

Impacto das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro: análise da irrigação como estratégia adaptativa

*Dênis Antônio da Cunha¹
Alexandre Bragança Coelho²
José Gustavo Féres³
Marcelo José Braga⁴*

RESUMO

O principal objetivo deste estudo foi analisar os efeitos das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro, considerando a irrigação como medida adaptativa. Pretendeu-se investigar como a variabilidade climática influencia a irrigação e se essa medida tornará menor a vulnerabilidade dos produtores brasileiros às alterações do clima. Foram utilizadas projeções de temperatura e precipitação para o período de 2010 a 2099, sob diferentes cenários climáticos, conforme o 4º relatório do IPCC (2007). Analiticamente, estimou-se um modelo de Efeito de Tratamento. Os resultados confirmaram que decisão de irrigar é sensível às variações no clima. Nas localidades onde são praticadas técnicas de irrigação, os rendimentos dos produtores tendem a ser crescentes, enquanto naquelas onde a produção agrícola é exclusivamente de sequeiro são estimadas perdas que podem chegar a aproximadamente 14% em relação ao período atual. Em relação a outros estudos, as conclusões deste artigo indicam um quadro menos pessimista dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira, mas confirmam a necessidade de investimento em medidas adaptativas, de modo a tornar o país mais apto a lidar com os efeitos adversos das alterações do clima global.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas; Agricultura; Adaptação; Irrigação.

Abstract

This paper aims to analyze the effects of climate change on Brazilian agriculture sector considering the irrigation adoption as an adaptation strategy. It was intended to investigate how the climatic variability influences the irrigation adoption and whether this adaptation measure actually reduces producers' vulnerability to climate change. Temperature and precipitation projections for the 2010-2099 time period were used, considering different climate scenarios, according the 4th Assessment Report of IPCC (2007). The framework used was the Treatment Effects model. The results show that irrigation adoption is sensible to climate variations. In areas where irrigation techniques are practiced, the farmers' incomes tend to grow, while in those where the agricultural production is exclusively dryland, the losses can be approximately 14% in relation to the current period. Considering other studies already done in Brazil, the conclusions of this paper indicate a scenario less pessimist about the impacts of climate change in the Brazilian agriculture, but they confirm the need of investment in adaptation strategies, to make the country able to work with the adverse effects of global climate's alterations.

KEY-WORDS: Climate change; Agriculture; Adaptation; Irrigation.

ÁREA E SUB-ÁREA TEMÁTICA

6. Economia Agrária, Espaço e Meio ambiente. 6.2. Economia Agrária e do Meio Ambiente

FORMA DE APRESENTAÇÃO: Sessão Ordinária

¹ Doutorando em Economia Aplicada e Professor da Universidade Federal de Ouro Preto.

² Professor da Universidade Federal de Viçosa.

³ Pesquisador do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

⁴ Professor da Universidade Federal de Viçosa.

1. INTRODUÇÃO

Principalmente a partir da década de 1990, as mudanças climáticas globais têm sido amplamente discutidas por pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento. Sabe-se que esse processo potencialmente irá alterar a geografia física e humana do planeta. As alterações nos níveis de temperatura e a variabilidade da precipitação dependem do funcionamento do tempo e do clima para o mundo como um todo, no entanto seus impactos são muito distintos em termos locais e setoriais (STERN, 2008). O setor agrícola, por depender diretamente de temperatura e precipitação, é um dos mais vulneráveis à mudança climática. Mesmo com todos os avanços tecnológicos, as condições ambientais ainda são um fator chave para a produtividade agrícola (DESCHÊNES; GREENSTONE, 2007).

Embora não haja consenso sobre o exato impacto das mudanças climáticas no setor agrícola, em geral, aceita-se que países em desenvolvimento, como o Brasil, serão mais afetados negativamente. A explicação para tal é a sua localização predominantemente em baixas latitudes, onde as temperaturas já estão próximas ou acima dos níveis ótimos para a agricultura. Além disso, como o setor é responsável por parcela expressiva da renda das nações em desenvolvimento, um dado percentual de redução no potencial agrícola levaria a prejuízos mais elevados do que nas economias desenvolvidas (CLINE, 2007; STERN, 2007).

Segundo Seo e Mendelsohn (2008), para quantificar adequadamente os impactos das alterações climáticas sobre a agricultura, é preciso levar em conta as estratégias de adaptação. As análises não podem simplesmente estimar como uma cultura específica será afetada, mas devem reconhecer que os produtores irão modificar suas decisões de produção para maximizar o lucro conforme cada cenário climático. Estudos que assumem que os produtores continuarão realizando a(s) mesma(s) atividade(s) e sem alteração de suas técnicas produtivas certamente superestimam os prejuízos.

No Brasil, principalmente devido à grande disponibilidade de água (o país detém cerca de 12% das reservas de água doce do planeta, segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2006), é possível afirmar que a prática de irrigação apresenta-se como uma importante forma de adaptação aos efeitos adversos das alterações do clima no setor agrícola. Além disso, o país possui aproximadamente 30 milhões de hectares que se configuram como solos aptos para desenvolvimento sustentável⁵ da agricultura irrigada, dos quais apenas 4,4 milhões estão em produção com técnicas e sistemas de irrigação. Embora tenha havido um aumento de

⁵ O termo “sustentável” indica que a estimativa levou em conta a existência de solos aptos, a disponibilidade de recursos hídricos sem risco de conflitos com outros usos prioritários da água e o atendimento às exigências da legislação ambiental e Código Florestal.

42% no total da área irrigada no país em relação ao censo agropecuário de 1995/96, ainda há mais de 25 milhões de hectares de terras passíveis de produção com métodos de irrigação e drenagem agrícola (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2006; CHRISTOFIDIS, 2009).

Em termos de mudanças climáticas, a irrigação é considerada como uma prática adaptativa pois é utilizada no controle da deficiência hídrica, que pode ser decorrente de precipitação aquém do necessário e, ou, distribuída irregularmente ao longo do ano. Segundo Coelho et al. (2006), essa distribuição irregular faz com que ocorram períodos de déficit hídrico no solo e conseqüente decréscimo de produtividade e de produção. A irrigação constitui-se uma ferramenta indispensável para o incremento da produtividade, principalmente em regiões nas quais a variabilidade climática caracteriza-se por baixa precipitação.

Nesse contexto, este estudo teve como principal objetivo realizar uma análise dos efeitos das mudanças climáticas sobre o setor agrícola brasileiro, considerando a irrigação como estratégia adaptativa. Pretendeu-se investigar como a variabilidade climática influencia a irrigação e se essa medida de adaptação de fato tornará menor a vulnerabilidade dos produtores brasileiros às alterações climáticas e, em caso afirmativo, qual é o prejuízo para as produções de sequeiro.

Entre as justificativas para se desenvolver um modelo de adaptação às mudanças climáticas, pode-se destacar o fato de que o Brasil é altamente preparado para implementar estratégias adaptativas em larga escala, já que tem um sistema de pesquisa e extensão agropecuária que pode oferecer infraestrutura e organização para responder às pressões impostas pelo aquecimento global (ANDERSON; REIS, 2007). Além disso, conforme Christofidis (2006), o país detém um potencial superior a 13% das capacidades mundiais de incorporação de novas áreas à agricultura irrigada, ou seja, ainda são elevadas as possibilidades de desenvolvimento sustentável dessa atividade.

Os principais estudos que analisaram a agricultura brasileira (SIQUEIRA et al., 1994; SANGHI et al., 1997; NOBRE et al., 2005; ÁVILA et al., 2006; FÉRES et al.; 2008; e EMBRAPA, 2008) foram unânimes ao afirmar que as mudanças climáticas causarão impacto líquido negativo para o país. Há concordância também que as diversas regiões serão afetadas de modo distinto, o que está diretamente relacionado à substancial variação de condições edafoclimáticas ao longo do território nacional. No entanto, a exceção das análises de mudança no uso da terra de Evenson e Alves (1998), Anderson e Reis (2007) e de Féres et al. (2009), nenhum dos vários estudos considerou a adaptação, o que pode estar sobreestimando

os impactos. Portanto, ao incluir explicitamente a irrigação como estratégia adaptativa, este trabalho procurou obter um melhor entendimento dos impactos sobre o setor agrícola nacional e, dessa forma, contribuir de modo mais efetivo para futuras políticas públicas que visem a criação de estratégias de combate os efeitos do aquecimento global na agricultura, dada a grande importância do setor para a economia do Brasil.

