54%	-11.98%
Nordeste	1,812,202	1,657,825	1,600,156	1,452,551	1,673,895	1,617,129	1,558,767
%		-8.52%	-11.70%	-19.85%	-7.63%	-10.76%	-13.98%
Sudeste	2,381,694	2,481,038	2,539,498	2,601,626	2,464,111	2,526,399	2,564,655
%		4.17%	6.63%	9.23%	3.46%	6.08%	7.68%
Sul	4,629,782	4,752,439	5,206,533	5,520,902	4,828,663	5,128,487	5,180,263
%		2.65%	12.46%	19.25%	4.30%	10.77%	11.89%
Centro-Oeste	2,271,634	2,208,310	2,201,735	2,103,828	2,232,612	2,214,236	2,130,495
%		-2.79%	-3.08%	-7.39%	-1.72%	-2.53%	-6.21%

Tabela 2 – Resultados da estimação por SUR/ML (continuação)

	Atual	Cenário A2			Cenário B2		
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
Valor da Soja (mil R\$)	16,970,009	17,088,307	16,959,452	16,753,635	17,098,633	17,025,659	16,876,534
%quantidade ofertada		0.70%	-0.06%	-1.28%	0.76%	0.33%	-0.55%
Norte	246,073	207,180	186,770	133,559	214,689	197,680	164,775
%		-15.81%	-24.10%	-45.72%	-12.75%	-19.67%	-33.04%
Nordeste	1,281,337	1,153,280	883,392	492,601	1,146,220	975,238	759,470
%		-9.99%	-31.06%	-61.56%	-10.54%	-23.89%	-40.73%
Sudeste	1,092,399	1,197,034	1,298,659	1,440,335	1,194,501	1,266,689	1,342,083
%		9.58%	18.88%	31.85%	9.35%	15.95%	22.86%
Sul	7,461,754	7,839,953	8,018,426	8,438,684	7,814,876	7,954,874	8,198,766
%		5.07%	7.46%	13.09%	4.73%	6.61%	9.88%
Centro-Oeste	6,888,446	6,690,860	6,572,205	6,248,456	6,728,347	6,631,177	6,411,441
%		-2.87%	-4.59%	-9.29%	-2.32%	-3.73%	-6.92%
Valor do Trigo (mil R\$)	880,271	917,163	938,816	981,249	915,763	932,394	955,386
%quantidade ofertada		4.19%	6.65%	11.47%	4.03%	5.92%	8.53%
Norte	1,134	970	846	595	995	894	740
%		-14.47%	-25.39%	-47.49%	-12.25%	-21.13%	-34.71%
Nordeste	97	53	43	29	62	44	45
%		-45.19%	-55.65%	-69.67%	-36.34%	-54.47%	-53.29%
Sudeste	43,353	41,635	39,419	37,060	41,513	39,931	38,958
%		-3.96%	-9.07%	-14.52%	-4.24%	-7.89%	-10.14%
Sul	813,151	853,839	879,863	927,250	852,291	872,171	897,464
%		5.00%	8.20%	14.03%	4.81%	7.26%	10.37%
Centro-Oeste	22,536	20,665	18,646	16,315	20,903	19,354	18,179
%		-8.30%	-17.26%	-27.60%	-7.24%	-14.12%	-19.34%
Valor dos Produtos (mil R\$)	79,002,607	79,677,061	80,821,288	81,806,341	79,908,670	80,513,462	80,853,870
%quantidade ofertada		0.85%	2.30%	3.55%	1.15%	1.91%	2.34%
Norte	2,364,518	2,134,586	2,019,179	1,706,647	2,180,933	2,080,621	1,882,658
%		-9.72%	-14.61%	-27.82%	-7.76%	-12.01%	-20.38%
Nordeste	14,535,792	13,536,172	12,454,519	10,664,862	13,538,550	12,735,743	11,848,648
%		-6.88%	-14.32%	-26.63%	-6.86%	-12.38%	-18.49%
Sudeste	27,182,048	28,318,029	29,950,396	32,293,763	28,420,316	29,420,755	30,614,414
%		4.18%	10.18%	18.81%	4.56%	8.24%	12.63%
Sul	21,573,340	22,757,718	23,758,544	25,202,953	22,756,781	23,501,320	24,191,643
%		5.49%	10.13%	16.82%	5.49%	8.94%	12.14%
Centro-Oeste	13,346,909	12,930,556	12,638,649	11,938,115	13,012,091	12,775,022	12,316,506
%		-3.12%	-5.31%	-10.56%	-2.51%	-4.28%	-7.72%
Lucro (mil R\$)	20,311,755	19,925,666	19,429,719	18,845,641	20,161,713	19,473,465	19,038,644
%lucratividade		-1.90%	-4.34%	-7.22%	-0.74%	-4.13%	-6.27%
Norte	515,609	386,543	383,917	248,001	434,675	404,887	308,479
%		-25.03%	-25.54%	-51.90%	-15.70%	-21.47%	-40.17%
Nordeste	5,907,449	5,815,235	5,013,427	3,977,470	5,710,952	5,211,673	4,590,797
%		-1.56%	-15.13%	-32.67%	-3.33%	-11.78%	-22.29%
Sudeste	5,877,525	5,307,018	5,787,440	6,464,805	5,632,460	5,605,701	5,854,493
%		-9.71%	-1.53%	9.99%	-4.17%	-4.62%	-0.39%
Sul	5,002,371	5,197,497	4,750,335	4,322,160	5,129,346	4,840,360	4,704,574
%		3.90%	-5.04%	-13.60%	2.54%	-3.24%	-5.95%
Centro-Oeste	3,008,802	3,219,373	3,494,601	3,833,205	3,254,280	3,410,843	3,580,302
%		7.00%	16.15%	27.40%	8.16%	13.36%	18.99%

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados apresentados na tabela 2, para o Brasil como um todo, mostram um aumento da receita e do custo agrícola para ambos os cenários em todos os períodos de tempo. Isto ocorre porque o aumento da produção e do custo dos insumos na região Sudeste e Sul mais que superam a queda da produção e do custo dos insumos nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Valem ainda serem destacados três pontos de importância no que diz respeito à análise dos resultados apresentados na tabela 2.

Primeiramente, acredita-se que tais resultados, comparativamente aos resultados obtidos

por Féres et al. (2008) com o uso do enfoque ricardiano, superam o viés de superestimação das perdas agrícolas induzido pelo modelo agronômico. Por exemplo, o trabalho de Féres et al. (2008), no cenário A2, prevê queda de lucratividade agrícola de 65% e 75% nas regiões Norte e Centro-Oeste, respectivamente, no longo prazo. Estes resultados são bastante superiores aos encontrados por este trabalho, que, para o mesmo cenário e período de tempo, mostram uma queda de lucratividade agrícola de 51% para a região Norte, e um aumento de 27% desta para a região Centro-Oeste¹⁵.

Como segundo ponto, é importante notar que, embora tenha ocorrido aumento da receita agrícola no Brasil como um todo em todos os cenários e períodos, há uma queda do lucro também para todos os cenários e períodos, sendo, portanto, negativo o impacto do aquecimento sobre a lucratividade agrícola quando não considerados possíveis efeitos de mitigação do investimento agrícola. No cenário A2 de longo prazo, a queda de lucratividade é de 7,2%, para R\$ 18,8 bilhões. Este resultado, contudo, varia de acordo com a região¹⁶. A variação da lucratividade agrícola gerada pelo aquecimento foi negativa para as regiões Norte, Nordeste e Sul, mas positiva para as regiões Sudeste e Centro-Oeste. No caso das regiões Norte e Nordeste, a queda da receita de produção superou a queda do custo dos insumos. Na região Sul, ao contrário, o aumento da receita produtiva foi superado pelo aumento dos custos. Já na região Sudeste, o aumento da produção superou o aumento do custo dos insumos, no longo prazo, e na Centro-Oeste, a queda do custo dos insumos foi superior a queda da receita. Saem mais prejudicadas, portanto, as regiões Norte e Nordeste que, além de terem quedas de receita agrícola significativas, em linha com o que ocorre no Centro-Oeste, experimentam também uma queda de lucratividade. O resultado é similar aqueles encontrados por Evenson e Alves (1998) e Féres et al. (2008).

Terceiro ponto de destaque, semelhante ao encontrado por Féres et al. (2009), é o de que enquanto no curto e médio prazo são observados resultados mais equilibrados para ambos os cenários analisados, é no longo prazo que as magnitudes das previsões de variação de receita e custo agrícola tornam-se mais significantes, sobretudo no cenário A2. Apesar disso, no cenário B2 de longo prazo ocorrem quedas percentuais de

¹⁵ A diferença significativa entre os resultados pode ser explicada pela redução do custo dos insumos, não considerada no trabalho de Féres et al. (2009), além de uma redução de receita inferior a encontrada pelos autores.

¹⁶ Ver figura 1, anexo II, para verificar a variação da lucratividade, da receita e do custo agrícola por municípios no cenário A2 de longo prazo comparativamente ao cenário atual.

lucratividade quase similares aquelas encontradas no cenário A2, pelo aumento menos que proporcional da receita dos produtos agrícolas relativamente ao custo dos insumos. Uma vez podendo o cenário B2 ser considerado uma suavização dos resultados encontrados para o cenário A2, pelas variações climáticas menos bruscas, tal resultado corrobora a hipótese de que a possibilidade de aumento da receita dos produtos agrícolas gerada pela variação climática leva à crescente demanda por insumos, ocorrendo a elevação do custo destes anteriormente ao aumento do valor da produção.

A seguir, foram descritos resultados mais específicos¹⁷, primeiramente para a variação do custo e *mix* dos insumos e, logo após, para a variação da receita e *mix* dos produtos agrícolas.

Percebe-se um aumento generalizado do custo dos insumos para as regiões Sul e Sudeste. O fenômeno pode ser explicado pelo aumento da produção agrícola nestas regiões já que, uma vez crescente a receita obtida com produtos agrícolas, maior a demanda por terras, capital, máquinas e equipamentos. As elasticidades de temperatura e precipitação em relação ao custo dos insumos foram positivas em sua maioria, com exceção de algumas elasticidades de precipitação encontradas para a região Sul¹⁸. Já nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, as elasticidades de temperatura e precipitação em relação ao custo dos insumos apresentaram, em sua maioria, sinais negativos, indicando redução da demanda por terras, capital, máquinas e trabalho, em linha com a redução da receita agrícola estimada. Exceção vale para algumas elasticidades encontradas para a região Nordeste, na qual o aumento da precipitação gerou efeito positivo sobre o custo dos insumos¹⁹. Para o Brasil como um todo, é o custo das máquinas e equipamentos, seguido do custo da terra, que mais aumentam. Isto indica uma mudança no *mix* de insumos utilizados para o cultivo agrícola, passando este a ser mais mecanizado, dependendo menos da mão-de-obra. Uma hipótese para explicar tal resultado é a queda da produtividade do trabalho, reflexo possível da menor adaptação de trabalhadores comparativamente a máquinas agrícolas ao cenário climático adverso. Já o aumento do custo da terra, refletindo um aumento de demanda, pode ser justificado pela deterioração das condições de plantio de algumas áreas, mais aptas para o cultivo

¹⁷ Elasticidades para chegar aos resultados da tabela 2 estão expostos na tabela 7, anexo II.

