

LINDA MÁRCIA MENDES DELAZERI

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E MIGRAÇÃO RURAL-URBANA NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada para obtenção do título de *Magister Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

D343m
2015 Delazeri, Linda Márcia Mendes, 1989-
Mudanças climáticas e migração rural-urbana no semiárido
brasileiro / Linda Márcia Mendes Delazeri. – Viçosa, MG, 2015.
xi, 73f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Dênis Antônio da Cunha.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.67-71.

1. Migração rural-urbana. 2. Mudanças climáticas.
3. Regiões áridas - Brasil. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Economia Rural. Programa de Pós-graduação
em Economia Aplicada. II. Título.

CDD 22. ed. 304.8

LINDA MÁRCIA MENDES DELAZERI

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E MIGRAÇÃO RURAL-URBANA NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

Prof. João Ricardo Ferreira de Lima

Prof^a Silvia Harumi Toyoshima

Dr. Marcel Viana Pires

Prof. Dênis Antônio da Cunha
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaria de agradecer à minha mãe, Nilda, ao meu irmão, Guilherme, e à tia Jane, pelo incentivo e pelo esforço que sempre fizeram para que o ensino de qualidade fizesse parte da minha vida.

Ao Vinícius, pelo amor e carinho e, principalmente, por ter sempre acreditado em mim e por ter me ensinado a acreditar em mim mesma. Sem os seus pedidos de calma e paciência a finalização desta etapa jamais seria possível.

Gostaria também de agradecer aos amigos, sejam eles de República, do Departamento de Economia Rural ou de longa data, pela amizade e por terem se mostrado disponíveis a ajudar quando precisei. Em especial, gostaria de agradecer e à Bia, pelos ensinamentos sobre o Excel que levarei para a vida toda, e à Camila, por sempre ter estado presente, mesmo quando estava longe, e pela amizade e companheirismo.

À Raíza Moniz Faria, Marcel Viana Pires, Morgana Vaz da Silva e Gabrielle Ferreira Pires e ao grupo de pesquisa BIOSFERA-ATMOSFERA pela ajuda com os bancos de dados climáticos.

Ao Professor Dênis Cunha, pelos ensinamentos transmitidos e pela orientação de excelência. Agradeço também por ter sido mais que um professor e orientador, mas por ter sido um amigo.

À Universidade Federal de Viçosa, que ao longo dos últimos dez anos me proporcionou educação de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

BIOGRAFIA

LINDA MÁRCIA MENDES DELAZERI, filha de Sérgio Delazeri e Nilda Maria Mendes Motta, nasceu em João Monlevade, Minas Gerais, em 01 de junho de 1989.

Em março de 2008 iniciou o curso de Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, graduando-se em novembro de 2012.

Em abril de 2013 ingressou no Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos necessários para a obtenção do título de *Magister Scientiae* em fevereiro de 2015.

Em março de 2015 iniciou o curso de Doutorado em Economia Aplicada nesta mesma Instituição.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. O problema e sua importância	4
1.3. Caracterização do Semiárido brasileiro	7
1.4. Hipótese	10
1.5. Objetivos	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. As teorias neoclássicas sobre a migração	12
2.2. Migração como maximização da utilidade	13
3. METODOLOGIA	19
3.1. Modelo analítico	19
3.2. Modelo empírico	20
3.3. Testes econométricos para os modelos de dados em painel	23

3.4.	Descrição das variáveis e fonte de dados	27
3.5.	Simulação do impacto das mudanças climáticas na migração rural-urbana	31
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1.	Análise descritiva	36
4.2.	Determinantes da migração rural-urbana no período de 1991 a 2010.....	43
4.3.	Impacto das mudanças climáticas na migração rural-urbana	56
5.	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	67
	ANEXO.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição dos municípios do Semiárido por Unidade da Federação.	7
Tabela 2: Modelos de Circulação Geral utilizados neste estudo.....	34
Tabela 3: Temperatura e precipitação médias para o Brasil, segundo os três MCG's.....	35
Tabela 4: Estatísticas descritivas para as variáveis consideradas no estudo desagregadas por recorte geográfico.	37
Tabela 5: Evolução da taxa de urbanização do Semiárido, do Nordeste e do Brasil.	39
Tabela 6: Resultados das estimativas para os municípios do Semiárido.	44
Tabela 7: Estimativas incorporando as variáveis <i>dummy</i> de interação ao modelo.	50
Tabela 8: Resultados das estimativas para os municípios do Nordeste.	53
Tabela 9: Variação das taxas de urbanização futuras.....	56
Tabela A1: Resultados das estimativas para os municípios do Brasil.	72
Tabela A2: Variação das taxas de urbanização futuras do Brasil.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Delimitação da região Semiárida brasileira.....	8
Figura 2: Direcionadores dos processos migratórios.	15
Figura 3: Municípios do Semiárido brasileiro excluídos e considerados no estudo.	28
Figura 4: Distribuição geográfica da taxa de urbanização no Semiárido brasileiro.	40
Figura 5: Precipitação média anual (mm) e temperatura (°C) dos municípios do Semiárido, dos municípios do Nordeste e dos municípios brasileiros.....	41
Figura 6: Anomalias de temperatura do ar global (em relação a 1961-1990) desde o período industrial.	43
Figura 7: Comportamento da precipitação média esperada, segundo MCG, RCP e região.....	58
Figura 8: Comportamento da temperatura média esperada, segundo MCG, RCP e região.....	59

RESUMO

DELAZERI, Linda Márcia Mendes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Mudanças climáticas e migração rural-urbana no Semiárido brasileiro.** Orientador: Dênis Antônio da Cunha. Coorientador: Marcel Viana Pires.

Ao longo dos últimos anos, as evidências de que as atividades antrópicas alteraram a concentração de Gases de Efeito Estufa na atmosfera tornaram-se mais fortes, indicando que esse acúmulo é a causa mais provável das mudanças climáticas observadas até o momento. Os riscos associados às mudanças climáticas, apesar de incertos, têm potencial de aumentar a vulnerabilidade social, exacerbando desafios socioeconômicos já existentes, principalmente naquelas sociedades mais dependentes dos recursos sensíveis às alterações do clima. Os países em desenvolvimento serão potencialmente os mais afetados pelas alterações climáticas, uma vez que os mesmos têm menor potencial de adaptação e são aqueles que mais dependem das atividades agrícolas, um dos setores em que são esperados os maiores impactos negativos. No Brasil, especificamente, espera-se que as localidades que formam o Semiárido estejam entre as mais afetadas, devido à já existente irregularidade no regime pluviométrico e às elevadas temperaturas, além dos fatores econômicos e sociais intrínsecos à região. Dadas as limitações estratégicas para lidar com os choques ambientais causados pelas mudanças climáticas, uma alternativa adotada em resposta a esses choques é a migração. Entender as características específicas dos fluxos migratórios, tais como duração, destino e composição, é essencial para compreender os impactos da migração nos locais de origem e destino e para o desenvolvimento de políticas apropriadas. Nesse sentido, este estudo busca analisar se os fatores climáticos têm contribuído para a migração rural-