Além desta introdução, o trabalho está dividido em outras quatro seções. Na segunda, é apresentado o modelo teórico de adoção de irrigação; na terceira, a metodologia, que contém o modelo empírico e a descrição dos dados utilizados; na quarta, os resultados obtidos; e, na quinta, as principais conclusões.

2. MODELO TEÓRICO

As influências da mudança climática sobre as decisões de produção agrícola e sua lucratividade foram analisadas por meio de um modelo de produção multi-produto baseado em Negri et al. (2005). O modelo permite a substituição tanto de insumos quanto de produtos, ou seja, os produtores podem se adaptar alterando o *mix* de culturas ou as práticas produtivas. A ênfase aqui recaiu sobre a decisão de irrigação, que foi modelada explicitamente como medida adaptativa, o que difere da abordagem tradicional já realizada no Brasil.

Para caracterizar os elementos do modelo, considere Q como um vetor de produtos agrícolas e X um vetor de insumos variáveis (por exemplo, trabalho, água, fertilizantes, energia etc.); P_q e P_x se referem, respectivamente, aos vetores de preços exógenos dos produtos e dos insumos; T é um escalar que representa a escolha discreta de irrigação, ou seja, a decisão de investir num sistema de irrigação para complementar a precipitação natural; π é o custo anual da irrigação e W é um vetor de variáveis exógenas, que incluem características edafoclimáticas (como tipos de solos, temperatura e precipitação), fatores demográficos, socioeconômicos e estruturais que estão associados à escolha de irrigação⁶; por fim, nessa abordagem, a quantidade de terra utilizada para a produção agrícola é considerada como um insumo fixo e é representada por um escalar N .

Considerando mercados competitivos para insumos e produtos, uma quantidade fixa de terra, a tecnologia representada por uma função de produção bem-comportada (duas vezes continuamente diferenciável, estritamente quase-côncava e com produtos marginais positivos) e produtores avessos ao risco, a função de lucro pode ser escrita como dependente dos preços dos produtos e insumos variáveis e das quantidades fixas de insumos:

⁶ As variáveis representativas de cada um desses aspectos foram descritas na seção 3.2, Tabela 1.

$$\Pi(P_q, P_x, \varpi, N, W) = \max_{X, T} \{P_q' Q - P_x' X - \varpi T \quad : \quad Q \in Q(X, W, N, T)\} \quad (1)$$

em que $Q(X, W, N, T)$ é o conjunto restrito de possibilidades de produção imposto pela tecnologia de produção, restrição de terra, N , variáveis exógenas, W , e a escolha discreta de irrigação, T .

A decisão de produzir utilizando irrigação é oposta à produção de sequeiro. O produtor que maximiza lucro irá instalar a infra-estrutura de irrigação se

$$\Pi^I(P_q, P_x, \varpi, N, W) > \Pi^S(P_q, P_x, N, W) \quad (2)$$

em que os índices I e S denotam produção irrigada e de sequeiro, respectivamente.

As funções de lucro associadas à escolha do produtor podem ser escritas como:

$$\begin{aligned} \Pi^I(P_q, P_x, \varpi, N, W) &= \max_X \{P_q' Q - P_x' X - \varpi T^I \quad : \quad Q \in Q(X, W, N, T^I)\} \\ \Pi^S(P_q, P_x, N, W) &= \max_X \{P_q' Q - P_x' X \quad : \quad Q \in Q(X, W, N, T^S)\} \end{aligned} \quad (3)$$

A análise do impacto das alterações climáticas sobre cada tipo de produção não pode ser realizada sobre a lucratividade anual, tal qual representada por (3). Isso ocorre pois Π^I e Π^S expressam valores que variam de ano para ano, como resultado das condições meteorológicas e dos preços, ao passo que o interesse recai sobre a análise dos efeitos do clima, que é o padrão de longo prazo do tempo.

Os valores da terra são uma boa aproximação para a lucratividade (Π^I e Π^S), pois representam o valor presente do fluxo das rendas líquidas futuras. Segundo Mendelsohn et al. (1994), valores da terra proporcionam uma melhor medida de análise dos efeitos do clima pois refletem a expectativa de receita líquida em muitos anos, considerando que a terra é sempre utilizada para a atividade mais lucrativa. Dessa forma, o valor da terra é o mesmo que uma variação intertemporal de (3).

O valor de uma parcela de terra é determinado pela renda líquida que ela pode gerar e, por conseguinte, as diferenças em termos de quantias pagas por parcelas distintas resultam de diferenças de produtividade. Dessa forma, qualquer fator que influencie a produtividade, será refletido no valor da terra. O impacto da mudança no clima é, então, capturado pela alteração no valor da terra, utilizada para produções irrigadas e de sequeiro, entre diferentes condições climáticas (MENDELSON et al., 1994).

3. METODOLOGIA

3.1. Modelo de efeito de tratamento

O objetivo principal desse trabalho foi avaliar se a adoção de irrigação, como medida adaptativa, irá reduzir o impacto negativo esperado das mudanças climáticas globais sobre os produtores agrícolas brasileiros. Estudos pioneiros desse tema (SCHLENKER et al., 2005; KURUKULASURIYA et al., 2006, por exemplo) recorriam à estimação de modelos separados para a produção irrigada e de sequeiro, avaliando o retorno de cada uma dessas formas de organização da produção. Nesses trabalhos, a irrigação como se sua prática fosse distribuída aleatoriamente entre a população. No entanto, a escolha de praticar agricultura irrigada deve ser considerada como uma ação de otimização, influenciada pelo ambiente no qual o produtor se encontra, ou seja, suas características pessoais, condição econômica, fatores climáticos etc.

Nesse contexto, no presente estudo foi utilizado o modelo de Efeito de Tratamento, por meio da estimação do Efeito do Tratamento Médio (ETM) e Efeito do Tratamento Médio sobre o Tratado (ETM_1). Analisou-se o efeito parcial da irrigação (o “tratamento”) sobre o valor da terra dos produtores. O ETM e o ETM_1 podem ser definidos, respectivamente, como:

$$ETM \equiv E(y_{1i} - y_{0i}) \quad (4)$$

$$ETM_1 \equiv E(y_{1i} - y_{0i} | D = 1) \quad (5)$$

em que y_{1i} é o resultado esperado do valor da terra para cada produtor irrigante e y_{0i} para cada produtor de sequeiro; $E(y_{1i} - y_{0i})$ refere-se à expectativa do efeito do tratamento, de modo que, para chegar ao resultado do ETM é preciso obter a diferença entre $y_{1i} - y_{0i}$; $D = 1$ identifica a adoção de irrigação (“tratamento”); e ETM_1 é a média do efeito para aqueles que efetivamente praticaram irrigação (ROSENBAUM; RUBIN, 1983; CAMERON; TRIVEDI, 2005).

A estimação de ETM e ETM_1 a partir de dados *cross-section*, como é o caso deste estudo, fica complicada pois não é possível observar y_{0i} para o irrigante, tampouco y_{1i} para o produtor de sequeiro. Em outras palavras, não é possível verificar, ao mesmo tempo, os dois *status* (irrigante e produtor de sequeiro) para um mesmo indivíduo. Sendo assim, o resultado observado a partir de (4) e (5) é:

$$y = (1 - D)y_{0i} + Dy_{1i} = y_{0i} + D(y_{1i} - y_{0i}), \quad (6)$$

em que, para proceder à estimação, é necessário supor que D seja estatisticamente independente de y_{0i} e de y_{1i} , ou seja, deve-se admitir que a adoção de irrigação é aleatória

entre os agentes. Admitindo essa independência, ETM e ETM_1 serão iguais, e a estimação de ambos poderá ser feita da mesma forma.