¹⁸ Uma hipótese para explicar este resultado é a de que a Região Sul já apresenta, no cenário atual, altos índices de pluviosidade.

¹⁹ O resultado está em linha com o esperado, já que a região Nordeste apresenta, no cenário atual, os menores índices de pluviosidade dentre todas as regiões brasileiras.

antes da variação climática. Em linha com Pinto et al. (2008), este resultado sugere uma significativa redução das áreas aptas para o plantio.

Para os produtos agrícolas, por sua vez, pode ser percebida uma redução na receita gerada pelas culturas do algodão, arroz, feijão, fumo, mandioca, milho e soja nas regiões Nordeste, Norte, e Centro-Oeste. A primeira região é prejudicada mais essencialmente pelo aumento da temperatura enquanto as seguintes sofrem mais com a elevação da precipitação. O contrário pode ser observado para as regiões Sul e Sudeste, nas quais há aumento da produção dessas culturas. Apesar da precipitação excessiva da região Sul, que prejudicou algumas das culturas em análise, o aumento da temperatura mais que compensou o efeito precipitação. Já na região Sudeste, o aumento de ambos os fatores, temperatura e precipitação, afetaram positivamente o valor desses produtos agrícolas. O resultado corrobora a observação empírica contida nos levantamentos Conab (2008) e Conab (2010), de que as referidas culturas se beneficiam com aumentos de precipitação e temperatura embora possam ser prejudicadas pelo excesso de chuvas, que podem levar ao aparecimento de doenças. Também diferem pouco em termos de tendência dos resultados obtidos por Féres et al. (2009) e Pinto et al. (2009)²⁰.

Para as culturas do café, da cana-de-açúcar e da banana, que se prejudicam mais substancialmente com o excesso de chuvas, mas se beneficiam do aumento da temperatura (Conab (2008) e Conab (2010)), os resultados não foram muito diferente. Novamente, beneficiaram-se com as mudanças climáticas as regiões Sudeste e Sul e se prejudicaram as demais regiões. Exceção foi a cultura do café no Centro-Oeste que, embora prejudicada pela maior magnitude de precipitação, registrou ganhos de valor pelo aumento da temperatura²¹.

Já para o trigo e a laranja, beneficiados com menor temperatura e precipitação (Conab (2008), Conab (2010)), os resultados indicaram um aumento de quantidade produzida na região Sul, apesar da elevação da precipitação. Na região Sudeste houve aumento da produção de laranja, mas queda da produção de trigo, prejudicado pelo aumento da temperatura. Nas demais regiões, pouco responsáveis pelo montante produzido dessas culturas, as quedas percentuais de produção foram bastante significativas.

²⁰ Féres et al. (2009) encontram aumento de produção do milho e da soja na região Norte, enquanto Pinto et al. (2008) prevêm um aumento da receita da mandioca.

²¹ O resultado difere do de Pinto et al. (2008), que encontram quedas substanciais para a receita do café, mesmo desconsiderando o efeito da precipitação nas projeções. Apesar disto, a produção de cana-de-açúcar também aumenta.

A receita agrícola brasileira para todos os produtos considerados pelo trabalho aumentou 3,55%, para R\$ 81,80 bilhões no cenário A2 de longo prazo. Entretanto, no mesmo cenário, o resultado por regiões foi bastante dispare, com quedas de receita de 27,82%, 26,63% e 10,56% no Norte, Nordeste e Centro-Oeste, e aumentos de receita de 18,81% e 16,82% no Sudeste e Sul. As culturas do café e da cana-de-açúcar foram as maiores responsáveis pela elevação da receita, seguidas das culturas de arroz, milho, fumo e trigo. Ao contrário, as culturas da soja, do algodão, do feijão, da mandioca, da banana e da laranja reduziram a receita agrícola prevista. Disto, percebe-se uma mudança no *mix* de produtos agrícolas cultivados em terras brasileiras. Ocorre uma redução das culturas de subsistência como o feijão e a mandioca, cultivadas, em maior magnitude, nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, que se prejudicam pela redução da receita. O contrário vale para as regiões Sul e Sudeste, com aumento da receita. O que se percebe, portanto, é uma perda de bem estar social para as regiões mais pobres em detrimento das mais ricas, com aumento de receita.

Reforça a idéia de desigualdade agrícola crescente entre regiões a queda do custo dos insumos nas regiões mais pobres o quê, apesar de gerar impacto positivo sobre a lucratividade agrícola, reduz a geração de empregos e renda como consequência da piora das condições de plantio.

Resultados com variação do investimento agrícola²²

Porque foi no cenário A2 que as maiores mudanças em termos de variação de receita e custo ocorreram, foi projetada para este uma intensificação dos investimentos agrícolas.

Em comparação com o resultado do cenário A2 sem investimento, houve aumento de receita de todos os produtos, com exceção do fumo no Sudeste e da mandioca no Sul²³. Observou-se também, para todas as regiões, um aumento do custo dos insumos, mais que compensado pelo crescimento da receita. Por isso, quando houve aumento do investimento superior a 9,3%, o lucro agrícola atingiu patamar superior inclusive àquele registrado no cenário atual. O resultado, contudo, não pode ser considerado uma melhoria de Pareto, já que, enquanto algumas regiões melhoram, outras pioram em

²² Para ver resultados com variação do investimento agrícola no cenário A2, consultar anexo IV, tabela 10.

²³ Apesar destes dois resultados contraditórios, vale notar que as elasticidades de receita dessas variáveis em relação ao investimento agrícola não foram significantes.

termos de lucratividade em relação ao cenário atual. Por exemplo, as regiões Norte, Nordeste e Sul continuaram a apresentar variação negativa da lucratividade relativamente ao cenário atual. Na primeira e segunda, a receita agrícola permanece muito inferior àquela do cenário atual enquanto, na terceira, o custo dos insumos ainda registra aumento superior a elevação da receita. Além disso, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste continuam a apresentar variações negativas de receita agrícola.

Com a presença do investimento, ou não, as regiões e culturas que se prejudicam com o fenômeno do aquecimento são as mais pobres e as de subsistência, evidenciando aumento da desigualdade na geração de lucro agrícola apesar de um possível aumento de excedente agregado quando levado em consideração aumentos do investimento. Como medida política de redução de perda de bem-estar social, sugere-se, por isso, um aumento generalizado do investimento agrícola, devendo este ser superior nas regiões Nordeste e Norte, mais afetadas pela mudança climática, e em menor escala, na região Centro-Oeste que, apesar do aumento do lucro, também sai prejudicada pela queda da receita e do custo agrícola.

VI - Conclusões

Este trabalho utilizou, baseando-se no enfoque agronômico, uma função de lucro restrito buscando verificar qual o impacto do fenômeno do aquecimento sobre a atividade agrícola brasileira. Embora trabalhos parecidos para o Brasil tenham sido realizados, este trabalho inova por empregar metodologia distinta da maioria, baseada no enfoque ricardiano. Além disso, as previsões de aumento de temperatura e precipitação utilizadas foram mais precisas do que as empregadas em trabalhos anteriores por serem baseadas em Modelos de Circulação Geral, que geram simulações de cenários climáticos espacialmente diferenciados. Destaque ainda para a inclusão, no modelo, de variáveis de investimento agrícola, que possibilitaram captar efeitos de mitigação do investimento sobre os impactos gerados pela mudança climática, tornando possível a elaboração de políticas de redução de perda de bem estar social.

O trabalho estimou, primeiramente, o impacto de variações climáticas sobre a receita dos produtos e sobre o custo dos insumos agrícolas. Os resultados da estimação, para o Brasil como um todo em todos os cenários considerados, mostraram um aumento generalizado do custo dos insumos, decorrência possível de outro resultado obtido, de aumento da receita gerada pelos produtos agrícolas. Pelo aumento mais que proporcional do custo dos insumos comparativamente ao aumento da receita agrícola foi observado, como consequência, uma redução da lucratividade agrícola em todos os cenários. Ponto importante, contudo, é o de que estes resultados variam entre regiões e culturas, acarretando, como implicação principal, um possível aumento da desigualdade agrícola. Enquanto para as regiões Sul e Sudeste é observado um aumento da produção e dos custos dos insumos, para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste é observado o contrário. A redução do custo dos insumos, apesar de gerar impacto positivo sobre a lucratividade agrícola, reduz a geração de empregos e renda nas regiões em que ocorrem. Além disso, as culturas mais prejudicadas pela alteração climática, representadas principalmente pela banana, feijão e mandioca, são aquelas consideradas de subsistência, produzidas, sobretudo, nas regiões Norte e Nordeste e Centro-Oeste. Já as culturas beneficiadas pelo fenômeno do aquecimento são aquelas produzidas mais intensamente no Sudeste e Sul, representadas pela cana-de-açúcar, café e milho.

Após examinar os impactos gerados pela elevação da temperatura e precipitação, ocasionada pelo fenômeno do aquecimento, sobre o *mix* e a receita/custo de produtos e

insumos e sobre a lucratividade agrícola brasileira, simulou-se um aumento do investimento agrícola para verificar quanto este poderia mitigar os efeitos gerados pela alteração climática. Os resultados mostraram que um aumento de 9,3% no nível atual de investimento projetado para o cenário A2 de longo prazo levaria a um aumento da lucratividade agrícola em relação, inclusive, ao cenário atual. Este resultado, contudo, não pôde ser considerado uma melhoria de Pareto pela manutenção da desigualdade entre regiões. Recomenda-se, portanto, como medida política de redução da perda de excedente social, um aumento mais que proporcional do investimento agrícola naquelas regiões mais afetadas pelo aquecimento, quais sejam a Norte e Nordeste e, em menor instância, a Centro-Oeste.

Confirmaram a plausibilidade da forma funcional e do modelo escolhido os testes de razão de verossimilhança (LR), que permitiram rejeitar as hipóteses de que as condições climáticas e o investimento eram irrelevantes para determinação do valor agrícola e a hipótese de que o *mix* dos produtos independe do preço dos insumos.

Bibliografia

Adams, R. (1989): Global climate change and agriculture: an economic perspective. American Journal of Agricultural Economics, 71(5), pp. 1272-79.

Anderson, K., Reis, E. (2007): The effects of climate change on brazilian agricultural profitability and land use: cross-sectional model with census data. LBA project Global Warming, Land Use, and Land Cover Changes in Brazil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Rio de Janeiro, Brasil.