urbana nos municípios do Semiárido no passado recente e como esses fluxos migratórios serão afetados por cenários futuros de mudanças no clima. O estudo foi fundamentado na teoria microeconômica da maximização da utilidade, em que, ao decidir deixar a área rural e partir para a área urbana, o indivíduo busca maximizar sua utilidade. Analiticamente, estimou-se um modelo econométrico utilizando a modelagem de Efeitos Fixos e os resultados obtidos confirmaram a expectativa de que os direcionadores climáticos são preponderantes para que o fluxo migratório rural-urbano aconteça. Além disso, os demais direcionadores do processo migratório, como fatores econômicos, sociais e demográficos, também se mostraram importantes. Adicionalmente, foram feitas previsões a respeito das migrações rural-urbanas motivadas por variações na temperatura e na precipitação sob os cenários de mudanças climáticas RCP 4.5 e 8.5, referentes aos períodos de tempo 2016-2035 e 2046-2065, definidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Os resultados encontrados indicam que haverá aumento da migração rural-urbana na região Nordeste e na região Semiárida em ambos os cenários e em ambos períodos de tempo. De maneira geral, os resultados obtidos neste estudo reforçam a necessidade de formulação de políticas públicas de combate à migração por razões climáticas. Em última instância, caso a migração se faça necessária, é preciso que haja a adoção de políticas que busquem o desenvolvimento organizado e planejado dos centros urbanos, considerando-se a migração como uma estratégia de adaptação aos efeitos adversos do clima. Dessa forma, políticas que atuem no sentido de absorver os migrantes nos centros urbanos e garantir que os mesmos tenham acesso aos serviços básicos oferecidos à população urbana contribuiriam para que os custos sociais da variabilidade climática sejam reduzidos.

ABSTRACT

DELAZERI, Linda Márcia Mendes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, february of 2015. **Climate change and rural-urban migration in Brazilian Semiarid region.** Adviser: Dênis Antônio da Cunha. Co-Advisor: Marcel Viana Pires.

Over the past few years, the evidence that human activities have altered the concentration of greenhouse gases in the atmosphere have become stronger, indicating that this accumulation is the most likely cause of climate change observed so far. The risks associated with climate change, although uncertain, have the potential to increase social vulnerability, exacerbating existing socioeconomic challenges, especially those more dependent of sensitive resources to climate change. Developing countries are potentially the most affected by climate change, since they have less potential to adapt and are those most dependent on agricultural activities, one of the sectors in which the major negative impacts are expected. In Brazil, specifically, it is expected that the localities which form the semiarid region are among the most affected, due to existing irregularity in rainfall and high temperatures, in addition to economic and social factors endemic to the region. Given the strategic limitations to handle the environmental shocks caused by climate change, an alternative adopted in response to these shocks is migration. Understanding the specific features of migration flows, such as duration, destination and composition is essential to understand the impacts of migration on origin and destination locations and to develop appropriate policies. Thus, this study aims to examine whether climatic factors have contributed to rural-urban migration in semiarid municipalities in the recent past and how these migration flows will be affected by future scenarios of climate change. The study was based on microeconomic

theory of utility maximization, in which, to decide to leave the countryside and move on to the urban area, the individual seeks to maximize its utility. Analytically, we estimated an econometric model using the modeling of Fixed Effects and the results confirmed the expectation that climate drivers are crucial for the occurrence of the rural-urban migration. Also, other drivers of the migration process, as economic, social and demographic factors were also important. Additionally, predictions about the rural-urban migration motivated by variations in temperature and precipitation in the climate change scenarios RCP 4.5 and 8.5 were made for the periods 2016-2035 and 2046-2065, defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The results indicate that there will be increased rural-urban migration in the Northeast and in the semiarid region in both scenarios and in both periods. In general, the results of this study reinforce the need for the formulation of public policies to avoid migration for climatic reasons. Ultimately, if migration becomes necessary, there must be the adoption of policies that seek an organized and planned development of urban areas, considering migration as an adaptation strategy to adverse climate effects. Thus, policies that act to absorb migrants in urban areas and ensure that they have access to basic services offered to the urban population would contribute to the social costs reduction of climate variability.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Um dos efeitos mais discutidos da atividade econômica sobre o meio ambiente são as mudanças climáticas causadas pelo acúmulo de gases de efeito estufa (GEE's)¹ na atmosfera. Ao longo dos últimos anos, as evidências de que as atividades humanas alteraram a concentração de GEE'S tornaram-se mais fortes, o que implica que esse acúmulo é a causa mais provável das mudanças climáticas observadas até o momento (*Intergovernment Panel on Climate Change – IPCC, 2013*). Embora a magnitude das mudanças climáticas não seja totalmente conhecida, seus efeitos têm se manifestado de diferentes maneiras, destacando-se o aquecimento global, a incidência de eventos climáticos extremos, mudanças nos regimes de precipitação e temperatura e elevação do nível do mar. Os riscos associados às mudanças climáticas, apesar de incertos, têm potencial de aumentar a vulnerabilidade social, exacerbando desafios socioeconômicos já existentes, principalmente naquelas sociedades mais dependentes dos recursos sensíveis às alterações do clima.

O Quinto Relatório de Avaliação do IPCC projeta que, em um cenário otimista, a temperatura global pode aumentar até 1,7°C em relação aos níveis pré-industriais até 2100 se as emissões continuarem conforme as tendências atuais. Em um cenário pessimista, porém, esse aumento de temperatura pode chegar a 4,8°C (IPCC, 2013). Globalmente, os países em desenvolvimento serão potencialmente os mais afetados

¹ A concentração atmosférica de gases de efeito estufa (GEE's) é a razão entre o número de moléculas desses gases e o número total de moléculas de ar seco. Dentre os GEE's, destacam-se o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

pelas alterações climáticas, uma vez que estão em áreas de baixa latitude e, portanto, de maior exposição aos raios solares². Tais países têm ainda menor potencial de adaptação e são aqueles que mais dependem das atividades agrícolas, um dos setores em que são esperados os maiores impactos negativos. Segundo Deschenes e Greenstone (2007), apesar dos avanços tecnológicos ocorridos ao longo do tempo, as condições ambientais ainda são determinantes para a produtividade agrícola, uma vez que as diversas etapas das atividades agrícolas, que vão desde o preparo da terra para o plantio até o armazenamento da produção, estão sob influência do clima.

As projeções apresentadas pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013) mostram que cada região do Brasil apresentará impactos diferenciados. As regiões Amazônica e Nordeste são apontadas como sendo as áreas potencialmente mais afetadas pelas mudanças climáticas. De acordo com o PBMC (2013), projeta-se para o Nordeste, até o final do século, aumentos de temperatura entre 3,5° e 4,5°C e agravamento do déficit hídrico, com diminuição de 40% a 50% da distribuição de chuvas.

Espera-se, dessa forma, que as localidades que compreendem o Semiárido brasileiro estejam entre as mais afetadas, devido à já existente irregularidade no regime pluviométrico e às elevadas temperaturas da região (MOURA et al., 2007; TORRES et al., 2012). Fatores intrínsecos às áreas que compõem o Semiárido, tais como a vulnerabilidade socioeconômica e a dependência dos pequenos agricultores ao período e à quantidade de precipitação, bem como as limitações para lidar com os choques ambientais, possivelmente serão agravados pelas mudanças no clima (GRAY; MUELLER, 2011). De acordo com o PBMC (2013), a redução da precipitação e o aumento da temperatura poderão ter consequências sobre a produção de alimentos, o que poderá gerar insegurança alimentar em função da queda na produção da agricultura de subsistência, além de tornar as diferenças sociais mais acentuadas, afetando principalmente a parcela da população mais pobre.

De acordo com Johnson e Krishnamurthy (2010), apesar das limitações das modelagens climáticas³, as projeções feitas pelo IPCC (2013) levantam diversas preocupações a respeito de como as mudanças climáticas podem afetar a vida e a

² A influência da latitude ocorre fundamentalmente devido à forma esférica da Terra. A insolação aumenta a partir dos polos em direção à linha do Equador e, conseqüentemente, a temperatura aumenta com a diminuição da latitude.