Partindo-se da equação 6, tem-se que

$$E(y | D = 1) = E(y_{1i} | D = 1) = E(y_{1i}) \text{ e} \quad (7)$$

$$E(y | D = 0) = E(y_{0i} | D = 0) = E(y_{0i}) \quad (8)$$

Segue-se, então, que

$$ETM = ETM_1 = E(y | D = 1) - E(y | D = 0). \quad (9)$$

Se o tratamento fosse aleatório, estaria garantido que o estimador da diferença, em médias, seria não viesado, consistente e assintoticamente normal. Contudo, a escolha entre praticar agricultura de sequeiro ou utilizar irrigação não pode ser analisada como uma decisão aleatória, visto que o produtor somente será um irrigante se essa forma de produção for mais lucrativa que a primeira, isto é, $\Pi^I(P_q, P_x, \varpi, N, W) > \Pi^S(P_q, P_x, N, W)$. Ou seja, a decisão do produtor é tomada num processo de maximização de benefícios que garante que somente sejam observadas escolhas ótimas, independentemente de qual opção tenha sido selecionada. É razoável afirmar ainda que, mesmo que os produtores sejam potenciais irrigantes, eles podem decidir não fazê-lo devido aos atuais incentivos de mercado. Como o produtor pode optar por irrigar ou não, caracteriza-se a existência de auto-seleção; além disso, o fato de que determinadas características (condições socioeconômicas, agronômicas e fatores climáticos) condicionam a adoção, reforça a não existência de aleatorização da amostra.

Dessa forma, no cálculo do efeito do tratamento deve-se considerar a diferença entre os dois grupos, irrigantes (“tratados”) e produtores de sequeiro (grupo de controle). Porém, é preciso usar como controle um grupo de produtores de sequeiro que tenham características semelhantes aos irrigantes; a ideia é obter um contrafactual que permita identificar o que teria acontecido aos irrigantes, caso eles não tivessem realizado essa forma de organização da produção (CAMERON; TRIVEDI, 2005). Isso pode ser feito por meio do método de pareamento com escore de propensão (Propensity Score Matching – PSM). Rosenbaum e Rubin (1983) indicaram a utilização do PSM para analisar efeitos de tratamento como método de redução de viés nos estudos com dados observacionais, como é o caso desta pesquisa. Deve-se utilizar o pareamento quando a participação no tratamento não é definida aleatoriamente, mas depende estocasticamente de um vetor de variáveis observáveis.

Conforme Rosenbaum e Rubin (1983), o escore de propensão é definido como a probabilidade condicional de receber o tratamento (praticar irrigação), dadas as características pré-estabelecidas:

$$p(W) \equiv \Pr(D=1|W) = E(D|W), \quad (10)$$

em que $D = \{0, 1\}$ é a *dummy* indicadora de utilização de irrigação (tratamento) e W , vetor multidimensional de características antes do tratamento (tipos de solos, temperatura e precipitação, fatores demográficos, socioeconômicos e estruturais que estão associados à escolha de irrigação).

Considerando cada produtor i , se o escore de propensão, $p(W_i)$, é conhecido, então o ETM_1 pode ser estimado da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} ETM_1 &= \{y_{1i} - y_{0i} \mid D_i = 1\} \\ &= E[E\{y_{1i} - y_{0i} \mid D_i = 1, p(W_i)\}] \\ &= E[E\{y_{1i} \mid D_i = 1, p(W_i)\} - E\{y_{0i} \mid D_i = 0, p(W_i)\} \mid D_i = 1] \end{aligned} \quad (11)$$

Para que a equação (11) seja derivada de (10), é preciso supor que $p(W_i)$ é uma função de variáveis observadas W_i , tal que a distribuição condicional de W_i , dado $p(W_i)$, seja a mesma para o grupo tratado e não tratado. Além disso, é preciso considerar que a diferença entre os tratados e não tratados, para um dado escore de propensão, vai gerar uma estimativa não viesada para o efeito de tratamento⁷.

De acordo com Becker e Ichino (2002), para a estimação do escore de propensão pode ser utilizado qualquer modelo de probabilidade, por exemplo, $\Pr(D_i = 1 \mid W_i) = F\{h(W_i)\}$. Nesse artigo foi utilizado o modelo probit, de modo que $F(.)$ é a distribuição normal.

3.2. Dados utilizados

Para compor o vetor W_i , foram utilizados três tipos de variáveis: climáticas, agronômicas e socioeconômicas. As variáveis socioeconômicas (características dos produtores relacionadas à educação, idade, renda, acesso a recursos hídricos etc.) e as que se referem ao uso da terra (área irrigada e de sequeiro) foram obtidas do Censo Agropecuário 2006, em nível de Áreas Mínimas Comparáveis (AMC's)⁸, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Foram utilizadas também variáveis referentes aos tipos de solos, altitude e potencial de erosão, disponibilizadas pelo IPEADATA. Por fim, as

⁷ A derivação e a prova dessas duas hipóteses podem ser obtidas em Rosenbaum e Rubin (1983).

⁸ Segundo Reis et al. (2007) as AMC's não se referem a uma divisão política ou administrativa, mas à área agregada do menor número de municípios necessários para garantir comparações de uma mesma área geográfica entre diferentes anos censitários. Optou-se por essa unidade devido à indisponibilidade de dados em nível individual, ou seja, de cada produtor, ou mesmo em nível municipal (principalmente os dados relacionados às variáveis agronômicas). Tal agregação já foi utilizada nos estudos de Anderson e Reis (2007) e Féres et al. (2008 e 2009).

informações sobre temperatura e precipitação observadas foram obtidas a partir da base de dados CL 2.0 10' do Climate Research Unit – CRU/University of East Anglia. Diferentemente das análises já realizados para o Brasil, nas quais inclui-se apenas o primeiro momento das distribuições de temperatura e precipitação, neste estudo foi considerada a variabilidade climática, por meio da utilização do segundo momento das distribuições de probabilidade climática. Já os dados das projeções climáticas para o período 2010-2099 correspondentes aos Modelos de Circulação Geral (GCMs) do IPCC (2007) (Cenários A1B e A2) foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE.

A descrição de cada variável foi apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das variáveis utilizadas no estudo

Variáveis	Descrição
<i>Condições climáticas</i>	
TMPV	Temperatura verão (°C).
PREV	Precipitação verão (mm).
TMPI	Temperatura inverno (°C).
PREI	Precipitação inverno (mm).
VTMP	Variância da temperatura (1961-1990).
VPRE	Variância da precipitação (1961-1990).
<i>Condições agrônômicas</i>	
RHID	Número de estabelecimentos agropecuários com recursos hídricos na AMC.
POT1	Proporção da área de solo da AMC com potencialidade agrícola na classe média/alta.
POT2	Proporção da área de solo da AMC com potencialidade agrícola na classe baixa.
ALT1	Proporção de área da AMC com altitude de 0 a 99 metros.
ALT2	Proporção de área da AMC com altitude de 1800 a 3000 metros.
PERO	Proporção da área da AMC com limitação acentuada de erosão.
<i>Condições socioeconômicas</i>	
PROP	Número de estabelecimentos agropecuários na AMC cuja condição do produtor com relação às terras é proprietário.
INET	Número de estabelecimentos agropecuários na AMC com acesso à Internet.
REND	Somatório do valor das receitas obtidas pelos estabelecimentos agropecuários da AMC (1000 R\$).
EXPE	Número de estabelecimentos agropecuários na AMC cuja classe de idade da pessoa que dirige o estabelecimento está compreendida entre 25 e 45 anos).
ESUP	Número de estabelecimentos agropecuários na AMC cujo nível de instrução da pessoa que dirige o estabelecimento é o superior.
EMED	Número de estabelecimentos agropecuários na AMC cujo nível de instrução da pessoa que dirige o estabelecimento é no máximo o ensino médio.
NTEC	Número de estabelecimentos agropecuários na AMC que não recebeu nenhuma orientação técnica.
NE	Variável <i>dummy</i> que assume o valor 1 se a AMC está localizada na região Nordeste.
VTERRA	Valor médio da terra nas AMC's (1000 R\$)