Behrman, J., Lovell, R., Pollak, K., Sickles, R. (1992): The CET-CES-generalized leontief variable profit function: an application to indian agriculture, Oxford Economic Papers, New Series, Vol. 44, No. 2 (Apr., 1992), pp. 341-354.

Bergman, A. M. (1997): The restricted profit function and the application of the generalised Leontief and the translog functional forms, International Journal of Production Economics, Volume 49, pp. 249-254.

Cameron, A., Trivedi, P. (2008): Microeconometrics using stata. Stata Press Publication, College Station, Texas.

Conab (2008): Boletim Agroclimático para avaliação de impactos nas culturas. Publicação trimestral: julho, agosto e setembro. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília.

Conab (2010): Acompanhamento da safra brasileira – grãos. Safra 2009-2010, Sexto levantamento. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília.

Deschênes, O., Greenstone, M. (2007): The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. American Economic Review, 97(1): 354-85.

Diewert, E. (1973): Functional forms for profit and transformation functions, Journal of Economic Theory, vol. 6, pp. 284-316.

Diewert, E., Wales, J. (1987): Flexible functional forms and global curvature conditions, Econometrica 55, pp. 43-68.

Disch, A. (1983): Agricultural policies and real income changes: an application of duality theory to brazilian agriculture, *Tese de doutorado*, Yale University.

Evenson, E., Alves, D. (1998): Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture, *Planejamento e Políticas Públicas*, 18.

Féres, J., Reis, E., Speranza, J. (2008): Assessing the impact of climate change on the Brazilian agricultural sector, *Institute for Applied Economics Research (IPEA)*.

Féres, J., Reis, E., Speranza, J. (2009): Climate change, land use and deforestation in Brazil, *Institute for Applied Economics Research (IPEA)*.

Greene, H. (1997): Econometric Analysis, 3^a edição, *New Jersey: Prentice Hall*.

IPCC (2001): Climate change 2001: Synthesis Report. Summary for policymakers. *World Meteorological Organization and United Nations Environmental Programme*.

Junior, J., Pinto, H., Assad, E. (2006): Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. *Journal of Applied Meteorology, Supplement*, pp. 69-80.

Lang, G. (1999): Global warming and german agriculture: impact estimations using a restricted profit Function, *Environmental and Resource Economics*, vol. 19, pp. 97-112.

Lau, L. (1978): Testing and imposing monotonicity, convexity and quasi-convexity constraints, *Production economics: A dual approach to theory and applications*, Amsterdam: North-Holland, pp. 409-453.

Livernois, J., Ryan, D. (1989): Testing for non-Jointness in oil and gas exploration: a variable profit function approach'. *International Economic Review* 30, pp. 479–504.

Mas-Collel, A., Whinston, M., Green, J. (1995): *Microeconomic theory*. Oxford: Oxford University Press, 1995.

McFadden, D. (1978): Cost, revenue, and profit functions. *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications*, Vol. 1, Amsterdam: North-Holland, pp. 1-110.

Mendelsonh, R. (1994): The impact of global warming on agriculture: a ricardian analysis, *American Economic Review* 84: 753-771.

Sanghi, A., Alves, D., Evenson, R., Mendelsohn, R. (1997): Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. *Economia Aplicada*, v.1,n.1,1997.

Shumway, C., Lim H. (1993): Functional form and U.S. agricultural production elasticities, *Journal of Agricultural and Resource Economics*, v.18(2), pp. 266-276.

Siqueira, F., Farias, J., Sans, L. (1994): Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture, and adaptive strategies for wheat, maize, and soybeans. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.2 pp. 115-129.

Talpaz, H., Alexander, P., Shumway, R. (1989): Estimation of Systems of Equations Subject to Curvature Constraints. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 32, pp. 201-214.

Williamson, T., Hauer, G., Luckert, M. (2004): A restricted Leontief profit function model of the Canadian lumber and chip industry: potential impacts of US countervail and Kyoto ratification, *NRC Research Press*, pp. 1833-1844.

Anexo I – Estatísticas descritivas

Tabela 3 – Receita e Custo dos produtos e insumos e Lucro agrícola

Insumos e Produtos	Regiões					Custo/Receita total(mil R\$)
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	
Terra	541,573	2,878,415	4,770,083	5,468,333	3,327,793	16,986,197
% custo terra	3.2%	16.9%	28.1%	32.2%	19.6%	
Capital	553,368	2,140,692	5,392,175	5,537,777	2,848,321	16,472,334
% custo terra	3.4%	13.0%	32.7%	33.6%	17.3%	
Máquinas	113,172	748,077	3,491,811	2,243,212	1,377,142	7,973,414
% custo terra	1.4%	9.4%	43.8%	28.1%	17.3%	
Trabalho	640,796	2,861,159	7,650,454	2,902,125	2,784,851	16,839,385
% custo terra	3.8%	17.0%	45.4%	17.2%	16.5%	
Algodão	0	840,444	75,557	16,532	1,696,979	2,629,512
% receita algodão	0.0%	32.0%	2.9%	0.6%	64.5%	
Arroz	653,366	955,321	107,202	2,595,396	202,503	4,513,788
% receita arroz	14.5%	21.2%	2.4%	57.5%	4.5%	
Banana	173,668	3,314,215	1,115,776	380,270	62,124	5,046,053
% receita banana	3.4%	65.7%	22.1%	7.5%	1.2%	
Café	29,253	448,218	6,453,002	389,181	18,783	7,338,437
% receita café	0.4%	6.1%	87.9%	5.3%	0.3%	
Cana-de-açúcar	26,599	3,262,661	12,217,567	1,078,010	1,890,935	18,475,772
% receita cana	0.1%	17.7%	66.1%	5.8%	10.2%	
Feijão	32,595	390,164	337,198	167,810	122,987	1,050,754
% receita feijão	3.1%	37.1%	32.1%	16.0%	11.7%	
Fumo	994	91,789	1,578	2,785,446	61	2,879,868
% receita fumo	0.0%	3.2%	0.1%	96.7%	0.0%	
Laranja	60,385	675,031	3,071,484	349,714	18,142	4,174,756
% receita laranja	1.4%	16.2%	73.6%	8.4%	0.4%	
Mandioca	876,203	1,464,313	285,238	906,294	151,779	3,683,827
% receita mandioca	23.8%	39.7%	7.7%	24.6%	4.1%	
Milho	264,248	1,812,202	2,381,694	4,629,782	2,271,634	11,359,560
% receita milho	2.3%	16.0%	21.0%	40.8%	20.0%	
Soja	246,073	1,281,337	1,092,399	7,461,754	6,888,446	16,970,009
% receita soja	1.5%	7.6%	6.4%	44.0%	40.6%	
Trigo	1,134	97	43,353	813,151	22,536	880,271
% receita trigo	0.1%	0.0%	4.9%	92.4%	2.6%	
Lucro agrícola (mil R\$)	515,609	5,907,449	5,877,525	5,421,893	3,008,802	20,731,277

Fonte: IBGE, Censo 2006. Elaboração própria.

Tabela 4 – Investimento agrícola

	Regiões					Total
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	
Investimento agrícola (mil R\$)	1.766.097	2.694.859	6.997.660	5.802.531	3.696.989	20.958.136
%total	8,4%	12,9%	33,4%	27,7%	17,6%	

Fonte: IBGE, Censo 2006. Elaboração própria.

Tabela 5 - Cenários climáticos

	(°C) / (mm/mês)	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Brasil	Temperatura				
	Atual	22.8	3.0	14.4	28.0
	A2 - Curto prazo	23.8	3.0	15.4	29.0
	A2 - Médio prazo	24.9	3.0	16.6	30.2
	A2 - Longo prazo	26.5	3.1	17.8	32.0
	B2 - Curto prazo	23.8	3.0	15.4	29.1
	B2 - Médio prazo	24.6	2.9	16.3	29.8
	B2 - Longo prazo	25.4	3.1	16.8	30.8
	Precipitação				
	Atual	111.7	38.8	17.3	263.3
	A2 - Curto prazo	115.6	36.5	28.9	272.3
	A2 - Médio prazo	116.0	36.1	25.2	261.5
	A2 - Longo prazo	117.3	36.1	30.7	268.7
	B2 - Curto prazo	114.5	36.3	25.7	266.5
	B2 - Médio prazo	116.0	36.1	25.2	261.5
	B2 - Longo prazo	116.1	36.7	25.7	269.7
Norte	Temperatura				
	Atual	26.2	0.5	25.1	27.5
	A2 - Curto prazo	27.3	0.5	26.1	28.7
	A2 - Médio prazo	28.5	0.5	27.2	30.2
	A2 - Longo prazo	30.4	0.6	28.9	32.0
	B2 - Curto prazo	27.3	0.5	26.0	28.8
	B2 - Médio prazo	28.1	0.5	26.7	29.6
	B2 - Longo prazo	29.2	0.6	27.7	30.8
	Precipitação				
	Atual	165.9	38.8	106.8	263.3
	A2 - Curto prazo	178.2	39.5	118.0	272.3
	A2 - Médio prazo	169.6	38.4	114.9	261.5
	A2 - Longo prazo	177.2	40.5	117.8	268.7
	B2 - Curto prazo	170.8	38.1	114.3	266.5
	B2 - Médio prazo	169.6	38.4	114.9	261.5
	B2 - Longo prazo	176.3	40.1	117.0	269.7
Nordeste	Temperatura				
	Atual	25.3	1.5	20.9	28.0
	A2 - Curto prazo	26.2	1.5	21.8	29.0
	A2 - Médio prazo	27.1	1.6	22.7	30.0
	A2 - Longo prazo	28.7	1.7	24.3	31.6
	B2 - Curto prazo	26.2	1.5	21.7	29.1
	B2 - Médio prazo	26.9	1.5	22.4	29.8
	B2 - Longo prazo	27.7	1.6	23.3	30.6
	Precipitação				
	Atual	77.5	33.6	17.3	182.8
	A2 - Curto prazo	86.0	33.7	28.9	191.7
	A2 - Médio prazo	85.6	33.3	25.2	190.5
	A2 - Longo prazo	89.2	33.9	30.7	196.4
	B2 - Curto prazo	84.3	33.4	25.7	188.2
	B2 - Médio prazo	85.6	33.3	25.2	190.5
	B2 - Longo prazo	86.1	34.1	25.7	193.9

Tabela 5 – Cenários climáticos (continuação)