³ Estimativas sobre o número de pessoas que serão afetadas pelos efeitos adversos das mudanças climáticas são amplamente variados (MYERS, 2005; CHRISTIAN AID, 2007). As dificuldades de se prever com exatidão como as mudanças climáticas impactarão a distribuição da população se deve parcialmente aos relativos níveis de incerteza sobre os seus efeitos específicos.

subsistência das populações mais vulneráveis. Existem prospectos de que eventos extremos, como enchentes e furacões, se tornarão cada vez mais frequentes e intensos, exacerbando a exposição humana aos desastres de início rápido; ao mesmo tempo, espera-se que transformações de longo prazo, como mudanças no regime de chuvas e temperatura, se tornarão cada vez mais instáveis (IPCC, 2013). O exposto acima reafirma, portanto, a dificuldade de compreender e projetar os impactos das mudanças climáticas nas sociedades humanas, especialmente os impactos de longo prazo. Sendo assim, entender no presente os efeitos e as respostas às variações do clima é pré-requisito para identificar, com o menor custo possível, formas de se adaptar ou mesmo combater seus efeitos negativos (ADGER et al., 2003).

Dadas as limitações estratégicas para lidar com os choques ambientais causados pelas mudanças climáticas, uma alternativa adotada em resposta a esses choques é a migração. Estimativas apontam que o número de pessoas deslocadas devido às mudanças climáticas pode chegar a 700 milhões até 2100 (CHRISTIAN AID, 2007). Deve-se ressaltar que, embora a migração por razões climáticas seja comumente apresentada como uma questão nova ou como parte de tendências futuras, este é um fenômeno antigo, em que as variações climáticas têm sido a força motora por trás da mobilidade humana por milhares de anos (PIGUET et al., 2010). No caso do Brasil, por exemplo, a migração por fatores climáticos sempre esteve presente. Na região Semiárida, a migração motivada por secas remonta do final do século XIX, período em que aproximadamente um milhão de pessoas partiram em direção aos centros urbanos. O período de maior êxodo rural no Brasil foi, porém, entre as décadas de 1960 e 1980, quando aproximadamente 15 milhões de pessoas (um terço da população rural de 1960) deixaram seus locais de origem fugindo das secas e das precárias condições de vida (BELTRÃO et al., 2004).

Embora a migração possa ser apontada como uma falha de adaptação, podendo resultar em riscos para os migrantes e para a população dos locais de destino (WARNER et al., 2010), diversos autores a caracterizam como uma estratégia adaptativa (ADGER et al, 2003; MCLEMAN; SMIT, 2006; TACOLI, 2009). Respostas políticas às mudanças do clima incluem a adaptação aos potenciais impactos causados pelas emissões de GEE'S e a mitigação (CUNHA et al., 2015). No contexto das mudanças climáticas, a adaptação é definida como o ajustamento dos sistemas naturais e humanos em resposta aos eventos climáticos atuais ou esperados. A mitigação, por sua vez, se relaciona à intervenção humana visando reduzir ou suavizar o impacto de

determinado dano ambiental. De acordo com Patt et al. (2010), ambos os processos envolvem ações tanto de agentes privados quanto do setor público, todavia, os benefícios da adaptação são direcionados ao agentes, enquanto os benefícios da mitigação são direcionados à sociedade como um todo. Apesar de os esforços relativos à redução da emissão de GEE's serem cada vez mais evidentes no cenário climático global, Margulis e Dubeux, (2010) afirmam que é cada vez mais improvável que as mudanças climáticas sejam evitadas apenas através de medidas de mitigação. Nesse sentido, as estratégias adaptativas têm sido cada vez mais enfatizadas de modo que uma resposta política mais abrangente seja formada (KUMAR, 2009).

De acordo com Barnett e Webber (2010), a característica da migração por razões climáticas é associada ao fenômeno que a provoca, os quais são divididos em processos climáticos (*slow-onset*), que são processos de início lento, como as secas e o aumento do nível do mar; e os eventos climáticos (*rapid-onset*), que são os processos repentinos e extremos, como as inundações e ciclones. Em geral, as migrações em resposta aos processos climáticos são permanentes e de longa distância, enquanto as migrações em resposta a eventos extremos são temporárias, de curta distância e a maior parte das pessoas deslocadas retorna ao lugar devastado pelo evento climático para reconstruir. Outra questão em debate a respeito das migrações causadas pelas mudanças climáticas é o grau na qual elas são voluntárias ou forçadas. Os processos climáticos são normalmente associados às migrações voluntárias, e as migrações forçadas com frequência são resultado de eventos extremos.

1.2. O problema e sua importância

A migração será afetada pelas mudanças climáticas através de sua influência sobre os múltiplos fatores que atuam na decisão de migrar, como fatores econômicos, sociais, políticos, demográficos e ambientais, e é condicionada por estes fatores tanto nos locais de origem quanto nos de destino. Sendo assim, entender as características específicas dos fluxos migratórios, tais como duração, destino e composição, é essencial para compreender os impactos da migração nos locais de origem e destino e para o desenvolvimento de políticas apropriadas (TACOLI, 2009; FORESIGHT, 2011).

Numerosos estudos recentes (MUNSHI, 2003; BARRIOS et al., 2006; ASSUNÇÃO; FERES, 2008; GRAY, 2008; MARCHIORI et al., 2011; BEINE; PARSONS, 2013; MUELLER et al., 2014) têm destacado a questão da migração

resultante das mudanças climáticas e estimado a quantidade de pessoas deslocadas pelas mesmas. Munshi (2003) verificou a correlação negativa entre o histórico de precipitação e o número de migrantes do México para os Estados Unidos. Barrios et al. (2006) observaram que a escassez de chuva fez aumentar o êxodo rural nos países da África Subsaariana. Gray (2008) concluiu que a diminuição da precipitação em comunidades rurais do Equador resultou em migrações internas no país. Marchiori et al. (2011) observaram que as anomalias⁴ da precipitação e temperatura nos países da África Subsaariana afetam a renda diferencial que, por sua vez, incentivam a migração rural-urbana. Gray e Mueller (2011) investigaram as consequências da seca sobre a mobilidade populacional nas áreas rurais da Etiópia e os resultados indicaram que a migração, especialmente de homens, aumenta como consequência da escassez de precipitação. Beine e Parsons (2012) examinaram as mudanças climáticas de longo prazo, captadas como os desvios médios de temperatura e precipitação, como determinantes da migração internacional. Os resultados encontrados pelos autores indicam que a mudança climática afeta a migração internacional indiretamente, via reduções na renda nas localidades de origem. Mueller et al. (2014), por sua vez, verificaram que os aumentos de temperatura nas áreas rurais do Paquistão resultaram em aumentos na migração, porém não foram encontradas evidências de que a precipitação afetasse a mobilidade populacional. No que se refere especificamente ao Brasil, Assunção e Feres (2008) investigaram a mudança climática como um determinante-chave nos fluxos migratórios rural-urbano e intermunicipal no país para o ano de 2000. Os resultados encontrados sugerem que as características climáticas foram significativas na determinação dos fluxos migratórios naquele ano.