Fonte: CRU; IBGE; IPEADATA; CPTEC/INPE

É preciso ressaltar que foi considerado apenas a temperatura e a precipitação de verão e inverno, ao invés das quatro estações do ano. Esse tipo de especificação tem sido comum em análises referentes à América do Sul, como pode ser observado nos estudos de Seo e Mendelsohn (2008) e Seo (2010 e 2011). De acordo com esses autores, nessa região as quatro estações não são bem definidas como no hemisfério Norte e, dessa forma, verão e inverno tendem a captar melhor os efeitos das mudanças climáticas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise pode ser iniciada examinando as estatísticas descritivas das variáveis apresentadas na Tabela 2, considerando produção irrigada e de sequeiro separadamente. Ainda que de modo preliminar, é possível fazer algumas importantes considerações com relação à adoção de irrigação no Brasil.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas por tipo de produção

Variáveis	Irrigantes		Produtores de Sequeiro	
	Media	Desvio-Padrão	Media	Desvio-Padrão
TMPV	24,43	1,97	24,67	2,01
PREV	168,86	74,10	171,46	74,64
TMPI	20,02	3,65	20,63	4,31
PREI	52,67	51,31	59,46	52,15
VTMP	3,74	2,71	3,75	3,28
VPRE	5.437,18	3.398,00	5.529,35	4.137,05
RHID	969,14	2.478,62	958,06	1.949,93
POT1	0,11	0,27	0,09	0,24
POT2	0,56	0,43	0,57	0,41
ALT1	0,13	0,30	0,12	0,29
ALT2	0,00	0,00	0,00	0,01
PERO	0,43	0,36	0,38	0,35
PROP	1.160,67	2.475,59	1.189,63	2.078,59
INET	25,64	66,02	12,20	21,90
REND	41.641,30	13.4372,00	20.597,36	38.461,33
EXPE	527,93	1195,65	585,52	1119,25
ESUP	47,69	83,35	29,10	43,68
EMED	973,22	2257,37	970,92	1732,02
NTEC	42.999,50	219.918,60	71.510,35	254.928,80
NE	72,80	–	27,20	–
VTERRA	5.648,54	67.897,05	635,45	47.836,16
Numero de AMC's	2.315	–	808	–

Nota: As variáveis REND e VTERRA estão cotadas em 1000 R\$ (valores referentes ao Censo Agropecuário 2006).

Fonte: Dados da Pesquisa

As médias das variáveis de precipitação revelam que a produção irrigada está exposta a um volume inferior de chuva, tanto no inverno quanto no verão; já as médias de temperatura não revelam diferenças significativas. Pode-se afirmar que, quando a chuva é abundante, os produtores tendem a praticar agricultura de sequeiro; mas, à medida que a precipitação se torna escassa, há gradual troca para os sistemas irrigados. Em outras palavras, observa-se que a irrigação tem respondido mais ao estresse hídrico. Constatações semelhantes são encontradas no estudo de Seo (2011).

A renda da produção irrigada é substancialmente superior que a da produção de sequeiro. Considerando o valor da receita auferida como um indicativo da disponibilidade de capital para investimento na montagem e operação do sistema de irrigação, pode-se afirmar que produtores com menos recursos financeiros tendem a realizar produção de sequeiro.

A variável sobre a qual será analisado o efeito da irrigação, VTERRA, indica que nas AMC's irrigantes o valor médio da terra é superior ao da produção de sequeiro. Esse é um primeiro indício confirmatório de que a utilização de técnicas de irrigação, ao reduzir o risco associado a alterações no clima e garantir produção agrícola sem sazonalidade, entre outros benefícios, gera maior renda ao produtor, configurando-se como efetiva medida de adaptação.

Feitas essas considerações, pode-se apresentar as estimativas do modelo probit que explica os fatores associados à decisão de irrigar (Tabela 3). Essa estimação foi o primeiro passo para a comparação entre irrigantes e produtores de sequeiro, dados os cenários de mudança climática. De acordo com a metodologia do Propensity Score Matching, o modelo probit foi estimado para calcular os escores de propensão de modo a obter um grupo de produtores de sequeiro (controle) que, dadas as características observáveis, fosse o mais próximo possível dos irrigantes ("tratados"). A variável dependente do modelo assumiu o valor 1 (um) quando havia área irrigada numa determinada AMC e 0 (zero) caso contrário. Das 3.123 AMC's consideradas na pesquisa, 2.315 (74% da amostra) possuíam área irrigada.

Considerando a estatística razão de verossimilhança, o modelo estimado foi altamente significativo. Apenas as variáveis referentes à condição do produtor (PROP), ao potencial agrícola do solo (POT2) e a *dummy* regional (NE) não foram estatisticamente significativas. As demais variáveis foram significativas aos níveis convencionais de significância, o que permite afirmar que fatores climáticos, agrônômicos e socioeconômicos, em conjunto, foram importantes na determinação da decisão de irrigar.

Os parâmetros estimados de TMPV, TMPV2, PREV, TMPI, TMPI2, PREI, VTMP e VPRE foram estatisticamente significantes, indicando, assim como nos estudos de Kurukulasuriya e Mendelsohn (2007), Mendelsonh e Seo (2007) e Seo (2011), que a escolha

de irrigação é sensível tanto à temperatura quanto à precipitação, o que valida sua modelagem como medida adaptativa.

Tabela 3 – Estimativas do modelo probit de determinação da probabilidade de irrigar

Variáveis	Coefficiente	Z	P-valor	EM	Z	P-valor
TMPV	-0,973374	-1,88	0,0600	-0,000203	-0,13	0,8980
TMPV2	0,019682	1,99	0,0460			
PREV	-0,003958	-4,06	0,0000	-0,001164	-4,07	0,0000
TMPI	0,496995	2,20	0,0280			
TMPI2	-0,014755	-3,32	0,0010	-0,002123	-1,78	0,0750
PREI	-0,003417	-4,66	0,0000	-0,001005	-4,67	0,0000
VTMP	-0,104093	-2,34	0,0190	-0,030621	-2,34	0,0190
VPRE	0,000053	4,09	0,0000	0,000016	4,09	0,0000
RHID	0,000146	1,92	0,0550	0,000043	1,92	0,0550
POT1	0,232210	2,09	0,0370	0,068310	2,09	0,0360
POT2	-0,008683	-0,12	0,9070	-0,002554	-0,12	0,9070
ALT1	0,717444	5,57	0,0000	0,211052	5,58	0,0000
ALT2	-10,887130	-2,08	0,0370	-3,202684	-2,08	0,0380
PERO	0,262831	3,46	0,0010	0,077317	3,46	0,0010
PROP	-0,000079	-1,34	0,1800	-0,000023	-1,34	0,1800
INET	0,007533	4,70	0,0000	0,002216	4,77	0,0000
REND	0,000004	4,58	0,0000	0,000001	4,67	0,0000
EXPE	0,000217	1,90	0,0570	0,000064	1,90	0,0570
ESUP	0,004495	4,73	0,0000	0,001322	4,74	0,0000
EMED	-0,000219	-2,16	0,0310	-0,000065	-2,16	0,0310
NTEC	-0,000002	-5,12	0,0000	-0,000001	-5,08	0,0000
NE	-0,084465	-0,61	0,5440	-0,025111	-0,60	0,5480
INTERCEPTO	9,333422	2,05	0,0400	—	—	—

Notas: 1) A estatística LR estimada foi 434,49 com P-valor = 0,0000; 2) EM indica Efeito Marginal

Fonte: Resultados da Pesquisa

A análise conjunta das variáveis TMPV e TMPV2 revelou um padrão em forma de U para a probabilidade de irrigar no período de verão, ou seja, à medida que a temperatura aumenta, a probabilidade de irrigar decresce até atingir um mínimo, quando então volta a crescer. Para entender esse comportamento, deve-se considerar que a finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender às exigências hídricas durante todo seu ciclo, e que altas temperaturas podem ser benéficas ou prejudiciais, dependendo da disponibilidade de umidade no solo. Além disso, a quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, da produtividade desejada, do local de cultivo, do tipo de solo, da época de plantio e do estágio de desenvolvimento da cultura. Durante a fase de amadurecimento e germinação das sementes, bem como durante o crescimento inicial das plântulas, condições excessivas de água no solo podem ser prejudiciais, visto que o aumento da umidade do solo pode acarretar em acúmulo de fungos e outros patógenos nocivos às

sementes e às plantas em estádios iniciais de desenvolvimento (BERNARDO, 1997; NEGRI et al.; 2005; SEVERINO et al., 2005) . Sendo assim, considerando cultivos que tenham sido realizados no final da primavera e início do verão, a tendência é a reduzir a irrigação no período de germinação e, posteriormente, aumentá-la à medida que a temperatura se eleva.