Sudeste	Temperatura				
	Atual	21.3	1.9	15.0	24.8
	A2 - Curto prazo	22.2	1.9	15.8	25.8
	A2 - Médio prazo	23.4	1.9	16.9	27.2
	A2 - Longo prazo	25.1	2.0	18.4	29.1
	B2 - Curto prazo	22.3	1.9	15.9	25.9
	B2 - Médio prazo	23.1	1.9	16.7	26.7
	B2 - Longo prazo	23.9	2.0	17.4	27.8
	Precipitação				
	Atual	108.2	19.3	55.4	223.7
	A2 - Curto prazo	114.2	17.5	65.2	230.7
	A2 - Médio prazo	114.8	18.7	64.4	227.6
	A2 - Longo prazo	115.4	18.3	66.3	229.6
	B2 - Curto prazo	112.1	17.9	64.0	227.3
	B2 - Médio prazo	114.8	18.7	64.4	227.6
	B2 - Longo prazo	115.6	18.2	66.5	230.2
Sul	Temperatura				
	Atual	19.2	1.6	14.4	22.9
	A2 - Curto prazo	20.3	1.6	15.4	24.1
	A2 - Médio prazo	21.5	1.7	16.6	25.3
	A2 - Longo prazo	22.9	1.7	17.8	27.0
	B2 - Curto prazo	20.3	1.6	15.4	24.2
	B2 - Médio prazo	21.2	1.6	16.3	25.0
	B2 - Longo prazo	21.8	1.7	16.8	25.7
	Precipitação				
	Atual	133.0	15.5	99.7	183.8
	A2 - Curto prazo	133.9	15.6	100.1	184.9
	A2 - Médio prazo	135.7	16.2	103.3	187.2
	A2 - Longo prazo	140.9	17.1	104.4	191.9
	B2 - Curto prazo	132.8	15.5	99.4	183.3
	B2 - Médio prazo	133.8	15.5	101.8	183.7
	B2 - Longo prazo	137.8	15.9	106.1	187.3
Centro-oeste	Temperatura				
	Atual	24.4	1.1	21.4	26.5
	A2 - Curto prazo	25.5	1.1	22.4	27.8
	A2 - Médio prazo	26.8	1.1	23.6	29.1
	A2 - Longo prazo	28.8	1.2	25.5	31.1
	B2 - Curto prazo	25.5	1.1	22.4	27.8
	B2 - Médio prazo	26.3	1.2	23.0	28.8
	B2 - Longo prazo	27.4	1.2	24.1	29.7
	Precipitação				
	Atual	128.9	11.6	91.7	176.5
	A2 - Curto prazo	130.5	12.1	91.7	190.8
	A2 - Médio prazo	130.2	12.1	91.2	176.2
	A2 - Longo prazo	133.0	13.5	89.0	185.4
	B2 - Curto prazo	130.9	12.9	89.8	180.9
	B2 - Médio prazo	130.2	12.1	91.2	176.2
	B2 - Longo prazo	133.1	13.2	89.5	186.5

Fonte: IPEA. Elaboração própria.

Anexo II - Significância das equações, elasticidades e figuras ilustrativas

Tabela 6 – Teste de Significância das equações estimadas por SUR/ML

Equação	Estatística Chi2	<i>p-valor</i>
vter	14783,35	0
vcap	445,98	0
vmaq	52297,62	0
vtra	16612,39	0
valg	2603,61	0
varr	345,9	0
vban	1436,55	0
vcaf	2189,36	0
vcan	537,22	0
vfei	241,48	0
vfum	1594,9	0
vlar	800,1	0
vman	90,98	0
vmil	1964,45	0
vsoj	3475,56	0
vtri	1211,71	0

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7 - Elasticidades de temperatura, clima e investimento²⁴

Valores	(°C, mm/mês, R\$)	Elasticidades				
		Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-oeste
Terra	Temperatura	-2,59**	-0,85***	0,90***	1,96***	-0,78***
	σ	1,12	0,14	0,21	0,54	0,08
	Precipitação	1,12***	-0,99***	1,78***	-0,03***	-1,54***
	σ	0,21	0,10	0,18	0,00	0,10
	Investimento agrícola	0,0016	0,0043***	0,0023***	0,0027***	0,0022***
	σ	3,86E-03	1,30E-03	5,20E-04	1,73E-04	1,90E-04
Capital	Temperatura	-0,57	-1,77	0,91	1,25	-1,47
	σ	2,50	35,42	2,67	5,22	7,73
	Precipitação	-0,53	0,15	0,33	-0,16	-0,04
	σ	7,62	1,21	1,42	2,72	0,48
	Investimento agrícola	0,0005	0,0051***	0,0014**	0,0015	0,0040
	σ	1,90E-03	1,64E-03	7,40E-04	1,11E-03	4,62E-03
Máquinas	Temperatura	-0,83	-1,29***	1,66	1,50***	-0,81**
	σ	1,39	0,37	1,26	0,26	0,41
	Precipitação	-0,71**	0,07**	-0,86***	-1,11***	-0,34***
	σ	0,34	0,03	0,39	0,25	0,12
	Investimento agrícola	0,0059	0,0042***	0,000046***	-0,0012***	0,0041***
	σ	3,81E-03	1,38E-03	1,38E-06	9,32E-05	1,25E-04
Trabalho	Temperatura	-0,86***	-0,24***	0,61***	1,16***	-1,27***
	σ	0,06	0,04	0,07	0,13	0,12
	Precipitação	-0,36***	-0,83***	0,87***	0,76***	-0,41***
	σ	0,02	0,09	0,08	0,07	0,06
	Investimento agrícola	0,0071	0,0054***	0,0034***	0,0031*	0,0036**
	σ	6,70E-03	1,55E-03	1,25E-03	1,89E-03	1,61E-03
Algodão	Temperatura	-	-1,41**	0,62	0,95	-0,97***
	σ		0,61	0,72	1,27	0,10
	Precipitação	-	0,19	0,36	0,28	0,06
	σ		0,18	3,06	0,48	0,05
	Investimento agrícola	-	0,0125***	0,0046	0,0056**	0,0102***
	σ		4,91E-04	4,99E-03	2,47E-03	3,64E-03
Arroz	Temperatura	-1,13	-1,72	0,68	0,97**	-0,76
	σ	2,57	1,36	0,63	0,46	0,62
	Precipitação	-0,31	0,33	0,09	0,10	-0,68***
	σ	0,26	0,25	0,07	0,22	0,21
	Investimento agrícola	0,01200	0,0059*	0,0064***	0,0063	0,0105
	σ	1,48E-02	3,52E-03	2,28E-03	6,24E-03	1,03E-02
Banana	Temperatura	-1,12	-2,83	0,52	0,87	-0,61
	σ	1,46	2,40	1,96	6,75	1,85
	Precipitação	0,17	0,41	0,87	0,38	-2,07
	σ	0,41	3,17	2,56	1,27	2,06
	Investimento agrícola	0,0075**	0,0105**	0,0029	0,0014	0,0065
	σ	3,60E-03	4,90E-03	9,17E-03	1,91E-03	5,13E-03
Café	Temperatura	-1,20**	-2,17	2,11	1,11*	0,44
	σ	0,60	4,18	1,54	0,58	0,81
	Precipitação	-0,18	-0,08	-1,00	0,23	-0,64**
	σ	0,16	0,17	1,37	23,49	0,26
	Investimento agrícola	0,0075	0,0042***	0,0061***	0,0034	0,0125*
	σ	1,32E-02	1,08E-03	4,49E-04	3,67E-03	6,47E-03
Cana-de-açúcar	Temperatura	-1,97	-0,98	0,87	0,93	-0,39
	σ	5,06	3,27	2,89	1,76	0,85
	Precipitação	0,42	0,08	0,26	0,43	-0,40
	σ	0,86	0,20	0,66	0,97	0,31
	Investimento agrícola	0,0038	0,0016	0,0029	0,0028	0,0023
	σ	1,48E-02	7,24E-03	1,61E-02	5,15E-03	2,97E-03

²⁴ Para cálculo da elasticidade do valor de cada insumo e produto em função da temperatura, derivou-se cada hi (equação 8) acrescida de dummies de região pela variável *temp*. O mesmo foi realizado com a variável *prec* e com a variável *inv*. A equação final, para a estimação da elasticidade do custo da terra, por exemplo, em função da temperatura na região norte, é resumida, dessa maneira, por: $(\text{pter}^2/\text{vter}) * (b[\text{ptertemp}] + (1/2) * b[\text{ptertp}] * (\text{prec}/\text{temp})^{(-1/2)} + b[\text{d1ptertemp}])$. A significância de cada elasticidade foi calculada utilizando-se o método delta (comando nlcom do Stata 9.2). Os coeficientes estimados para o cálculo das elasticidades encontram-se no Anexo III, tabelas 8 e 9.

Tabela 7 – Elasticidades de temperatura, clima e investimento (continuação)

Valores	(°C, mm/mês, R\$)	Elasticidades				
		Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-oeste
Feijão	Temperatura	-1,15	-2,28	1,46	1,14	-4,12
	σ	6,80	6,15	6,08	56,93	10,04
	Precipitação	-0,87	-0,73	-1,03	0,834292046	6,054719035
	σ	2,63	2,04	3,03	2,38	4,73
	Investimento agrícola	0,0012	0,0042*	0,0005***	-0,0038	0,0111**
	σ	1,69E-03	2,40E-03	1,28E-04	8,68E-03	5,41E-03
Fumo	Temperatura	-1,34	-1,13	0,34	0,93	-2,62*
	σ	3,04	8,07	2,82	1,04	1,51
	Precipitação	-0,49	-0,70	0,63	-1,58	4,24
	σ	6,97	4,14	3,34	4,78	26,47
	Investimento agrícola	0,0015	0,0099	-0,0009	0,0035***	0,0177
	σ	1,05E-03	2,61E-02	8,28E-04	3,13E-04	1,96E-01
Laranja	Temperatura	-1,24	-2,33	0,17	0,89	-1,16
	σ	3,99	12,26	0,32	0,89	6,85
	Precipitação	-0,51	0,09	-0,03	-1,21	-2,70
	σ	2,54	0,86	0,13	4,32	19,35
	Investimento agrícola	0,0047**	0,0049**	0,0009	0,0018***	0,0050
	σ	2,05E-03	2,47E-03	9,41E-04	5,38E-04	1,53E-02
Mandioca	Temperatura	-1,84	-1,19	1,74	0,32	-1,41
	σ	2,91	5,17	2,85	0,69	7,03
	Precipitação	-0,80	-1,26	-0,88	-0,78	-1,14
	σ	1,35	6,28	2,83	8,63	8,81
	Investimento agrícola	0,0093	0,0021	0,0033	-0,0014	-0,0038
	σ	1,10E-02	3,53E-03	2,43E-03	7,92E-03	6,31E-02
Milho	Temperatura	-1,07	-0,91	0,29	1,16	-0,29
	σ	1,26	18,13	0,61	1,10	0,50
	Precipitação	0,022	-0,39	0,61	0,76	-0,86
	σ	0,03	0,94	2,27	0,85	12,27
	Investimento agrícola	0,0040	0,0066***	0,0007***	0,0018	0,0031
	σ	1,07E-02	1,68E-03	5,63E-05	1,89E-01	3,05E-03
Soja	Temperatura	-2,44	-4,72	1,58	0,60**	-0,45**
	σ	8,70	1,16	17,55	0,28	0,19
	Precipitação	-0,64*	0,81***	0,49*	-0,36**	-0,37
	σ	0,35	0,24	0,27	0,15	0,63
	Investimento agrícola	0,0164	0,0116***	0,0025**	0,0033	0,0031***
	σ	3,42E-02	8,79E-04	9,86E-04	9,35E-03	2,67E-04
Trigo	Temperatura	-2,67***	-1,54***	-0,74	0,68***	-1,54***
	σ	0,72	0,38	0,49	0,14	0,52
	Precipitação	-0,29	-1,82*	-0,31***	-0,26***	-1,81*
	σ	0,22	1,09	0,09	0,07	0,96
	Investimento agrícola	0,0054	0,0089*	0,0064***	0,0053***	0,0059
	σ	3,67E-03	5,14E-03	1,60E-03	8,17E-04	5,23E-03

Legenda: *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1.