As análises a respeito de migrações induzidas por mudanças climáticas encontradas na literatura são divergentes e controversas, refletindo os desafios metodológicos em estabelecer *links* causais entre mudanças climáticas e migrações (JOHNSON; KRISHNAMURTHY, 2010). Embora existam diversos estudos relacionando a migração às mudanças climáticas em outros países, verifica-se que a literatura brasileira tem explorado pouco essa problemática e, apesar de haver diversos estudos sobre migração rural-urbana no Brasil (GOLGHER; MARQUES, 2006; RAMALHO; SILVEIRA NETO, 2010; RAMALHO; SILVEIRA NETO, 2012), apenas o estudo de Assunção e Feres (2008) possui como foco a migração motivada por mudanças climáticas. É importante salientar que a não inclusão dos fatores climáticos

⁴ A anomalia mede o desvio do valor observado em relação à média histórica das variáveis consideradas (XAVIER; XAVIER, 1997).

como determinantes do processo migratório rural-urbano no Brasil poderia resultar em vieses, uma vez que é sabido que o clima desempenha um papel importante nos fluxos migratórios. Nesse sentido, este estudo busca compreender melhor o processo migratório rural-urbano brasileiro, analisando se os fatores climáticos têm contribuído para o deslocamento de pessoas no passado recente (última década do século XX e primeira do século XXI)⁵; ao mesmo tempo, pretende-se investigar como esses fluxos migratórios serão afetados por cenários futuros de mudanças climáticas.

Como as diferenças regionais atuam sobre as decisões dos indivíduos de migrar ou de permanecer em suas localidades de origem (GOLGHER, 2004), foco especial será dado ao Semiárido, uma vez que essa região será uma das mais expostas aos efeitos das mudanças climáticas, dadas as suas condições fisiográficas e socioeconômicas (TORRES et al., 2012).

É importante deixar claro que não se trata de procurar estabelecer uma relação linear e determinística entre mudanças climáticas e migração, uma vez que, segundo Black et al. (2011), isso seria equivocado. O que se deseja, porém, é avaliar se as alterações climáticas brasileiras do passado recente e aquelas esperadas para o futuro têm papel relevante sobre a migração rural-urbana da região Semiárida. Este estudo avança no sentido de que se busca melhor entendimento da migração rural-urbana, considerando-se a pluralidade de direcionadores envolvidos no processo, bem como a heterogeneidade regional existente no país. Destaca-se que este estudo se propõe a desenvolver uma análise temporal e, portanto, mais abrangente, diferentemente de outras análises existentes na literatura nacional, que muitas vezes se restringem a apenas um período de tempo. Adicionalmente, este trabalho contribui para a literatura ao incluir simulações de cenários futuros para a migração rural-urbana.

Por fim, ressalta-se que a importância de se desenvolver estudos abordando os fluxos migratórios se deve ao fato de que estes podem ter impactos negativos sobre o desenvolvimento econômico de regiões específicas, como a região do Semiárido, bem como sobre as políticas governamentais dos municípios. Além disso, o melhor entendimento das causas destes fluxos se faz necessário para que seja possível investir em políticas específicas de combate à migração por razões climáticas, controlando, indiretamente, os fatores adversos associados ao processo migratório rural-urbano, tais como subemprego e marginalização dos migrantes nos centros urbanos (CAMPINO, 1973). Sendo assim, este estudo constitui um importante instrumento na elaboração de

⁵ É importante ressaltar que, devido a limitações de bases de dados, o foco deste estudo serão os processos climáticos (*slow-onset*).

políticas públicas voltadas para minorar os desequilíbrios econômicos e sociais causados pela migração rural-urbana.

1.3. Caracterização do Semiárido brasileiro

Segundo a Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro, lançado pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA), a região semiárida brasileira possui 1.135 municípios distribuídos em nove unidades da Federação, sendo elas Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e Minas Gerais. A Tabela 1 apresenta a quantidade e a proporção de municípios que compõem a região do Semiárido por estado.

Tabela 1: Distribuição dos municípios do Semiárido por Unidade da Federação.

Unidades da Federação	Número de municípios			Proporção de municípios no Semiárido
	Semiárido	Fora do Semiárido	Total	
Rio Grande do Norte	147	20	167	88,02%
Ceará	150	34	184	81,52%
Paraíba	170	53	223	76,23%
Pernambuco	122	63	185	65,94%
Bahia	266	151	417	63,79%
Piauí	128	96	224	57,14%
Sergipe	29	46	75	38,67%
Alagoas	38	64	101	37,62%
Minas Gerais	85	768	853	9,96%
Nordeste	1050	744	1794	58,53%
Brasil	1135	4430	5565	20,40%

Fonte: INSA. Adaptado do IBGE, 2010.

A partir da distribuição dos municípios do Semiárido nas Unidades da Federação do Brasil exibidos na Tabela 1, percebe-se que os estados do Rio Grande do Norte e Ceará se destacam por apresentar mais de 80% de seus municípios na região semiárida, com respectivamente 88,02 e 81,52% dos municípios inseridos nesta região. A região Nordeste e o Brasil contabilizam, respectivamente, 58,53% e 20,40% de seus municípios na porção semiárida do Brasil. A Figura 1 apresenta a delimitação geográfica do Semiárido brasileiro.

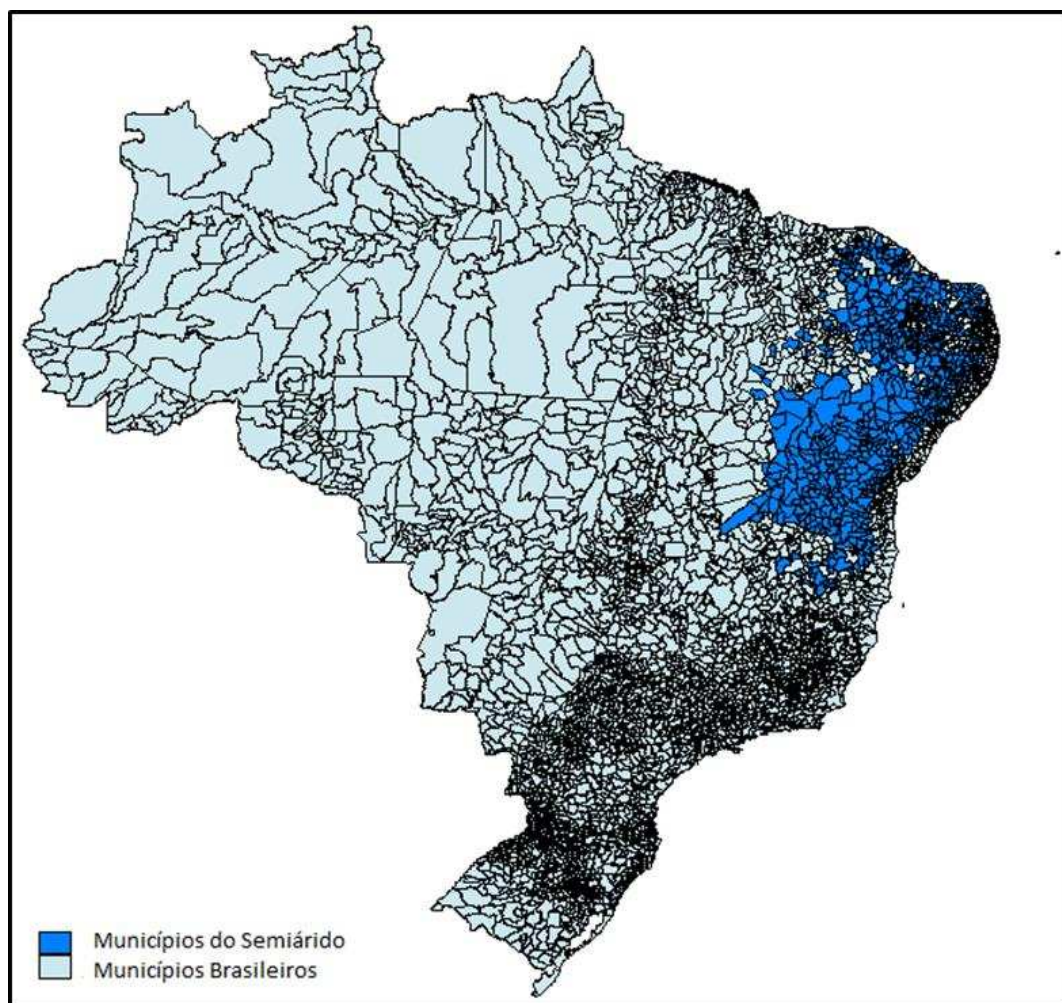


Figura 1: Delimitação da região Semiárida brasileira.