No caso da temperatura de inverno, representada por TMPI e TMPI2, o sinal das variáveis indicou um padrão oposto ao do verão. Em outras palavras, o aumento da temperatura aumenta a probabilidade de irrigar até um valor máximo e posteriormente decresce. Esse resultado é semelhante ao de Mendelsohn e Seo (2007) e de Seo (2011). Considerando que as decisões de irrigação são tomadas antes da estação de crescimento das plantas, baseando-se nas condições do tempo esperadas para esse período, faz sentido o aumento da irrigação à medida que se espera temperaturas mais elevadas. No entanto, como afirmam Mendelsohn e Seo (2007), para aumentos de temperatura a partir de determinados limites, a lucratividade esperada da irrigação deixa de ser tão expressiva. Com isso, a eficiência da irrigação passa a diminuir e os ganhos obtidos podem não compensar seus custos.

A explicação de Mendelsohn e Seo (2007) também se aplica ao aparente sinal controverso de VTMP. Inicialmente esperava-se que, com o aumento da variância da temperatura, houvesse maior irrigação. Porém, se a maior variância representa mais risco de elevadas ondas de calor (ou frio) e que, para certos níveis de elevação (redução) da temperatura, a irrigação não tem grande poder adaptativo e é menos lucrativa, o sinal negativo faz sentido. Esse poderia ser mais um indício confirmatório de que a irrigação no Brasil é feita mais como resposta ao estresse hídrico do que térmico.

Com relação às variáveis de precipitação, PREV, PREI e VPRE, os sinais apresentaram o comportamento esperado. À medida que a precipitação aumenta, a probabilidade de irrigar diminui. A irrigação procura responder à deficiência hídrica, sendo fundamental para os ganhos de produtividade (COELHO, et al. 2006). Porém, como destaca Mendelsohn e Seo (2007), a contribuição marginal da irrigação à lucratividade dos produtores diminui à medida que a precipitação aumenta. Isso faz sentido, já que produtores não precisam fazer uso intensivo de técnicas de irrigação em locais onde a precipitação é alta. No caso da variância da precipitação, o sinal positivo pode estar indicando produtores avessos ao risco, que tendem a se tornar irrigantes quanto maior for o risco associado à ocorrência de secas.

Em termos das características socioeconômicas dos produtores, os sinais das variáveis EMED, ESUP e EXPE indicaram que quanto maior o nível de educação e experiência dos

produtores, maior a probabilidade de praticar irrigação. Em geral, produtores mais experientes e com mais anos de estudo tendem a estar predispostos a adotar novas tecnologias. Para a criação da variável ESUP foi considerado o número de estabelecimentos agropecuários na AMC cuja formação da pessoa que dirige o estabelecimento é agronomia, engenharia agrícola, florestal, entre outras formações. Nesses cursos há disciplinas específicas sobre técnicas de irrigação, o que aumenta o conhecimento e a habilidade dos indivíduos em lidar com essa tecnologia. Já no caso da variável EXPE, considerou-se produtores na faixa etária de 25 a 45 anos de idade, ou seja, indivíduos que têm experiência relativamente alta na atividade agrícola e, portanto, com mais condições de decidir sobre a adoção de irrigação.

Inferências semelhantes podem ser feitas para as variáveis relativas ao acesso à internet (INET) e à não utilização de assistência técnica (NTEC); a primeira apresentou sinal positivo, indicando que o acesso à internet aumenta a probabilidade de irrigar, enquanto a segunda teve sinal negativo, demonstrando que a ausência de assistência técnica pode contribuir para a não adoção. Atualmente, a internet é uma importante ferramenta de busca dos mais diferentes tipos de informações, entre elas as mudanças climáticas. Os produtores podem acessar previsões de temperatura e precipitação para vários períodos de tempo, facilitando sua tomada de decisões. No sentido contrário, produtores que não utilizam assistência técnica podem estar menos informados a respeito do funcionamento de sistemas de irrigação suplementar e, conseqüentemente, de seu potencial em termos de aumento de produtividade e, ou, redução de perdas advindas do aumento da temperatura ou redução da precipitação.

A variável REND apresentou sinal positivo, confirmando que produtores com mais disponibilidade de capital tem maior probabilidade de investir num sistema de irrigação suplementar. Como destaca Negri et al. (2005), produtores menos capitalizados, em geral, não tem condições de arcar com os altos custos relacionados à compra dos equipamentos e instalação do sistema. Alguns sistemas, como o de pivô-central, que no Brasil corresponde a 18% da área irrigada, requerem grandes investimentos e, portanto, estão disponíveis somente a grandes produtores que praticam agricultura comercial.

A variável *dummy* NE foi incluída para capturar diferenças regionais não controladas pelas demais variáveis do modelo como, por exemplo, o fato de a maior parte dos projetos de irrigação pública estarem localizados naquela região. Além disso, o Nordeste possui importantes pólos de irrigação, como os de Petrolina – PE/Juazeiro – BA, Jaguaribe/Apodí (PE) e Livramento/Dom Basílio. No entanto, a variável não foi estatisticamente significativa, indicando que as especificidades regionais referentes aos mercados de insumos e produtos,

instituições ou mesmo os investimentos públicos em irrigação não geraram diferenças significativas em termos da probabilidade de irrigar no país como um todo.

À exceção da variável que descreve a proporção da área de solo das AMC's com potencialidade agrícola na classe baixa (POT2), as demais variáveis relacionadas às condições agronômicas foram estatisticamente significativas e apresentaram o sinal esperado. Altas proporções de solo com potencialidade agrícola média/alta aumentam a probabilidade de irrigar. Solos com essas características são os mais adequados à prática agrícola e com o auxílio de irrigação tornam-se ainda mais produtivos, aumentando a rentabilidade dos produtores. Esse resultado está em conformidade com os de Negri et al. (2005), Mendelsohn e Seo (2007) e Seo (2011). Embora esses autores tenham baseado suas análises em tipos específicos de solo, seus resultados indicam que aqueles considerados como ruins à prática agrícola tendem a diminuir a probabilidade de irrigar.

No caso da variável PERO, o sinal positivo indica que solos com maior potencial de irrigação aumentam a probabilidade de irrigar, resultado que é semelhante ao de He et al. (2007). A irrigação, se praticada de modo adequado, tomando-se os devidos cuidados técnicos, tem condições de restabelecer o nível de compactação do solo erodido e, ao promover o aumento da umidade, restabelecer os níveis de matéria orgânica e nutrientes perdidos com a erosão. Todavia, esse sinal deve ser visto com cautela, uma vez que altas taxas de irrigação em solos erodidos de modo inapropriado podem causar o efeito inverso, potencializando ainda mais a erosão.

A inclinação do solo, aqui representada pelas variáveis PALT1 e PALT2, tiveram efeito significativo sobre a probabilidade de adoção de irrigação. Seus sinais, positivo e negativo, respectivamente, indicam que quanto maior a inclinação, menor a probabilidade de irrigar. De acordo com Negri et al. (2005), isso ocorre pois a eficiência da irrigação está diretamente relacionada à uniforme penetração da água no solo; em solos com inclinação excessiva, a água vai penetrar de modo desigual, gerando excesso nas partes mais baixas (com provável encharcamento) e escassez nas áreas mais elevadas, além da lixiviação de nutrientes. Ademais, terrenos muito inclinados dificultam a instalação do sistema de irrigação. Esses resultados são consistentes com os de outros estudos, como Negri et al. (2005) e Seo (2011).