Fonte: Elaboração própria.

**Figura 1 – Variação da Receita, do Custo e do Lucro agrícola por municípios:
Cenário A2 de longo prazo X Cenário Atual**

Fonte: Elaboração própria

Anexo III - Coeficientes estimados para a obtenção das elasticidades²⁵

Tabela 8 - Coeficientes de preços próprios e cruzados

	pter	pcap	pmaq	ptr	palg	parr	pban	pcaf	pcan	pfei	pfum	plar	pman	pmil	psoj	ptri
pter	2207,21***	517,99***	21,13	-204,64***	32,92**	360,9***	542,51***	501,58***	97,11***	32,48	41,2	813,7***	27,61**	22,53	-125,55***	735,48***
σ	142,49	175,00	16,64	21,21	14,38	29,98	42,48	35,13	13,76	22,10	51,50	63,82	13,28	30,46	42,42	37,11
pcap		-26765,45	3327,3***	2125,32***	6060,45***	-442,18	986,96**	3055,34***	779,6*	20,55	-465,8	-456,54	278,57*	285,28	14812,4***	40,14***
σ		30415,28	302,21	298,08	1137,05	353,75	503,55	402,02	410,32	22,83	443,62	600,72	152,23	190,19	2045,91	12,02
pmaq			6600,85***	-211,47***	2376,06***	62,43	-260,34***	410,56***	291,4***	-16,22	284,99***	516,46***	-49,98*	-134,42***	2889,99***	1047,82***
σ			252,52	29,58	190,85	45,57	61,99	43,40	37,36	22,22	89,34	92,39	28,24	42,54	116,20	67,04
ptr				490,38	176,06***	613,19***	477,04***	425,78***	61,94	44,6	-176,83**	1239,89***	-62,41**	46,47	3920,25***	-51,00
σ				333,60	49,46	66,58	91,74	59,80	52,50	41,69	83,41	90,57	31,84	31,61	230,60	56,67
palg					-73573,65***	154,91***	523,57***	252,82	92,39	23,3***	278,1**	514,51	70,41	105,33***	242,96***	200,24***
σ					5607,75	-56,54	87,85	210,68	342,19	3,96	-137,00	-829,86	46,02	4,48	16,22	-24,33
parr						-417,14	1,37	185,96***	-7,7	3,06	112,71*	-350,89***	14,2	61,23***	238,29	49,94**
σ						260,72	27,48	53,59	85,62	8,75	69,15	89,74	14,95	13,09	335,62	21,62
pban							1730,21***	320,77***	54,23	-27,49**	516,3***	-748,57***	94,07***	-148,04***	-844,6**	-451,44***
σ							675,86	106,22	66,96	16,66	124,71	118,45	32,89	38,65	385,67	93,27
pcaf								3579,17***	70,48	46,28***	-678,73***	290,83***	56,11	180,18***	1550,36***	213,13***
σ								585,79	64,07	14,88	132,05	102,05	41,26	35,61	334,85	53,02
pcan									-83,21	19,95***	-16,28	-141,23**	-1,46	49,7**	255,5**	38,09
σ									297,21	6,10	27,60	67,58	5,04	24,01	106,91	24,26
pfei										4,21	147,68***	-8,84	4,72	-0,39	173,77***	174,78***
σ										8,97	31,03	73,68	5,91	0,60	56,98	41,92
pfum											914,42	53,3	57,57***	597,46***	-883,82***	-570,29***
σ											672,37	113,41	16,17	63,56	190,89	102,02
plar												-6259,21***	13,68	89,77*	24,42	39,6***
σ												1346,07	47,17	49,87	2442,03	12,57
pman													-18	-19,38*	142,26**	-16,84
σ													64,31	11,08	65,86	20,55
pmil														-675,42***	4816,99***	244,8***
σ														95,94	251,80	40,13
psoj															-30212,02***	873,1
σ															8782,56	1039,41
ptri																2160,44***
σ																797,21

Legenda: *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1. Fonte: Elaboração própria.

²⁵ As elasticidades estão expostas no Anexo II. Vale notar que, por exemplo, pter significa preço da terra, o mesmo valendo para os demais insumos e produtos. Temp é utilizado como abreviatura para temperatura, prec abrevia precipitação, tp significa a interação entre as variáveis de temperatura e precipitação e vinv corresponde ao valor do investimento. As dummies d1, d2, d3 e d4 representam, respectivamente, as regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul.