Fonte: Elaboração da autora.

O INSA aponta, ainda, que a extensão territorial da região Semiárida é de 980.133,079 km², equivalente a 11,53% da extensão territorial do país. No que se refere à população, a região concentra 22.598.318 habitantes, representando aproximadamente 42,6% da população da região Nordeste e 11,9% da população brasileira⁶. Conforme os critérios estabelecidos pelo Ministério da Integração Nacional (MI, 2014), a definição dos municípios que compõem o Semiárido é feita a partir dos seguintes critérios: i) precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; ii) índice de aridez de até 0,5⁷; e iii) risco de seca maior que 60%⁸.

⁶ Dados do Censo Demográfico de 2010.

⁷ O grau de aridez de uma região depende da quantidade de água proveniente da precipitação e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração potencial (OJIMA, 2013).

⁸ Municípios que apresentaram déficit hídrico diário em mais de 60% no período de 1970 a 1990 (OJIMA, 2013).

O espaço geográfico do Semiárido é a região brasileira mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, uma vez que é caracterizada por elevadas médias anuais de temperatura (27°C) e evaporação (2.000 mm, aproximadamente), com precipitações pluviométricas médias de 800 mm ao ano, concentradas em três a cinco meses e irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. No geral, o solo desta região é raso e rochoso em algumas localidades que, combinado com um balanço hídrico negativo em grande parte do ano, resulta em secas periódicas e de grandes proporções (INSA, 2014). No que tange à disponibilidade de água, ainda segundo o INSA, 67% das famílias rurais que residem na região não possuem acesso à rede geral de abastecimento. A dificuldade de acesso à água é resultado principalmente das condições climáticas desfavoráveis, como baixo índice pluviométrico, altas temperaturas e consequente elevada taxa de evapotranspiração.

No que se refere aos indicadores sociais, o Ministério da Integração Nacional aponta que mais da metade da população pobre do país – 58% – vive na região. O Índice de Desenvolvimento Humano médio da região é baixo, uma vez que aproximadamente 82% dos municípios possuem IDH menor que 0,65. O MI aponta ainda que mais de 10 milhões de pessoas que vivem na região não possuem renda ou têm como única fonte de rendimento os benefícios providos pelo Governo, como o Bolsa Família. A desigualdade de renda existente na região, verificada por meio do índice de Gini, possui valor superior a 0,6 para mais de 32% dos municípios do Semiárido. Além da concentração de renda, verifica-se também a forte concentração de terra. Conforme dados do Centro Agropecuário (2006), aproximadamente 33% dos estabelecimentos agropecuários do Brasil estão na região Semiárida. Destes, 73% dos proprietários de terra concentram 93% das terras destinadas à agropecuária, enquanto cerca de 27% dos estabelecimentos agropecuários no Semiárido dispõem de apenas 7% dessas terras. Como consequência, predominam-se na região os sistemas agrícolas baseados em agricultura familiar, explorados com baixa eficiência de produção e responsáveis pela degradação dos recursos naturais.

Diante do exposto, é possível inferir que, diante das projeções de aumento de temperatura e redução da disponibilidade hídrica verificadas para o Semiárido, as mudanças no clima têm o potencial de agravar ainda mais as condições climáticas e socioeconômicas dessa região. Questões como pobreza e desigualdade de renda, associadas às adversidades climáticas, culminam em aumentos da migração rural-urbana na região, conforme será descrito nas próximas subseções.

1.4. Hipótese

As mudanças climáticas têm contribuído para os processos de migração rural-urbana nos municípios do Semiárido brasileiro e as variações futuras de temperatura e precipitação poderão acelerar o processo migratório.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é investigar o papel das mudanças climáticas na migração rural-urbana intramunicipal na região do Semiárido brasileiro.

1.5.2. Objetivos Específicos

Especificamente pretende-se:

- i. Traçar um perfil socioeconômico da migração rural-urbana intramunicipal no Semiárido brasileiro no passado recente, especificamente no período de 1991 a 2010;
- ii. Analisar o impacto das mudanças climáticas na migração rural-urbana intramunicipal no Brasil em períodos futuros de acordo com os cenários de mudanças climáticas elaborados pelo IPCC.

1.6. Estrutura

De forma a cumprir os objetivos propostos, este trabalho está organizado em cinco seções, além desta introdução. As seções 2 e 3 apresentam, respectivamente, o Referencial Teórico que fundamenta a análise e a Metodologia utilizada para responder as questões levantadas na pesquisa. Na seção 4 são discutidos os resultados encontrados e na seção 5 são expostas as principais conclusões do estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente estudo objetiva, inicialmente, analisar a dinâmica da migração rural-urbana no Brasil no passado recente (1991 a 2010). Dessa forma, a presente seção apresenta a fundamentação teórica que suporta o problema de pesquisa. Inicialmente são apresentadas as teorias neoclássicas sobre migração e, em seguida, é apresentado o modelo microeconômico, baseado em maximização da utilidade, em que este estudo é fundamentado.

Não obstante, como o estudo se concentra num dos principais desafios futuros para as sociedades modernas, qual seja, a influência das alterações do clima sobre os fluxos migratórios, essa seção inicia-se com a apresentação do que se entende por mudança climática. O termo mudança climática, conforme definido pelo IPCC (2013), é a variação de um parâmetro climático médio que persiste ao longo de um período extenso devido a processos naturais, forças externas ou mudanças persistentes na composição da atmosfera causadas pela ação do homem. De forma complementar, a Convenção das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, 2009), define a mudança climática como a alteração no clima resultado, direta ou indiretamente, da atividade humana e da variabilidade natural do clima, alterando a atmosfera global por longos períodos de tempo. Seja qual for a definição considerada, pode-se afirmar que a mudança climática é um fenômeno permanente e de longo prazo, diferentemente das alterações nas condições do tempo, que se referem às condições atmosféricas em determinado momento e local (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2014).

O grau no qual um sistema é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas é definido pelo IPCC (2013) como vulnerabilidade e

é função da magnitude da variação climática, da exposição, da sensibilidade e da capacidade adaptativa do sistema. Além dos fatores climáticos, o nível de vulnerabilidade das diferentes regiões e grupos sociais também é determinado por fatores socioeconômicos, incluindo o nível de desenvolvimento tecnológico, a infraestrutura e as instituições políticas. A capacidade adaptativa, no contexto das mudanças climáticas, é o ajustamento dos sistemas naturais e humanos em resposta aos eventos climáticos atuais ou esperados. Relacionados a estes conceitos, está o conceito de resiliência, definida como a habilidade das populações de absorver as mudanças externas, enquanto mantém a sustentabilidade de seus meios de vida.

2.1. As teorias neoclássicas sobre a migração

De acordo com Lilleor e Van den Broeck (2011), existem três tipos principais de modelos de migração identificados na literatura. Os modelos mais antigos (LEWIS, 1954; RANIS; FEI, 1961) identificam os diferenciais de salário entre as áreas de origem e destino como o único fator de motivação para a ocorrência da migração. Dessa forma, a migração rural-urbana apenas ocorre quando os retornos do trabalho nas áreas urbanas são maiores do que os retornos do trabalho nas áreas rurais. Os diferenciais de salário induzem à migração até o ponto de convergência dos salários nas duas áreas e, à medida que mais pessoas migram para as áreas urbanas, a oferta de trabalho aumenta nesta área e diminui na área rural, reduzindo, assim, os salários urbanos e aumentando os salários rurais.