Após a estimação do escore de propensão, sua qualidade foi analisada, ou seja, foi verificado se ele foi capaz de balancear a distribuição das variáveis relevantes entre os grupos de tratados e o de controle. Neste estudo, a qualidade do pareamento foi identificada pela análise da redução do viés padronizado e por meio da comparação do Pseudo R² para indivíduos pareados e não pareados. Pode-se afirmar que as variáveis utilizadas tiveram bom

desempenho, uma vez que apenas PREV, VTMP, RHID, PROP e EMED levaram a aumento do viés. Além disso, após o pareamento, observou-se que o valor calculado do R² para pareados foi cerca de 20 vezes inferior ao valor dos não pareados, indicando que não houve diferenças sistemáticas na distribuição das variáveis entre os grupos “tratado” e “controle”. Além da qualidade dos pareamentos, também foi testado se houve viés causado por variáveis omitidas, por meio da análise dos limites de Rosenbaum (2002). Os resultados do teste indicaram alta significância dos coeficientes de efeito de tratamento estimados, o que assegura que não houve viés significativo de variáveis omitidas no modelo⁹.

Feitas essas considerações, pôde-se avaliar o desempenho agrícola dos produtores em produções irrigadas e de sequeiro. Essa análise foi realizada por meio do cálculo do Efeito de Tratamento Médio (ETM) sobre a variável de interesse, que nesta pesquisa é o valor da terra (VTERRA)¹⁰.

Desde o pioneiro estudo de Mendelsohn et al. (1994), o valor da terra tem sido utilizado como variável de interesse para análises dos efeitos das mudanças climáticas. Conforme esses autores, valores da terra representam uma melhor medida de análise pois refletem a expectativa de receita líquida ao longo do tempo, partindo da premissa de que o produtor é racional e utilizará a terra sempre do modo mais lucrativo. Além disso, é possível afirmar que futuras mudanças nos custos de produção, incluindo aquelas associadas à implantação do sistema de irrigação e captação de água, serão capitalizadas nos valores futuros da terra da mesma forma que os custos de produção no passado foram capitalizados nos valores da terra passados (SCHLENKER et al. 2005).

Na Tabela 4 são apresentados os valores do efeito de tratamento médio para a variável VTERRA. Observa-se que o valor da terra dos produtores de sequeiro foi cerca de 3% superior ao dos irrigantes, diferença estatisticamente significativa a menos de 1%.

Tabela 4 – Estimativa do efeito de tratamento médio (ETM) no Brasil

Variável de resposta	Tratamento	Controle	Diferença	P-valor
VTERRA	153.504,54	158.493,00	-4.988,46	0,0060

Notas: 1) A variável VTERRA está cotada em 1000 R\$ (valores referentes ao Censo Agropecuário 2006); 2) ETM₁ calculado pelo método *kernel*; 3) P-valor baseado no erro padrão calculado por *bootstrap*.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Embora houvesse a expectativa de que a diferença entre o valor da terra dos irrigantes e de produtores de sequeiro fosse positiva e estatisticamente significativa, existem alguns

⁹ Os resultados destes testes estão apresentados nas Tabela A1 e A2 do Anexo.

¹⁰ No cálculo do ETM foi utilizado o comando “*psmach2*”, disponível no software STATA 10.

fatores que podem explicar o resultado obtido. Inicialmente, destaca-se que a produção de sequeiro ainda gera cerca de 65% do valor da produção agrícola brasileira e predomina em todas as regiões do país, sendo praticada em grandes produções comerciais. O uso de irrigação no Brasil, ainda que tenha crescido nos últimos anos, ainda é baixo. Conforme o Censo Agropecuário de 2006, a irrigação ocupa apenas 7,4% da área total em lavouras temporárias e permanentes. A área irrigada *per capita* (0,018 ha/habitante) e a relação *área irrigada/área irrigável* (cerca de 10%) figuram entre as mais baixas do mundo, o que coloca o país em desvantagem competitiva em termos de produtividade dos recursos envolvidos na implantação de áreas irrigadas (Agência Nacional de Águas – ANA, 2009; Ministério da Integração Nacional – MI, 2011).

Apesar da expressiva contribuição da agricultura irrigada para o PIB do setor agropecuário, os seus resultados ainda estão aquém do ideal. No que se refere à produtividade média alcançada, à eficiência na utilização dos recursos hídricos, ao emprego de insumos modernos, à capacitação da mão de obra, à integração dos projetos com as cadeias produtivas, dentre outros aspectos, o desempenho brasileiro ainda requer melhoria substancial. Pode-se afirmar ainda que, em boa parte da área irrigada, pratica-se uma agricultura tradicional, o que decresce os benefícios decorrentes da técnica (MI, 2011).

Espera-se que as tendências destacadas acima sejam revertidas diante dos cenários de mudança climática esperados para o Brasil. A irrigação tem grande potencial de mitigar os efeitos adversos das alterações no clima, sendo uma das principais medidas de adaptação para os produtores da América Latina (MAGRIN et al., 2007; SEO, 2011). Entre outros benefícios, com a utilização da técnica é possível a obtenção de mais de uma safra por ano, o que se traduz em melhor utilização dos investimentos realizados em infra-estrutura física e de apoio à produção, assim como em maquinaria agrícola.

4.1. Impacto da mudança climática sobre produtores irrigados e de sequeiro

O principal objetivo dessa seção foi analisar como irrigantes e produtores de sequeiro responderão às mudanças na temperatura e precipitação previstas pelos cenários de mudanças climáticas globais. Foram feitas simulações, a partir do modelo de efeito de tratamento estimado, utilizando as previsões de temperatura e precipitação baseadas nos cenários climáticos do IPCC (2007). Assim, foi possível avaliar os benefícios da irrigação como medida adaptativa e identificar os prejuízos relacionados à decisão de não irrigar. A Tabela 5 contém as estimativas médias do valor da terra para cada período de tempo e cenário climático.

As variações absolutas e percentuais apresentadas na Tabela 5 foram calculadas em relação ao valor estimado para irrigantes e produtores de sequeiro no período base (Tabela 4). O P-valor indica que as diferenças no valor da terra entre as duas classes de produtores são estatisticamente significativas a menos de 1%. Como pode ser observado, nas AMC's onde a agricultura é praticada utilizando técnicas de irrigação, o valor da terra tende a ser crescente (embora haja pequena redução no período de 2070-2099 em relação a 2040-2069). Já nas AMC's cuja produção agrícola é exclusivamente de sequeiro são estimadas perdas que podem chegar a cerca de 14% em relação ao período atual. A redução no valor da terra para não irrigantes tende a ser menor no curto prazo. Mas, no longo prazo, quando as estimativas de aumento das temperaturas tornam-se mais elevadas, há tendência de maiores perdas, que podem chegar até a R\$ 22,7 milhões. Esses resultados são aproximadamente semelhantes para ambos os cenários.

Tabela 5 – Estimativas do efeito das mudanças climáticas sobre o valor da terra de irrigantes e produtores de sequeiro

Variável de resposta	Irrigantes	Produtores de Sequeiro	Diferença	P-valor
Cenário A1B				
VTERRA (2020)	159.334,30	148.091,54	11.242,76	0,0040
VTERRA (2050)	161.410,56	142.387,28	19.023,28	0,0030
VTERRA (2080)	161.283,88	136.521,30	24.762,58	0,0050
Cenário A2				
VTERRA (2020)	160.050,10	147.919,81	12.130,29	0,0070
VTERRA (2050)	161.514,27	136.725,95	24.788,32	0,0060
VTERRA (2080)	161.289,03	135.740,94	25.548,09	0,0090

Notas: 1) A variável VTERRA está cotada em 1.000 R\$ (valores referentes ao Censo Agropecuário 2006); 2) ETM₁ calculado pelo método *kernel*; (3) P-valor baseado no erro padrão calculado por *bootstrap*.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Em termos da direção dos efeitos, os resultados desta pesquisa estão em conformidade com os de Seo (2011). Segundo o autor, o valor da terra irá diminuir 17,2%, para produtores de sequeiro da América do Sul, e aumentará cerca de 17% para os que utilizam projetos privados de irrigação, considerando o modelo PCM (Parallel Climate Model). Acredita-se que os ganhos e perdas mais modestos estimados nesta pesquisa devem-se aos cenários climáticos considerados, já que em ambos são previstos aumentos da precipitação maiores que os de temperatura¹¹. Mendelsonh e Seo (2007) e Seo e Mendelsonh (2008a), também estudando

¹¹ As previsões de temperatura e precipitação correspondentes à média de três períodos de tempo utilizados nas simulações, 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, podem ser vistas na Tabela A3 do Anexo.

produtores da América do Sul, demonstraram que tanto os que irrigam quanto os não irrigantes são positivamente impactados por aumentos de precipitação.