Tabela 9 - Coeficientes de clima e dummies de região

	ptertemp	pterprec	pterlp	ptervinv	d1ptertemp	d2ptertemp	d3ptertemp	d4ptertemp	d1pterprec	d2pterprec	d3pterprec	d4pterprec	d1ptertp	d2ptertp	d3ptertp	d4ptertp	d1ptervinv	d2ptervinv	d3ptervinv	d4ptervinv
Coeficiente	663,49***	130,91***	-621,12***	3,98E-07***	-853,58***	-691,81***	-681,94***	-748,62***	-146,97***	-137,55***	-129,26***	-160,54***	722,58***	623,60***	662,34***	751,26***	-9,88E-08	3,79E-07	3,15E-08	9,01E-08***
σ	65,05	12,36	56,31	3,42E-08	161,36	68,23	72,47	101,85	29,81	14,66	13,56	19,27	141,41	64,09	71,61	96,94	7,16E-08	2,77E-07	1,13E-07	6,67E-09
	pcapttemp	pcapprec	pcaptp	pcapvinv	d1pcapttemp	d2pcapttemp	d3pcapttemp	d4pcapttemp	d1pcapprec	d2pcapprec	d3pcapprec	d4pcapprec	d1pcaptp	d2pcaptp	d3pcaptp	d4pcaptp	d1pcapvinv	d2pcapvinv	d3pcapvinv	d4pcapvinv
Coeficiente	3605,12	1320,36	-5920,15	4,78E-05	-3763,441	-3328,383	-14458,17	-1199,2636	-776,3268	-677,296	-2964,502	-260,382	3423,467	3001,52	13126,63	1149,289	-4,19E-05	1,42E-05	-3,02E-05	-2,92E-05
σ	4192,00	6949,27	-31158,68	5,56E-05	75268,82	23774,16	62861,61	59963,18	9704,09	5209,97	12352,09	3719,74	57057,78	21439,43	54694,29	22985,78	4,66E-04	1,14E-05	4,72E-05	1,01E-04
	pmagtemp	pmagprec	pmagtp	pmagvinv	d1pmagtemp	d2pmagtemp	d3pmagtemp	d4pmagtemp	d1pmagprec	d2pmagprec	d3pmagprec	d4pmagprec	d1pmagtp	d2pmagtp	d3pmagtp	d4pmagtp	d1pmagvinv	d2pmagvinv	d3pmagvinv	d4pmagvinv
Coeficiente	1687,183**	348,60***	-1555,29**	1,02E-06***	-1650,64*	-1744,61**	-1519,38*	-3509,56***	-338,02**	-354,31**	-317,35**	-724,12***	1491,92**	1572,15**	1398,97**	3196,33***	4,50E-07	1,7E-08***	-1,01E06**	-1,32E-02**
σ	795,84	124,50	591,37	3,06E-08	959,68	758,53	812,50	748,31	151,58	146,41	135,05	158,80	757,32	663,36	672,58	700,95	2,25E-05	3,44E-09	4,39E-07	1,18E-07
	ptratemp	ptraprec	ptratp	ptravinv	d1ptratemp	d2ptratemp	d3ptratemp	d4ptratemp	d1ptraprec	d2ptraprec	d3ptraprec	d4ptraprec	d1ptratp	d2ptratp	d3ptratp	d4ptratp	d1ptravinv	d2ptravinv	d3ptravinv	d4ptravinv
Coeficiente	8329,75***	1717,71***	-7634,57***	1,99E-06**	-19844,43***	-7521,75***	-8519,10***	-9217,42***	-4055,73***	-1543,75***	-1743,34***	-1889,24***	17947,5***	6821,88***	7742,13***	8385,36	1,93E-06	9,77E-07	-1,13E-07	-1,06E-07***
σ	767,72	156,16	698,50	8,82E-07	1183,33	752,93	788,08	806,42	244,62	158,50	157,77	161,61	1074,70	689,78	707,04	723,50	2,64E-06	7,52E-07	7,53E-08	3,65E-08
	palgtemp	palgprec	palgtp	palgvinv	d1palgtemp	d2palgtemp	d3palgtemp	d4palgtemp	d1palgprec	d2palgprec	d3palgprec	d4palgprec	d1palgtp	d2palgtp	d3palgtp	d4palgtp	d1palgvinv	d2palgvinv	d3palgvinv	d4palgvinv
Coeficiente	2640,14***	542,57	-2400*	9,36E-07***	-	-398,37*	-1128,77	-4011,32	-	-81,00	-231,45	-820,59	-	358,82	1025,06	3631,73	-	2,158E-07***	-5,1E-07***	-4,16E-07***
σ	267,76	452,14	1371,43	3,34E-07	-	206,41	2257,55	3085,63	-	103,85	11572,67	1243,32	-	520,03	3416,89	3525,95	-	1,92E-08	1,88E-07	1,27E-07
	paratemp	parprec	paritp	parvinv	d1paratemp	d2paratemp	d3paratemp	d4paratemp	d1parprec	d2parprec	d3parprec	d4parprec	d1paritp	d2paritp	d3paritp	d4paritp	d1parvinv	d2parvinv	d3parvinv	d4parvinv
Coeficiente	-608,51	-124,09	541,69	7,64E-07	549,20	571,24	567,80	476,48	113,02	118,94	115,22	96,23	-498,28	-521,19	-505,96	-421,91	1,05E-07	-3,36E-07**	-2,99E-07	-3,03E-07
σ	-553,19	-98,49	440,41	7,49E-07	499,28	453,37	461,63	23824,26	87,61	84,36	84,10	178,22	418,73	388,95	389,20	1562,66	1,31E-06	1,69E-07	1,25E-06	2,12E-07
	pbantemp	pbanprec	pbantp	pbanvinv	d1pbantemp	d2pbantemp	d3pbantemp	d4pbantemp	d1pbanprec	d2pbanprec	d3pbanprec	d4pbanprec	d1pbantp	d2pbantp	d3pbantp	d4pbantp	d1pbanvinv	d2pbanvinv	d3pbanvinv	d4pbanvinv
Coeficiente	914,45	173,92	-850,48	1,70E-06	-1305,56	249,11	-872,14	-886,94	-263,19	56,88	-175,87	-179,95	1177,30	-237,70	794,80	810,14	2,52E-07	1,03E-06	-9,40E-07	-1,33E-06
σ	2689,59	561,05	2501,41	1,33E-06	2719,92	12455,95	2642,86	3058,42	657,99	355,53	567,33	666,52	2616,24	4754,20	2483,76	2793,60	3,32E-07	6,06E-06	7,52E-07	3,33E-05
	pcaftemp	pcafprec	pcafitp	pcafvinv	d1pcaftemp	d2pcaftemp	d3pcaftemp	d4pcaftemp	d1pcafprec	d2pcafprec	d3pcafprec	d4pcafprec	d1pcafitp	d2pcafitp	d3pcafitp	d4pcafitp	d1pcafvinv	d2pcafvinv	d3pcafvinv	d4pcafvinv
Coeficiente	1390,21	270,87	-1233,06	4,49E-06**	-3557,63	-1249,88	-1804,23	290,93	-681,83	-208,40	-331,29	100,86	3202,54	1108,45	1644,68	-257,49	-1,79E-06	-2,98E-06***	-2,30E-06***	-3,27E-06
σ	2574,48	541,75	2163,26	2,31E-06	2470,58	2314,59	2505,89	1163,73	637,23	548,43	501,97	2017,30	2541,70	2358,42	2349,54	1839,27	2,75E-06	9,17E-07	5,39E-07	4,42E-06
	pcantemp	pcanprec	pcantp	pcanvinv	d1pcantemp	d2pcantemp	d3pcantemp	d4pcantemp	d1pcanprec	d2pcanprec	d3pcanprec	d4pcanprec	d1pcantp	d2pcantp	d3pcantp	d4pcantp	d1pcanvinv	d2pcanvinv	d3pcanvinv	d4pcanvinv
Coeficiente	398,83	81,42	-372,94	4,89E-07	-585,96	-419,62	-370,71	-412,72	-108,52	-80,75	-78,51	-86,59	497,12	367,16	361,06	400,37	3,22E-07	-1,38E-07	1,22E-07	1,30E-07
σ	886,31	214,28	909,62	6,27E-07	1085,12	975,88	842,54	825,45	235,93	212,21	206,19	994,25	941,45	902,67	870,38	3,22E-06	1,86E-07	2,07E-07	4,48E-07	
	pfeitemp	pfeiprec	pfeitp	pfeivinv	d1pfeitemp	d2pfeitemp	d3pfeitemp	d4pfeitemp	d1pfeiprec	d2pfeiprec	d3pfeiprec	d4pfeiprec	d1pfeitp	d2pfeitp	d3pfeitp	d4pfeitp	d1pfeivinv	d2pfeivinv	d3pfeivinv	d4pfeivinv
Coeficiente	-258,11	-46,21	221,65	2,10E-07**	245,74	249,90	243,39	243,43	47,58	48,76	46,36	46,95	-218,67	-223,74	-213,48	-213,90	-1,87E-07**	-1,30E-07***	-2,00E-07	-2,82E-07*
σ	645,29	140,04	615,70	1,02E-07	664,18	624,76	640,51	737,69	164,09	147,78	149,58	151,47	662,65	621,52	627,90	648,18	8,54E-08	4,92E-08	6,45E-07	1,48E-07
	pfumtemp	pfumprec	pfumtp	pfumvinv	d1pfumtemp	d2pfumtemp	d3pfumtemp	d4pfumtemp	d1pfumprec	d2pfumprec	d3pfumprec	d4pfumprec	d1pfumtp	d2pfumtp	d3pfumtp	d4pfumtp	d1pfumvinv	d2pfumvinv	d3pfumvinv	d4pfumvinv
Coeficiente	-912,51	-114,75	703,70	5,44E-06	137,32	570,23	575,44	1085,98	23,69	111,82	105,94	215,05	-120,02	-510,68	-480,37	-970,30	-4,98E-06	-2,39E-06	-5,71E-06	-4,37E-06
σ	2172,64	882,71	2706,58	6,04E-05	65,39	1781,98	1984,30	1872,39	592,37	1863,74	1324,33	1194,77	4000,73	2837,13	2668,75	2695,28	1,99E-05	5,98E-05	2,20E-05	1,99E-05
	plartemp	plarprec	plaritp	plavinv	d1plartemp	d2plartemp	d3plartemp	d4plartemp	d1plarprec	d2plarprec	d3plarprec	d4plarprec	d1plaritp	d2plaritp	d3plaritp	d4plaritp	d1plavinv	d2plavinv	d3plavinv	d4plavinv
Coeficiente	2287,95	438,85	-2163,39	2,75E-06	-2473,971	-1368,151	-3151,97	-3832,73	-503,00	-275,32	-642,50	-781,01	2236,03	1231,33	2855,49	3474,20	-1,92E-07	-6,03E-08	-2,26E-06	-1,78E-06
σ	13458,55	2925,71	14422,60	8,32E-06	12369,86	13681,51	12607,90	10950,67	2515,04	3059,21	2471,16	2789,34	11180,18	12313,33	10982,65	10856,89	4,36E-07	6,70E-07	1,61E-05	3,18E-06
	pmantemp	pmanprec	pmantp	pmanvinv	d1pmantemp	d2pmantemp	d3pmantemp	d4pmantemp	d1pmanprec	d2pmanprec	d3pmanprec	d4pmanprec	d1pmantp	d2pmantp	d3pmantp	d4pmantp	d1pmanvinv	d2pmanvinv	d3pmanvinv	d4pmanvinv
Coeficiente	-16,98	-3,19	8,87	-1,16E-07	66,39	18,72	40,16	13,00	14,28	3,52	5,53	1,39	-61,78	-16,03	-23,38	-4,66	4,00E-07	1,81E-07	2,16E-07	7,23E-08
σ	84,91	15,99	44,36	1,93E-06	120,71	89,17	118,15	433,45	23,81	17,60	17,29	15,52	108,39	80,18	73,08	77,82	5,06E-07	4,76E-07	2,37E-07	2,41E-06
	pmilitemp	pmiliprec	pmilitp	pmilvinv	d1pmilitemp	d2pmilitemp	d3pmilitemp	d4pmilitemp	d1pmiliprec	d2pmiliprec	d3pmiliprec	d4pmiliprec	d1pmilitp	d2pmilitp	d3pmilitp	d4pmilitp	d1pmilvinv	d2pmilvinv	d3pmilvinv	d4pmilvinv
Coeficiente	167,27	31,26	-157,68	4,75E-07	-284,56	-165,62	-107,97	-351,50	-53,37	-30,73	-19,50	-71,32	247,32	141,87	104,97	336,12	1,34E-07	5,23E-07***	-3,58E-07***	-1,92E-07
σ	304,13	61,31	321,81	4,57E-07	389,82	368,05	299,92	351,50	73,11	69,85	69,68	76,69	338,80	322,44	328,04	346,52	7,44E-07	1,33E-07	2,76E-08	1,92E-06
	psoltemp	psolprec	psolitp	psolvinv	d1psoltemp	d2psoltemp	d3psoltemp	d4psoltemp	d1psolprec	d2psolprec	d3psolprec	d4psolprec	d1psolitp	d2psolitp	d3psolitp	d4psolitp	d1psolvinv	d2psolvinv	d3psolvinv	d4psolvinv
Coeficiente	29106,2**	5964,15**	-26767,83**	0,0000214***	-30282,12	-43051,15***	-26247,37*	-31568,76**	-6178,89*	-8771,49***	-5367,00*	-6453,55**	27336,29*	38835,77***	23765,02*	28556,9**	9,05E-05*	5,77E-05***	-4,33E-06***	9,02E-07***
σ	12333,14	2650,73	11949,92	1,82E-06	19165,90	12967,21	14501,31	12477,77	3395,00	2557,29	2998,33	2666,76	16175,32	11388,79	13426,56	11608,50	4,79E-05	1,59E-05	5,91E-07	1,18E-07
	ptritemp	ptriprec	ptritp	ptrivinv	d1ptritemp	d2ptritemp	d3ptritemp	d4ptritemp	d1ptriprec	d2ptriprec	d3ptriprec	d4ptriprec	d1ptritp	d2ptritp	d3ptritp	d4ptritp	d1ptrivinv	d2ptrivinv	d3ptrivinv	d4ptrivinv
Coeficiente	12601,52***	2567,17***	-11566,12***	4,43E-06	-11076,5**	-	-11516,9***	-13301,99***	-2262,20*	-	-2352,60***	-2717,57***	10011,64***	-	10411,64***	12026,69***	-3,46E-07	2,34E-06***	4,38E-07***	-4,43E-07***
σ	3378,42	725,19	3109,17	3,96E-06	4577,07	-	3417,48	3342,21	1196,93	-	744,49	736,47	3315,11	-	3174,28	3099,66	2,36E-07	5,95E-07	1,19E-07	1,59E-07

Legenda: *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1. Fonte: Elaboração própria.