O segundo tipo de modelo de migração se origina do modelo prévio, porém incorpora modificações feitas por Todaro (1969) e Harris e Todaro (1970). Ao perceber que a migração rural-urbana ocorria apesar do alto desemprego urbano, os autores sugeriram que, na verdade, não são os salários reais que impulsionam a migração, mas os salários esperados. Além disso, os autores sugeriram que os diferenciais de desemprego e a taxa de desconto dos lucros futuros também impulsionavam a migração. Ou seja, o migrante em potencial ponderava o diferencial de salário contra a probabilidade de desemprego e sua taxa de desconto ao decidir se deveria migrar ou não.

Os modelos da Nova Economia de Migração Laboral (NEML) constituem o terceiro tipo. Eles diferem substancialmente dos demais modelos em dois aspectos: a introdução do risco rural como fator de decisão na migração e o foco da unidade de análise da migração passa a ser a família ao invés de um único indivíduo. Neste modelo,

a migração é vista como uma estratégia familiar que visa maximizar o lucro esperado e reduzir os riscos associados ao consumo por meio da diversificação das fontes de renda. Stark e Lucas (1988) argumentam que em um ambiente onde a renda está sujeita a grandes oscilações ao longo do tempo, devido à dependência do clima, por exemplo, e onde mercados de seguros ou de créditos formais são inexistentes, ter um membro da família em uma localidade com diferentes padrões de variabilidade de renda faz com que a família reduza os riscos de falha no consumo através da diversificação das fontes de renda.

2.2. Migração como maximização da utilidade

Segundo Deschenes e Greenstone (2007) e Marchiori et al. (2011), regiões com maior dependência ao setor agrícola são particularmente mais vulneráveis às anomalias climáticas, uma vez que as mesmas podem alterar a produtividade deste setor. Além disso, espera-se que quanto maior for a dependência de determinada região ao setor agrícola, maior será o impacto das mudanças climáticas na migração. Dessa forma, de acordo com Dell et al. (2008) e Marchiori et al. (2011), maiores anomalias climáticas na área rural resultam em salários mais baixos nesta mesma área. Uma vez que a área urbana não é afetada de forma tão severa pelas variações no clima quanto a área rural, a queda nos salários rurais induz a migração.

Conforme proposto por Marchiori et al. (2011), supõe-se que exista uma quantidade de trabalhadores que podem trabalhar tanto no setor agrícola quanto no setor urbano e que estes trabalhadores tenham livre mobilidade entre os setores. A parcela L_t é constituída pelos trabalhadores rurais que trabalham no setor urbano, enquanto a parcela $I-L_t$ é constituída pelos trabalhadores rurais que trabalham no setor agrícola. Assume-se que N_t sejam os trabalhadores do setor urbano e que apenas trabalhem no setor urbano. A produção agrícola é função de $Y^A(C, I-L_t)$, onde C denota o clima; e a produção urbana, por sua vez, é função de $Y^U(L_t, N_t)$.

Assume-se, ainda, que o clima afete a produtividade do setor agrícola e que a variável Z seja uma medida do quanto as variáveis climáticas podem afetar a produtividade agrícola, com $Z \in [0, \infty]$, em que zero representa o produto não sendo afetado pelo clima (melhor cenário) e ∞ representa o produto sendo infinitamente afetado pelo clima (pior cenário). Espera-se que o produto seja dado por:

$E(z) = \int_0^{\infty} z f(z) dz$, em que $f(z)$ denota a função de probabilidade.

Assume-se que o capital e o conhecimento sejam dados e incorporados nas produtividades totais dos fatores. Assume-se, ainda, que os preços sejam competitivos e dados em ambos os setores.

O setor agrícola produz de acordo com $W^A(C, 1-L_t) = p^A Y^A_{1-L_t}$, com $W^A_{1-L_t} < 0$, $W^A_C < 0$ e $\lim_{L \rightarrow 1} W^A = \infty$. O salário ótimo no setor urbano é dado por $W^U(L_t, N_t) = p^U Y^U_L$, com $W^U_{L_t} < 0$ e $W^U_{N_t} < 0$.

Assim, os trabalhadores comparam seus salários entre as áreas rural e urbana e migram da área rural para a área urbana caso os salários desta sejam maiores. Dessa forma, os trabalhadores agrícolas decidem migrar da área rural para a área urbana de acordo com:

$$\dot{L}_t = W^U(L_t, N_t) - W^A(1 - L_t, C) \quad (1)$$

em que \dot{L}_t denota a variação do número de trabalhadores rurais que trabalham no setor urbano ao longo do tempo. Portanto, a quantidade de trabalhadores rurais que trabalham no setor urbano aumentará se o salário no setor urbano for maior que no setor agrícola.

Pesquisas sobre migração (BARRIOS et al., 2006; BEINE et al., 2011; BEINE; PARSONS, 2013) indicam, porém, múltiplos fatores que afetam a decisão dos indivíduos de migrar, incluindo características do local de origem e de destino, obstáculos intervenientes, como distância e restrições institucionais, e percepções sobre a oportunidade de vida melhor. Nesse sentido, pode-se afirmar, com base nesses mesmos estudos, que eventos ambientais, somados aos fatores socioeconômicos e políticos, são os principais direcionadores dos processos migratórios.

É amplamente aceito na literatura que, embora os fatores econômicos sejam os maiores influenciadores na decisão de migrar, eles não são os únicos (BARRIOS et al., 2006; BEINE et al., 2011; MARCHIORI et al., 2011). A migração não é mais vista somente como um processo geral onde os indivíduos se movem de lugares mais pobres para lugares mais ricos. A escala e a direção do movimento migratório são ligadas às circunstâncias pessoais dos migrantes, tais como classe, etnia, religião, idioma, níveis de educação e conexões com outras pessoas nos locais de destino. Castles (2011) argumenta que a migração precisa ser entendida como parte de um amplo conjunto de

processos de transformações sociais advindas de mudanças nas relações políticas, socioeconômicas e ambientais.

A Figura 2 caracteriza cinco grupos de direcionadores da migração, sendo eles econômicos, sociais, ambientais, políticos e demográficos.