A magnitude dos parâmetros estimados pode estar relacionada às mudanças pelas quais tem passado a agricultura brasileira nos últimos anos. Como neste estudo foram utilizados dados de valor da terra obtidos do Censo Agropecuário 2006, tais valores podem estar refletindo melhorias tecnológicas, como por exemplo, a utilização de sementes transgênicas mais produtivas e mais resistentes às condições climáticas adversas. Dessa forma, a irrigação viria contribuir ainda mais para o desempenho agrícola do país, tornando-o menos sensível às mudanças climáticas.

É possível afirmar que aqueles produtores que conseguirem irrigar (num contexto em que poderá haver dificuldade de obtenção de água superficial e, consequentemente, maiores gastos para obtenção de águas subterrâneas) estarão menos expostos aos efeitos negativos de alterações no clima. Além disso, o valor da terra de irrigantes tende a ser mais estável do que o dos produtores de sequeiro.

A partir dessas constatações e da análise de estudos que tratam do impacto das mudanças climáticas sobre países em desenvolvimento (MENDELSON; SEO, 2007; KURUKULASURIYA; MENDELSON, 2007; SEO; MENDELSON, 2008a; WANG et al., 2008; e SEO, 2011), constatou-se que a irrigação pode ser uma ferramenta muito eficaz para neutralizar os efeitos nocivos das mudanças climáticas. As rendas de produções irrigadas são menos vulneráveis que as de produções de sequeiro.

É importante notar que os resultados apresentados nesta seção se referem à média dos impactos para o Brasil como um todo. Todavia, as diferentes regiões do país podem apresentar níveis diferentes de vulnerabilidade. De acordo com o IPCC (2007), o grau ao qual uma localidade é susceptível aos efeitos adversos da mudança climática é função das características e da magnitude da variação do clima e também de sua capacidade adaptativa. Uma alta capacidade adaptativa reduz o potencial de perda para qualquer nível de exposição à mudança climática.

Sendo assim, espera-se que as regiões Sudeste e Sul e Centro-Oeste, sofram menos impactos negativos. A explicação é que na maior parte dessas regiões pratica-se produção comercial, com alta produtividade e rentabilidade, na qual estão incluídos os dois cultivos que geram os maiores valores da produção agrícola do país (soja e café), com parcela expressiva voltada para a exportação. Em função disso, inclui os produtores com mais condições de investir em tecnologias de irrigação. De fato, conforme indica estudo da ANA (2009), o crescimento da área irrigada que tem sido observado no país nos últimos deve-se

principalmente à expansão da irrigação privada nos cultivos de fruticultura, grãos e café, notadamente em São Paulo e Minas Gerais, e na produção de grãos nas fronteiras agrícolas do Centro-Oeste.

Por outro lado, esperam-se perdas maiores nas regiões mais pobres, como Norte, nas quais a agricultura praticada, em geral, apresenta baixa produtividade e produtores menos capitalizados e, portanto, pouco aptos a investir em irrigação. No caso do Nordeste, além de sofrer grandes aumentos de temperatura, a região também precisará lidar com redução da disponibilidade hídrica.

5. CONCLUSÕES

O principal objetivo deste artigo foi analisar os efeitos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura brasileira. Mas, diferentemente de outros trabalhos já realizados para o Brasil, neste estudo considerou-se que os produtores procurarão se adaptar, ou seja, assumiu-se que eles não continuarão realizando a(s) mesma(s) atividade(s) sem alteração de suas técnicas produtivas. A estratégia adaptativa considerada foi a irrigação, já que o país tem condições favoráveis para o desenvolvimento sustentável dessa atividade.

Confirmou-se a expectativa de que a irrigação é influenciada pelas variações climáticas e, dessa forma, deve ser modelada como medida adaptativa. Dadas as condições atuais, a irrigação tem sido adotada mais como resposta à redução da precipitação do que às variações de temperatura. De modo geral, a análise dos fatores associados à sua adoção no Brasil indicou que, para ser um irrigante, o produtor precisa ter renda suficiente para arcar com os custos de investimento, conhecimento técnico (que envolve entendimento sobre o potencial e limites da técnica, assim como sua operação e funcionamento) e capacidade administrativa. Além disso, sua propriedade deve ter disponibilidade hídrica e boas condições de solo e altitude.

Pode-se concluir que a renda dos irrigantes tende a ser mais estável, demonstrando a eficácia da irrigação como medida adaptativa. Face às previsões de mudanças climáticas, a irrigação tem potencial de contribuir para melhorar o desempenho agrícola do país, tornando os produtores menos vulneráveis ao clima. Confirma-se, assim, a necessidade de incluir medidas adaptativas na estimação, possibilitando uma avaliação imparcial do que realmente vai acontecer. Ignorar a adaptação faz com que a estimação de impactos sempre superestime os danos, algumas vezes de forma acentuada.

Por fim, ainda que os resultados desta pesquisa indiquem um quadro menos pessimista a respeito dos efeitos das mudanças climáticas na agricultura brasileira, deve atentar para a

formulação de políticas públicas que busquem estratégias de combate os efeitos do aquecimento global na agricultura brasileira. Ademais, dada a importância da irrigação para mitigar os efeitos das mudanças do clima, deve-se incentivar a criação de políticas de crédito específicas para a implementação dessa prática, principalmente para os produtores menos capitalizados.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009**. Brasília: ANA, 2009.

ANDERSON, K; REIS, E. **The Effects of Climate Change on Brazilian Agricultural Profitability and Land Use: Cross-Sectional Model with Census Data**. Final report to WHRC/IPAM for LBA project Global Warming, Land Use, and Land Cover Changes in Brazil. 2007.

AVILA, A. F. D; IRIAS, L. J. M.; LIMA, M. **Impacto das mudanças climáticas na agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa, 2006. 23 p.

BECKER S. O.; ICHINO, A. Estimation of average treatment effects based on propensity score. **The Stata Journal**, v. 2, n. 4, p. 358-377, 2002.

BERNARDO, S. **Impacto ambiental da irrigação no Brasil**. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Eds.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília: MMA/SRH/ABEAS, 1997. p. 79-88.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: methods and applications**. New York: Cambridge University Press, 2005.

CLINE, W. R. **Global warming and agriculture: impact estimates by country**. Washington, DC: Peterson Institute for International Economics, 2007. 186 p.

CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista Ciências Exatas**, v. 12, n. 1, 2006.

CHRISTOFIDIS, D. **Agricultura irrigada e desenvolvimento regional no Brasil**. 2009. Disponível em: http://www.arrozeirosdealegrete.com.br/seminagricirrig_demetrius_christofidis.pdf>. Acesso em: jan. 2010.

COELHO, E.; COELHO FILHO, M.; SIMÕES, W.; COELHO, Y. Irrigação em citrus nas condições do nordeste do Brasil. **Laranja**, Cordeirópolis, v.27, n.2, p. 297-320, 2006.

DÊSCHENES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **The American Economic Review**, v. 97, n. 1, p. 354-385, 2007.

EVENSON, R. E.; ALVES, D. C. O. Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 18, p. 223-258, 1998.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. In: 16th Annual EAERE Conference, 2008, Gothenburg. **Proceedings of the 16th Annual EAERE Conference**. Gothenburg: EAERE, 2008.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: XLVII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009, Porto Alegre - RS. **Anais...** Brasília: SOBER, 2009.