Anexo IV – Resultados com aumento de 10% do investimento no cenário A2

Tabela 10 - Aumento do investimento agrícola no cenário A2 de longo prazo

	Atual	Cenário A	
		Investimento agrícola constante	Aumento de 10% do investimento agrícola
		2070-2099	2070-2099
Custo da Terra (mil R\$)	16,986,197	18,804,050	19,308,457
%quantidade demandada		10.70%	13.67%
Norte	541,573	353,648	359,516
%		-34.70%	-33.62%
Nordeste	2,878,415	2,045,734	2,133,892
%		-28.93%	-25.87%
Sudeste	4,770,083	6,147,287	6,293,720
%		28.87%	31.94%
Sul	5,468,333	7,514,431	7,717,832
%		37.42%	41.14%
Centro-Oeste	3,327,793	2,742,950	2,803,497
%		-17.57%	-15.76%
Valor da Capital (mil R\$)	16,472,334	17,520,123	17,890,997
%quantidade demandada		6.36%	8.61%
Norte	553,368	481,255	483,628
%		-13.03%	-12.60%
Nordeste	2,140,692	1,655,455	1,740,760
%		-22.67%	-18.68%
Sudeste	5,392,175	6,411,893	6,505,899
%		18.91%	20.65%
Sul	5,537,777	6,896,580	7,003,360
%		24.54%	26.47%
Centro-Oeste	2,848,321	2,074,941	2,157,350
%		-27.15%	-24.26%
Valor das Máquinas (mil R\$)	7,973,414	9,269,319	9,314,776
%quantidade demandada		16.25%	16.82%
Norte	113,172	91,836	97,332
%		-18.85%	-14.00%
Nordeste	748,077	620,861	647,077
%		-17.01%	-13.50%
Sudeste	3,491,811	4,379,808	4,381,823
%		25.43%	25.49%
Sul	2,243,212	3,008,862	2,972,082
%		34.13%	32.49%
Centro-Oeste	1,377,142	1,167,952	1,216,461
%		-15.19%	-11.67%
Valor do Trabalho (mil R\$)	17,258,907	17,367,208	18,035,748
%quantidade demandada		0.63%	4.50%
Norte	640,796	531,908	570,047
%		-16.99%	-11.04%
Nordeste	2,861,159	2,365,342	2,493,740
%		-17.33%	-12.84%
Sudeste	7,650,454	8,889,970	9,195,436
%		16.20%	20.19%
Sul	3,321,647	3,460,920	3,580,270
%		19.25%	7.79%
Centro-Oeste	2,784,851	2,119,067	2,196,256
%		-23.91%	-21.14%
Valor dos Insumos (mil R\$)	58,690,852	62,960,700	64,549,978
%quantidade demandada		7.28%	9.98%
Norte	1,848,909	1,458,646	1,510,523
%		-21.11%	-18.30%
Nordeste	8,628,343	6,687,392	7,015,469
%		-22.50%	-18.69%
Sudeste	21,304,523	25,828,958	26,376,878
%		21.24%	23.81%
Sul	16,570,969	20,880,793	21,273,544
%		26.01%	28.38%
Centro-Oeste	10,338,107	8,104,910	8,373,564
%		-21.60%	-19.00%

**Tabela 10 - Aumento do investimento agrícola no cenário A2 de longo prazo
(continuação)**

	Atual	Cenário A	
		Investimento agrícola constante	Aumento de 10% do investimento agrícola
		2070-2099	2070-2099
Valor do Algodão (mil R\$)	2,629,512	2,180,926	2,413,600
%quantidade ofertada		-17.06%	-8.21%
Norte	0	0	0
%		0.00%	0.00%
Nordeste	840,444	671,755	756,085
%		-20.07%	-10.04%
Sudeste	75,557	85,087	89,037
%		12.61%	17.84%
Sul	16,532	19,613	20,724
%		18.64%	25.36%
Centro-Oeste	1,696,979	1,404,472	1,547,753
%		-17.24%	-8.79%
Valor do Arroz (mil R\$)	4,513,788	4,604,771	4,930,528
%quantidade ofertada		2.02%	9.23%
Norte	653,366	514,788	576,583
%		-21.21%	-11.75%
Nordeste	955,321	764,039	809,211
%		-20.02%	-15.29%
Sudeste	107,202	120,966	128,736
%		12.84%	20.09%
Sul	2,595,396	3,035,471	3,228,603
%		16.96%	24.40%
Centro-Oeste	202,503	169,506	187,395
%		-16.29%	-7.46%
Valor do Banana (mil R\$)	5,046,053	4,266,457	4,573,904
%quantidade ofertada		-15.45%	-9.36%
Norte	173,668	144,889	155,804
%		-16.57%	-10.29%
Nordeste	3,314,215	2,373,106	2,623,126
%		-28.40%	-20.85%
Sudeste	1,115,776	1,262,334	1,299,358
%		13.14%	16.45%
Sul	380,270	435,501	441,669
%		14.52%	16.15%
Centro-Oeste	62,124	50,626	53,948
%		-18.51%	-13.16%
Valor do Café (mil R\$)	7,338,437	9,313,374	9,865,753
%quantidade ofertada		26.91%	34.44%
Norte	29,253	22,914	24,643
%		-21.67%	-15.76%
Nordeste	448,218	304,532	317,380
%		-32.06%	-29.19%
Sudeste	6,453,002	8,492,825	9,012,000
%		31.61%	39.66%
Sul	389,181	473,180	489,309
%		21.58%	25.73%
Centro-Oeste	18,783	19,923	22,422
%		6.07%	19.37%
Valor da Cana-de-açúcar (mil R\$)	18,475,772	20,251,914	20,793,540
%quantidade ofertada		9.61%	12.54%
Norte	26,599	18,859	19,584
%		-29.10%	-26.37%
Nordeste	3,262,661	2,905,575	2,953,946
%		-10.94%	-9.46%
Sudeste	12,217,567	14,323,766	14,738,857
%		17.24%	20.64%
Sul	1,078,010	1,260,782	1,297,797
%		16.95%	20.39%
Centro-Oeste	1,890,935	1,742,933	1,783,357
%		-7.83%	-5.69%

**Tabela 10 - Aumento do investimento agrícola no cenário A2 de longo prazo
(continuação)**

	Atual	Cenário A	
		Investimento agrícola constante	Aumento de 10% do investimento agrícola
		2070-2099	2070-2099
Valor do Feijão (mil R\$)	1,050,754	901,480	911,784
%quantidade ofertada		-14.21%	-13.23%
Norte	32,595	24,827	25,130
%		-23.83%	-22.90%
Nordeste	390,164	212,366	221,374
%		-45.57%	-43.26%
Sudeste	337,198	404,824	406,992
%		20.06%	20.70%
Sul	167,810	201,073	193,397
%		19.82%	15.25%
Centro-Oeste	122,987	58,390	64,891
%		-52.52%	-47.24%
Valor do Fumo (mil R\$)	2,879,868	3,581,850	3,710,649
%quantidade ofertada		24.38%	28.85%
Norte	994	746	757
%		-24.98%	-23.86%
Nordeste	91,789	67,333	74,007
%		-26.64%	-19.37%
Sudeste	1,578	1,758	1,742
%		11.40%	10.42%
Sul	2,785,446	3,511,973	3,634,095
%		26.08%	30.47%
Centro-Oeste	61	41	48
%		-33.07%	-21.23%
Valor da Laranja (mil R\$)	4,174,756	4,102,457	4,164,604
%quantidade ofertada		-1.73%	-0.24%
Norte	60,385	46,365	48,542
%		-23.22%	-19.61%
Nordeste	675,031	488,409	512,528
%		-27.65%	-24.07%
Sudeste	3,071,484	3,165,022	3,193,304
%		3.05%	3.97%
Sul	349,714	389,938	396,864
%		11.50%	13.48%
Centro-Oeste	18,142	12,722	13,365
%		-29.87%	-26.33%
Valor do Mandioca (mil R\$)	3,683,827	2,970,145	3,037,050
%quantidade ofertada		-19.37%	-17.56%
Norte	876,203	579,929	633,663
%		-33.81%	-27.68%
Nordeste	1,464,313	932,566	952,342
%		-36.31%	-34.96%
Sudeste	285,238	358,162	369,847
%		25.57%	29.66%
Sul	906,294	988,586	974,491
%		9.08%	7.52%
Centro-Oeste	151,779	110,903	106,705
%		-26.93%	-29.70%
Valor do Milho (mil R\$)	11,359,560	11,898,083	12,195,262
%quantidade ofertada		4.74%	7.36%
Norte	264,248	219,176	228,091
%		-17.06%	-13.68%
Nordeste	1,812,202	1,452,551	1,549,378
%		-19.85%	-14.50%
Sudeste	2,381,694	2,601,626	2,621,957
%		9.23%	10.09%
Sul	4,629,782	5,520,902	5,625,261
%		19.25%	21.50%
Centro-Oeste	2,271,634	2,103,828	2,170,576
%		-7.39%	-4.45%

**Tabela 10 - Aumento do investimento agrícola no cenário A2 de longo prazo
(continuação)**

	Atual	Cenário A	
		Investimento agrícola constante	Aumento de 10% do investimento agrícola
		2070-2099	2070-2099
Valor da Soja (mil R\$)	16,970,009	16,753,635	17,341,334
<i>%quantidade ofertada</i>		-1.28%	2.19%
Norte	246,073	133,559	155,508
%		-45.72%	-36.80%
Nordeste	1,281,337	492,601	549,826
%		-61.56%	-57.09%
Sudeste	1,092,399	1,440,335	1,476,409
%		31.85%	35.15%
Sul	7,461,754	8,438,684	8,714,897
%		13.09%	16.79%
Centro-Oeste	6,888,446	6,248,456	6,444,694
%		-9.29%	-6.44%
Valor do Trigo (mil R\$)	880,271	981,249	1,033,505
<i>%quantidade ofertada</i>		11.47%	17.41%
Norte	1,134	595	628
%		-47.49%	-44.65%
Nordeste	97	29	32
%		-69.67%	-66.96%
Sudeste	43,353	37,060	39,445
%		-14.52%	-9.01%
Sul	813,151	927,250	976,129
%		14.03%	20.04%
Centro-Oeste	22,536	16,315	17,271
%		-27.60%	-23.36%
Valor dos Produtos (mil R\$)	79,002,607	81,806,341	84,971,512
<i>%quantidade ofertada</i>		3.55%	7.56%
Norte	2,364,518	1,706,647	1,868,933
%		-27.82%	-20.96%
Nordeste	14,535,792	10,664,862	11,319,234
%		-26.63%	-22.13%
Sudeste	27,182,048	32,293,763	33,377,685
%		18.81%	22.79%
Sul	21,573,340	25,202,953	25,993,237
%		16.82%	20.49%
Centro-Oeste	13,346,909	11,938,115	12,412,424
%		-10.56%	-7.00%
Lucro (mil R\$)	20,311,755	18,845,641	20,421,534
<i>%lucratividade</i>		-7.22%	0.54%
Norte	515,609	248,001	358,410
%		-51.90%	-30.49%
Nordeste	5,907,449	3,977,470	4,303,764
%		-32.67%	-27.15%
Sudeste	5,877,525	6,464,805	7,000,807
%		9.99%	19.11%
Sul	5,002,371	4,322,160	4,719,693
%		-13.60%	-5.65%
Centro-Oeste	3,008,802	3,833,205	4,038,859
%		27.40%	34.23%

Fonte: Elaboração própria.