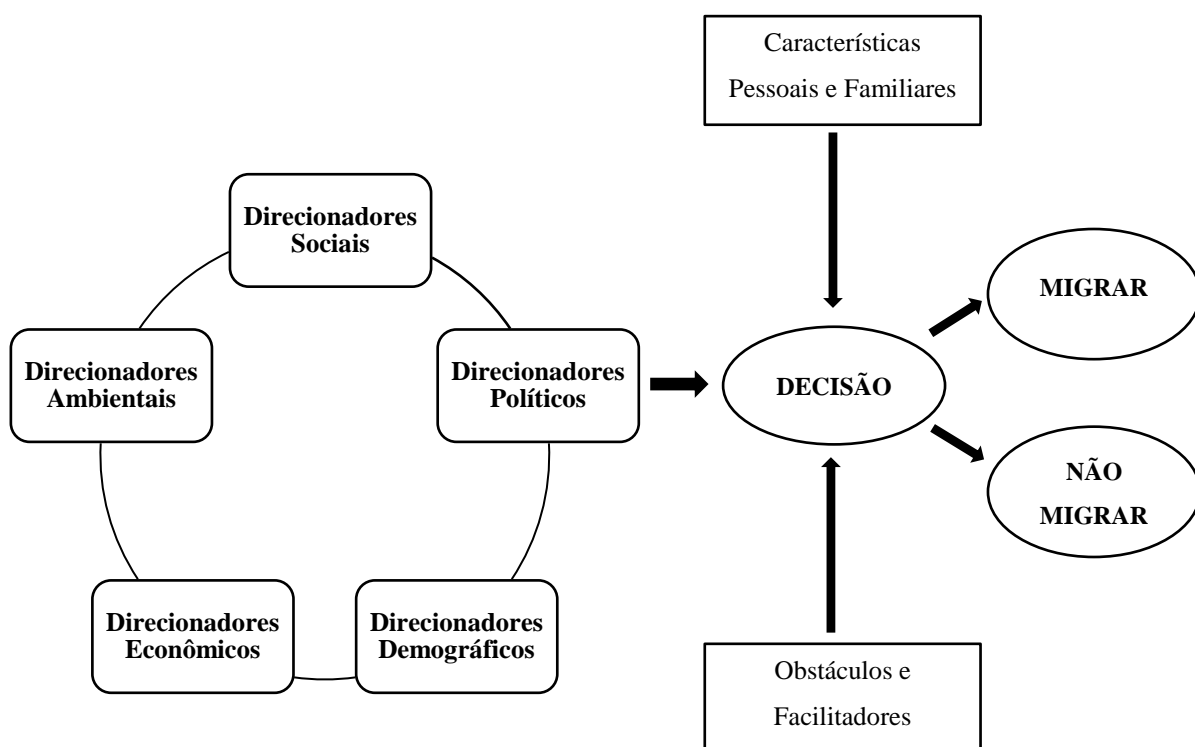


Figura 2: Direcionadores dos processos migratórios.

Fonte: Adaptado de Castles, (2011).

O *direcionador econômico* inclui oportunidades de emprego e diferenciais de renda entre os lugares de origem e destino. O *direcionador político* cobre não somente questões de conflito, segurança, discriminação e perseguição, mas também a questão de políticas governamentais. O *direcionador demográfico* inclui o tamanho e a estrutura da população, juntamente com a prevalência de doenças que afetam a morbidade e a mortalidade. O *direcionador social* inclui as expectativas familiares e culturais, como oportunidades relacionadas à educação e saúde. Por último, o *direcionador ambiental* inclui a exposição ao risco climático e a disponibilidade de serviços ecossistêmicos. A partir destes cinco direcionadores, o migrante em potencial ainda considerará as características individuais e familiares, como idade, gênero, etnia, religião, entre outros, bem como os obstáculos e facilitadores intervenientes na sua decisão de migrar ou não. Os cinco direcionadores raramente atuam isoladamente e as interações entre eles oferecem uma conjectura mais detalhada sobre a migração (BLACK et al., 2011).

Considerando esses aspectos, a fundamentação teórica deste estudo foi derivada da teoria microeconômica da maximização da utilidade, utilizada por Beine et al. (2011) e por Beine e Parsons (2013) para analisar a relação entre mudanças climáticas e migração internacional. De acordo com Beine e Parsons (2013), a abordagem da maximização da utilidade foi utilizada pioneiramente por Roy (1951) e Borjas (1987) e estudada de forma mais avançada por Grogger e Hanson (2011) e Beine et al. (2011). O presente estudo se propõe a adaptar o modelo de Beine et al. (2011), ajustando-o para considerar a migração rural-urbana no contexto brasileiro.

O modelo postula que N_{it} é a população rural no município i no tempo t e que, a cada período de tempo, essa população escolhe entre migrar e não migrar com base em um processo de maximização de sua utilidade. O modelo postula ainda que N_{ijt} é a população rural do município i que migra para a área urbana j no tempo t . A utilidade do indivíduo em migrar é log-linear na renda, de forma a captar a variação na utilidade a cada variação percentual do produto, e depende das características dos locais de origem e de destino, bem como dos custos de migração. Assim, a utilidade do indivíduo que vive na área rural i em permanecer na área rural i no tempo t é dada por:

$$U_{iit} = \ln(W_{it}) + A_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

em que U_{iit} é a utilidade do indivíduo que vive na área rural i em permanecer na área rural i no tempo t ; W_{it} é o Produto Interno Bruto (PIB) agrícola *per capita* no município i no tempo t ; A_{it} são as características da área rural i no tempo t , considerando os múltiplos fatores que atuam na decisão de migrar; e ε_{it} é um termo *iid* (independente e identicamente distribuído) de distribuição aleatória.

Alternativamente, a utilidade do indivíduo que vive na área rural i em migrar para a área urbana j no tempo t é dada por:

$$U_{ijt} = \ln(W_{jt}) + A_{jt} - C_{ijt} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

em que W_{jt} é o PIB não agrícola *per capita* do município i no tempo t e C_{ijt} é o custo de migrar da área rural i para a área urbana j no tempo t .

Quando o termo aleatório segue uma distribuição *iid* de valor extremo, a probabilidade de um indivíduo que vive na área rural i em migrar para a área urbana j

no tempo t é dada por:

$$\frac{N_{ijt}}{N_{iit}} = \frac{\exp[\ln(W_{jt}) + A_{jt} - C_{ijt}]}{\exp[\ln(W_{it} + A_{it})]} \quad (4)$$

em que N_{ijt} é o número de migrantes de i para j e N_{iit} é a população não migrante da área rural i , ambas no tempo t .

Tomando logaritmos da utilidade diferencial entre permanecer em i ou migrar para j , chega-se ao seguinte modelo de especificação do tipo gravitacional:

$$\ln\left(\frac{N_{ijt}}{N_{iit}}\right) = \ln\left(\frac{W_{jt}}{W_{it}}\right) + A_{jt} - A_{it} - C_{ijt} \quad (5)$$

em que W_{jt}/W_{it} é a razão entre os PIB's *per capita* não agrícola e agrícola no município i no tempo t , ou seja, é o diferencial de produto entre as áreas urbana e rural.

Dessa forma, a equação (5) expressa que a migração é função dos diferenciais de produto *per capita* entre as áreas i e j , dos fatores de origem e de destino e dos custos de migração. De acordo com Beine et al. (2011), os custos de migração são divididos em custos psicológicos, que incluem migrar para uma localidade com características linguísticas e culturais divergentes do local de origem, e custos financeiros, que variam com a distância entre os locais de origem e destino. Segundo Alves (1995), quanto maior a distância entre o local de origem e o local de destino, maiores serão os custos associados à migração, de forma que os custos de migrar da área rural para a área urbana do mesmo município são muito pequenos. No caso deste estudo, que trata de migração intramunicipal, segue-se a proposta metodológica de Assunção e Feres (2008) que considera que os custos de migração são nulos⁹.

Neste estudo o foco principal foi as características das áreas de origem i , as quais são função dos fatores econômicos (Eco_{it}), sociais (Soc_{it}), políticos (Pol_{it})¹⁰, demográficos (Dem_{it}) e ambientais (Amb_{it}). Uma vez que os efeitos das mudanças climáticas sobre a decisão de migrar podem ser mediados por medidas adaptativas ao longo do tempo, respostas às mudanças do clima deverão incluir a adaptação aos potenciais impactos causados pelas emissões de GEE's e consequentes variações na

⁹ Em estudos sobre migração, em geral, utiliza-se a distância como *proxy* dos custos de migração. Como este estudo trata de migração intramunicipal, não é possível considerar a distância como custo de migração rural-urbana.

temperatura e nos índices pluviométricos. Sendo assim, as características das áreas de origem são função de:

$$A_{it} = A(Eco_{it}, Soc_{it}, Pol_{it}, Dem_{it}, Amb_{it}, Adp_{it}) \quad (6)$$

em que Adp_{it} se refere à medida adaptativa.