HE, X.; CAO, H.; LI, F. Econometric analysis of the determinants of adoption of rainwater harvesting and supplementary irrigation technology (RHSIT) in the semiarid Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 89, p. 243-250, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro: IBGE. 2006. 777p.

International Panel on Climate Change – IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104 p.

KURUKULASURIYA, P.; MENDELSON, R. Endogenous irrigation: the impact of climate change on farmers in Africa. **World Bank Policy Research Working Paper 4278**. 2007. Disponível em: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2007/07/06/000016406_20070706160116/Rendered/PDF/wps4278.pdf. Acesso em out. 2009.

MAGRIN, G.; GARCIA, C. G.; CHOQUE, D. C.; GIMENEZ, J. C.; MORENO, A. R.; NAGY, G. J.; CARLOS, N.; VILLAMIZAR, A. **Latin America**. In: PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. (Eds.). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability — Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. pp. 581–615.

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W.; SHAW, D. The Impact of Global Warming on Agriculture: Ricardian analysis. **The American Economic Review**, v. 84, n. 4, p. 753-771, 1994.

MENDELSON, R.; SEO, N. Changing farm types and irrigation as an adaptation to climate change in Latin American agriculture. **World Bank Policy Research Working Paper 4161**. 2007. Disponível em: http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2007/03/06/000016406_20070306145501/Rendered/PDF/wps4161.pdf. Acesso em: out. 2009.

Ministério da Integração Nacional – MI. **Programa Desenvolvimento da Agricultura Irrigada**. Disponível em: http://www.integracao.gov.br/programas/infrastrukturahidrica/index.asp?area=sih_desenvolvimento. Acesso em: jan. 2011.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Agropecuária**. Brasília: MMA. 2006. 96p

NEGRI, D. H.; GOLLEHON, N. R.; AILLERY, M. P. The effects of climatic variability on US irrigation adoption. **Climate Change**, v. 69, n. 2-3, p. 299-323, 2005.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança ambiental no Brasil: O Impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. **Scientific American Brasil**, v. 80, p. 70-75, 2005.

REIS, E.; PIMENTEL, M.; ALVARENGA, A. I. **Áreas mínimas comparáveis para os períodos intercensitários de 1872 a 2000**. 2007. Disponível em: <http://www.nemesis.org.br>. Acesso em: fev. 2010.

- ROSENBAUM, P. R. **Observational Studies**. 2nd. New York: Springer, 2002.
- ROSENBAUM, P. R.; RUBIN, D. B. The Central role of the propensity score in observational studies for causal effects. **Biometrika**, v. 70, n. 1, p. 41-55, 1983.
- SANGHI, A.; ALVES, D.; EVENSON, R.; MENDELSON, R. Global warming impacts on brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. **Economia Aplicada**, v. 1, n. 1, p. 7-33, 1997.
- SCHLENKER, W.; HANEMANN, W. M.; FISHER, A. C. Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. **The American Economic Review**, v. 95, n. 1, p. 395-406, 2005.
- SEO, N. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. **Ecological Economics**, v. 70, p. 825-834, 2011.
- SEO, N.; MENDELSON, R. A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 68, n.1, p. 69-79, 2008a.
- SEO, N.; MENDELSON, R. An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. **Ecological Economics**, v. 67, n. 1, p. 109-116, 2008b.
- SEVERINO, L. S.; LIMA, C. L. D.; BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; FARIAS, V. A. **Comportamento da mamoneira sob encharcamento do solo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57 – Embrapa Algodão, 2005.
- SIQUEIRA, O. J. F.; FARIAS, J. R. B.; SANS, L. M. A. Efeitos potenciais de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira e estudos de adaptação para trigo milho e soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, n. 1, p. 115-129, 1994
- STERN, N. **The economics of climate change: the Stern review**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 692 p.
- STERN, N. The economics of climate change. **The American Economic Review**, v. 98, n. 2, p. 1-37, 2008.
- United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC. **Text of the Convention**. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>>. Acesso em: out. 2009.
- WANG, J.; MENDELSON, R.; DINAR, A.; HUANG, J.; ROZZELLE, S. **Can China continue feeding itself? The impact of climate change on agriculture**. World Bank Policy Research Working Paper 4470, 2008.

ANEXO

Tabela A1 – Análise da redução do viés padronizado para a amostra de AMC's pareadas e não pareadas

Variáveis	Amostra	Média		Redução do viés (%)
		Tratados	Controles	
TMPV	Não pareados	24,43	24,67	93,70
	Pareados	24,43	24,45	
TMPV2	Não pareados	600,67	612,78	95,30
	Pareados	600,85	601,42	
PREV	Não pareados	168,86	171,46	-25,20
	Pareados	168,48	165,21	
TMPI	Não pareados	20,02	20,63	88,30
	Pareados	20,04	19,96	
TMPI2	Não pareados	413,92	444,03	89,80
	Pareados	414,73	411,65	
PREI	Não pareados	52,67	59,46	58,70
	Pareados	52,49	55,30	
VTMP	Não pareados	3,74	3,75	-499,00
	Pareados	3,71	3,81	
VPRE	Não pareados	5.437,20	5.529,30	40,30
	Pareados	5.448,20	5.393,20	
RHID	Não pareados	969,14	958,06	-482,30
	Pareados	816,54	881,03	
POT1	Não pareados	0,11	0,09	82,40
	Pareados	0,11	0,11	
POT2	Não pareados	0,56	0,57	4,30
	Pareados	0,55	0,54	
ALT1	Não pareados	0,13	0,12	51,40
	Pareados	0,13	0,13	
ALT2	Não pareados	0,00	0,00	94,70
	Pareados	0,00	0,00	
PERO	Não pareados	0,43	0,38	91,20
	Pareados	0,43	0,43	
PROP	Não pareados	1.160,70	1.189,60	-200,60
	Pareados	1.018,60	1.105,70	
INET	Não pareados	25,64	12,20	87,50
	Pareados	20,56	22,25	
REND	Não pareados	41.641,00	20.597,00	90,60
	Pareados	31.821,00	33.791,00	
EXPE	Não pareados	527,93	585,52	23,70
	Pareados	468,18	512,12	
ESUP	Não pareados	47,69	29,10	90,60
	Pareados	40,74	39,00	
EMED	Não pareados	973,22	970,92	-2.926,90
	Pareados	829,01	898,80	
NTEC	Não pareados	42.999,00	71.510,00	87,40
	Pareados	33.586,00	37.185,00	
NORDESTE	Não pareados	0,33	0,35	63,80
	Pareados	0,34	0,34	
Resumo		Pseudo R2	LR Chi2	P-valor
Não pareados		0,122	434,49	0,0000
Pareados		0,006	35,61	0,0330

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Tabela A2 – Teste de sensibilidade do efeito de tratamento por meio dos limites de Rosenbaum

Variáveis	Γ	P-valor crítico
VTERRA	1	0,0000
	1,1	0,0000
	1,2	0,0000
	1,3	0,0000
	1,4	0,0000
	1,5	0,0000

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Tabela A3 – Previsões de temperatura (°C) e precipitação (mm) para cenários futuros de mudança climática no Brasil

Variáveis climáticas	Período atual	Cenário A1B			Cenário A2		
		2020	2050	2080	2020	2050	2080
TMPV	24,5	26,7	27,8	28,9	26,7	27,8	29,4
PREV	167,5	211,8	213,7	215,0	214,5	213,8	216,7
TMPI	20,2	25,0	26,2	27,4	24,9	26,1	27,9
PREI	56,5	72,6	71,2	70,4	72,6	71,6	70,8

Nota: Os valores correspondem à média de 10 MCG apresentados no 4º Relatório do IPCC (2007) (CNRM_cm3, CSIRO_MK3.0, GFDL CM2.1, GISS ER, IPSL_CM4, MIROC3.2_medres, MPI ECHAM5, MRI CGCM2.3.2^a, UKMO_HADCM3 e UKMO_HadGEM1).

Fonte: CRU e CPTEC/INPE, com dados trabalhados pelo autor.