Anexo V - A função de lucro restrita

Supõe-se que a função de produção de cada produto agrícola é dada por:

$$m_i^s = f_i(\{m_e^d\}_{e=1}^{m^d} | \{x_k\}_{k=1}^w) \quad \forall i = 1, \dots, m^s \quad (1)$$

A função de lucro agregado pode ser escrita, dessa maneira, como:

$$\pi(\{m_e^d\}_{e=1}^{m^d} | p, x) = \sum_{i=1}^{m^s} p_i f_i(\{m_e^d\}_{e=1}^{m^d} | \{x_k\}_{k=1}^w) - \sum_{e=1}^{m^d} p_e m_e^d \quad (2)$$

A maximização de $\pi(\{m_e^d\}_{e=1}^{m^d} | p, x)$ em relação a cada m_e^d gera $m^{d*} = m^d(p, x)$ equações de demanda por fatores de produção. Chega-se, disto, à seguinte equação:

$$\pi^* = \sum_{i=1}^{m^s} p_i f_i(\{m_e^{d*}(p, x)\}_{e=1}^{m^d} | \{x_k\}_{k=1}^w) - \sum_{e=1}^{m^d} p_e m_e^{d*}(p, x)$$

$$\pi^* = \pi(p, x) \quad (3)$$

A expressão em (6) pode ser chamada de função de lucro restrita²⁶, identificando o lucro máximo como função somente dos vetores de variáveis exógenas p e x .

Além disso, se valem as condições de regularidade²⁷, pode-se utilizar o *Lema de Hotelling* para a obtenção de:

$$m_i^{s*} = m_i^s(p, x) = \frac{\partial \pi(p, x)}{\partial p_i} \quad (4)$$

$$m_e^{d*} = m_e^d(p, x) = - \frac{\partial \pi(p, x)}{\partial p_e} \quad (5)$$

As equações (8) e (9) representam a oferta de produtos agrícolas e a demanda por fatores de produção, respectivamente.

²⁶ Ver Mc Fadden (1978) para discussão a respeito de funções de lucro restritas.

²⁷ As condições de regularidade encontram-se no anexo VI.

Anexo VI - Condições de regularidade de uma função lucro restrita

A depender das condições climáticas e de tecnologia, a quantidade demandada por insumos e a oferta de produtos, iguais a m , podem variar. Por isso, pode-se escrever que $m \in T(x)$, com m representando, neste caso, os diversos planos de produção que podem pertencer a $T(x)$, o conjunto das possibilidades de produção dependente dos valores assumidos pelos fatores fixos x .

Cabe anunciar algumas propriedades desejáveis do conjunto de possibilidades de produção, derivadas de axiomas advindos da teoria microeconômica. Este deve ser não-nulo, fechado, convexo e apresentar *free disposal*.

Assumindo a validade de tais propriedades a respeito de $T(x)$, podem ser derivadas algumas condições de regularidade a respeito da função de lucro restrita. Dentre elas destacam-se as condições que assumem que para cada $x_k \in x$, $\pi(p, x)$ é *convexa*, *continua*, *homogênea de grau um* e *fechada* em p . Vale ainda que, para cada $x_k \in x$, $\pi(p, x)$ é contínua e côncava em x ²⁸.

Também fazem parte das condições de regularidade, derivadas das hipóteses a respeito de $T(x)$, propriedades que devem exibir as derivadas de (7) em função de p .

A primeira, chamada de *Lema de Hottelling*, diz que o vetor de derivada parcial da função de lucro com respeito ao preço de determinado m , quando existe, é igual ao m único maximizador de lucros.

Diewert (1971) cita que “o *Lema de Hottelling* é extremamente útil do ponto de vista econométrico uma vez que torna possível a obtenção de formas funcionais para as funções de demanda e oferta consistentes com o problema de maximização de lucro pela simples escolha uma forma funcional para π e posterior diferenciação da mesma com respeito aos preços dos *netputs*”.

Outra condição impõe que para z e g fixos, $\pi(p, x)$ tem diferencial de primeira e segunda ordem em p . Diz, além disso, que o vetor de derivadas parciais de primeira ordem de π com respeito a p , denotado por $\pi_p(p, x)$ e chamado de *gradiente*, é

²⁸ Para provas e maiores detalhes ver *McFadden* (1978).

contínuo e que a matriz de derivadas parciais de segunda ordem de π com respeito à p , denotada por $\pi_{pp}(p, x)$ e chamada de *hessiana*, é simétrica e semi-positiva definida²⁹.

Disto, extrai-se que a função de lucro restrita, para satisfazer as condições de regularidade, deve apresentar *continuidade* e *concavidade* em x e *convexidade* e *homogeneidade de grau um* em p . Deve ainda ser *fechada* para todo p , com *gradiente contínuo* e *matriz hessiana simétrica e semi-positiva definida*. Tais propriedades foram testadas e/ou impostas na forma funcional escolhida para a função lucro.

²⁹ Para prova, consultar McFadden (1978), pág. 74.

Anexo VII - A forma funcional da função de lucro restrita

Uma vez explicado o conceito de função de lucro restrita, indagou-se a respeito de sua forma funcional, procurando especificá-la de maneira condizente com as propriedades assumidas a respeito do conjunto de possibilidades de produção.

Um primeiro ponto de destaque é que, de acordo com Lau (1977), a forma funcional da função de lucro restrita pode ser escolhida sem que um problema de maximização seja resolvido, o que torna desnecessária a escolha de qual função de produção utilizar. Esta possibilidade é explicada pelo *Teorema da Dualidade de Shephard-Uzawa*, que assegura equivalência perfeita entre a função de lucro, a função de produção e a função de custo pela existência de correspondência biunívoca para cada par das três funções³⁰.

Além disso, como demonstrado por Lau (1977), por meio da *transformação de Legendre*, todas as propriedades desejáveis de uma função de produção têm seu equivalente na função de lucro. Assim, quando uma função lucro é empregada para derivação das curvas de demanda e oferta, as propriedades da tecnologia escolhida são mantidas, tornando possível escolher a forma funcional de $\pi(p, x)$ de acordo com o tipo de tecnologia que se deseja analisar.

Optou-se pela utilização de formas funcionais flexíveis para função de lucro, que são aproximações de segunda ordem de determinada forma funcional duas vezes diferenciável. Estas, de acordo com Williamson (2004), não impõem restrições *a priori* no caminho de expansão da renda³¹, na elasticidade de substituição, e nos efeitos de escala da tecnologia que se deseja analisar ao contrário das formas funcionais convencionais C.E.S. ou *Cobb-Douglas*. Exemplos de função lucro com forma funcional flexível são a *translog*, a *quadrática* e a *generalizada de Leontief*.

Diewert (1971) cita que, “no geral, tenta-se obter formas funcionais flexíveis que satisfaçam três condições”. São elas (i) linearidade dos parâmetros desconhecidos para facilitar técnicas de regressão (ii) número de parâmetros precisos para prover uma aproximação de segunda ordem (iii) necessidade de um conjunto simples de restrições sobre parâmetros desconhecidos para satisfação das condições de regularidade³².

³⁰ A validade do mesmo teorema para o caso de uma função de lucro restrita é provada por McFadden (1978), pág. 81.

³¹ Não existe, dessa maneira, necessidade que a função de tecnologia seja homotética.

³² Expostas no anexo VI.

Este trabalho optou por utilizar a forma funcional *generalizada de Leontief* (GL) para a função de lucro restrita de bens agrícolas assim como Behrman et al. (1992), Shumway et al. (1993) e Lang (1999). Além de ser uma forma flexível linear nos termos de primeira ordem, exige a imposição de simples conjunto de restrições aos parâmetros desconhecidos, tornando-a a mais apropriada nos conceitos de Diewert (1971) acima mencionados.

Vale notar, entretanto, que o fato de os termos de primeira ordem serem lineares para a GL impõe restrições como baixa elasticidade de substituição entre os insumos e baixa elasticidade de transformação dos produtos. Se tais implicações não forem observadas na prática podem levar à subestimação das elasticidades preço da demanda e oferta (Williamson et al., 2004). As restrições, entretanto, parecem bastante plausíveis para o caso agrícola conforme relatado por Behrman et al. (1992) que afirmam que “apesar dos erros de estimação que podem ocorrer quando a forma de *Leontief* é empregada para tecnologias caracterizadas como flexíveis, os erros introduzidos por inadequações da forma funcional *translog*, não linear, para estimação da função de lucro podem ser ainda mais severos”.

Também Shumway et al. (2004), comparando os resultados obtidos para as elasticidades de produtos agrícolas, concluem que a forma funcional *translog* foi a menos apropriada para a base de dados utilizada já que os valores obtidos com esta foram bem maiores do que aqueles encontrados com a GL e *quadrática* e citam que “se a forma funcional *translog* tem sido erradamente selecionada para análises de elasticidades em detrimento de formas alternativas verdadeiras, então é provável que os valores tenham sido grandemente superestimados, com sinais opostos em alguns casos”. Bergman (1997), por fim, anuncia que “na presença de mais de um fator fixo...” – como no caso deste experimento, que emprega vetores de clima e tecnologia como delimitadores do conjunto das possibilidades de produção -, “... não existe uma função geral tão simples como a função de lucro GL padrão que satisfaça todas as propriedades desejáveis”.

Outra decisão relevante diz respeito à escolha dos retornos de escala que a função de lucro deve exibir. Apesar de a forma funcional da função de lucro sempre ser definida como homogênea de grau um para preços, não necessariamente o é para fatores fixos. Contudo, é razoável notar que “na maioria das aplicações da GL a propriedade de homogeneidade linear para fatores fixos é, implicitamente ou explicitamente, assumida” (Bergman, 1997). Isto ocorre, notadamente, porque a homogeneidade de grau um dos

fatores fixos implica retornos constantes de escala para todos os fatores presentes no modelo, fixos ou variáveis³³; uma hipótese razoável sob os pressupostos de competição perfeita e convexidade do conjunto das possibilidades de produção.

Ponto importante é que a homogeneidade de grau um para todos os fatores fixos pode ser imposta conjuntamente ou separadamente. Bergman (1997) exemplifica que, “se os fatores fixos são diferentes tipos de capital, a hipótese natural é a de que apresentem homogeneidade de grau um conjuntamente uma vez que se faz necessária a duplicação de todos os tipos de capital para que o mesmo seja observado para o lucro. Todavia, se os fatores fixos são capital e tecnologia, então é razoável supor que cada fator apresente homogeneidade linear em relação ao lucro separadamente. Isto significa que se ambos o estoque de capital e o nível de tecnologia dobrarem, então o nível de lucros irá se quadruplicar”.

Assumiu-se, dessa maneira, homogeneidade linear para os fatores fixos de x já que o ambiente pressuposto é de competição perfeita e o conjunto das possibilidades de produção é assumido convexo. Entretanto, acredita-se que os vetores de tecnologia e clima sejam homogêneos de grau um separadamente por afetarem o lucro de maneira distinta.

³³ Para prova ver *Bergman* (1997), pág 250.