No presente trabalho, os fatores ambientais foram representados pelos padrões históricos de temperatura e precipitação. Os fatores econômicos, sociais, políticos e demográficos foram representados pela razão entre os PIB's nas áreas de origem e de destino, pelo número de escolas e pelo número de pessoas em idade de maior propensão à migração nas áreas de origem, respectivamente. Em relação ao fator de adaptação, o mesmo foi representado pelo número de estabelecimentos agropecuários que utilizam a prática da irrigação¹¹.

¹¹ Mais detalhes sobre as variáveis representativas dos direcionadores dos processos migratórios serão exibidos na próxima seção.

3. METODOLOGIA

Nesta seção é apresentado o modelo analítico que foi utilizado para avaliar como a migração rural-urbana intramunicipal pode ser afetada pelas variações na temperatura e na precipitação e pelas demais condições socioeconômicas. Adicionalmente, apresenta-se a metodologia utilizada para simular o impacto das mudanças climáticas sobre a migração em períodos futuros.

3.1. Modelo analítico

A hipótese deste estudo é que as mudanças climáticas têm contribuído para os processos de migração rural-urbana intramunicipal nos municípios do Semiárido brasileiro. Para adequadamente testá-la, partiu-se das equações (5) e (6) do referencial teórico, chegando-se à seguinte especificação empírica e cujas variáveis explicativas foram baseadas em Barrios et al. (2006), Marchiori et al. (2011), Beine et al. (2011), Beine e Parsons (2013) e Dallmann e Millock (2013):

$$\left(\frac{N_{ijt}}{N_{iit}} \right) = \beta_0 + \beta_1 \ln \left(\frac{W_{jt}}{W_{it}} \right) + \beta_2 ESC_{it} + \beta_3 FE_{it} + \beta_4 T_{it} + \beta_5 P_{it} + \beta_6 IRR_{it} + \alpha_i + \alpha_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

em que N_{ijt}/N_{iit} é a taxa de migração, isto é, a razão entre o número de migrantes da área rural i na área urbana j e a população da área rural i que escolheu permanecer em i , no período t . A taxa de urbanização, definida como a razão entre a população urbana e a

população residente total, é utilizada como *proxy* para a taxa de migração; W_{jt}/W_{it} é a razão entre os PIB's *per capita* não agrícola e agrícola no município i no tempo t ; ESC_{it} , que representa o fator social, é razão entre o número de escolas na área rural e o número total de escolas no município i ; FE_{it} , que representa o fator demográfico, é a parcela da população com faixa de idade mais propensa à migração; T_{it} e P_{it} , que representam os fatores ambientais, são as anomalias de temperatura e precipitação respectivamente e IRR_{it} é a parcela de estabelecimentos agropecuários que utilizam algum tipo de irrigação, que capta a adaptação às mudanças de longo-prazo na área rural i ; α_i é o efeito fixo, que é invariável ao longo do tempo e capta a vulnerabilidade da área rural do município i ; α_{jt} é o efeito fixo que capta as características da área urbana j que variam ao longo do tempo; e ε_{it} é o erro idiossincrático, que representa os fatores não observados que mudam ao longo do tempo e que afetam a variável dependente.

Os sinais esperados para os coeficientes estimados para a região Semiárida são $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, $\beta_3 > 0$, $\beta_4 > 0$, $\beta_5 < 0$ e $\beta_6 < 0$. Tudo mais mantido constante, quanto maiores forem os diferenciais de produto *per capita* entre as áreas rurais e urbanas, quanto maior for a população em idade migratória e quanto maior for o desvio em relação à média da temperatura, maior o incentivo para migrar (MARCHIORI et al., 2011; BEINE; PARSONS, 2013; MUELLER, 2014). Por outro lado, quanto maior o número de pessoas com algum grau de instrução, maior for o volume de precipitação e maior for o número de estabelecimentos que utilizam a irrigação, maior a taxa de permanência (GREY; MUELLER, 2011; BEINE et al., 2011; RAMÍREZ et al., 2012).

3.2. Modelo empírico

A partir do modelo analítico proposto para a análise das questões levantadas neste estudo, foi utilizado o modelo de dados em painel. Esse tipo de especificação econométrica permite que sejam combinados os dados de cada município do Semiárido (observações de corte transversal) para cada um dos anos considerados na análise (série temporal), aumentando assim a quantidade de observações disponíveis. Dentre as vantagens de se trabalhar com dados em painel, está o fato de que, ao se combinar séries temporais e dados de corte transversal, são proporcionados dados com maior variabilidade, menor colinearidade entre as variáveis e mais graus de liberdade¹², resultando em maior eficiência nas estimações (HSIAO, 2006). Adicionalmente, Stock e

¹² Grau de liberdade é a diferença entre o número de observações e o número de parâmetros do modelo (GUJARATI, 2006).

Watson (2004) apontam que, ao se utilizar dados em painel, as propriedades assintóticas dos estimadores são asseguradas, as inferências são credíveis devido ao aumento dos graus de liberdade e o risco de multicolinearidade é reduzido. Além disso, a maior vantagem da utilização dos dados em painel é a possibilidade de se observar o fenômeno da migração rural-urbana ao longo do período de tempo considerado no estudo (1991-2010), observando como o mesmo se modificou ao longo deste período e quais os efeitos do clima neste processo, o que não é possível por meio de dados de corte transversal. O uso de dados em painel permite também o avanço em relação aos estudos sobre migração rural-urbana no Brasil, uma vez que o principal estudo que contempla os efeitos das mudanças climáticas sobre o fluxo migratório intramunicipal é restrito a apenas a um ano.

Segundo Greene (2012), o modelo geral para dados em painel pode ser representado da seguinte forma:

$$y_{it} = z_i\alpha + x_{it}'\beta + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

em que os subscritos i e t denotam, respectivamente, as unidades de observação no espaço (municípios do Semiárido) e no tempo (1991, 1996, 2000, 2007 e 2010)¹³, x_{it} é um vetor $1 \times k$ de variáveis exógenas que podem sofrer variações entre os municípios e entre os anos considerados; z_i mede a heterogeneidade, ou efeito específico de cada município, contendo um termo constante e um conjunto de variáveis não observadas constantes em t ; ε_{it} é o termo de erro independente e identicamente distribuído (*iid*) sobre t e i , com média 0 e variância σ , e α e β são os parâmetros a serem estimados. Dependendo das suposições que são feitas acerca do termo z_i , diferentes modelos poderão ser considerados, sendo eles o modelo de dados empilhados (*Pooled*), modelo de Efeitos Fixos e modelo de Efeitos Aleatórios:

- i. Se z_i contém apenas o termo constante, então o modelo de Mínimos Quadrados Ordinários – MQO – fornecerá estimadores consistentes e eficientes para o coeficiente comum α e para o vetor de inclinação β . Este modelo apenas considera os dados de forma empilhada, sem levar em consideração as características dos municípios, bem como a evolução destas características ao

¹³ Anos de Censos Demográficos e de Contagem Populacionais, para os quais os dados sobre a taxa de urbanização estão disponíveis.

longo do tempo. Modelos com essa característica são denominados modelos de dados empilhados ou *pooled*;

- ii. Se z_i não for observado, mas correlacionado com os regressores x_{it} , o estimador de MQO será viesado e inconsistente. Dessa forma, a equação (8) passa a ser descrita como:

$$y_{it} = (\delta + \alpha_i) + x_{it}'\beta + \varepsilon_{it} \quad (8.1)$$

em que α_i é uma parte do intercepto e a constante δ indica a parcela comum a todos os municípios ou no tempo. Esse modelo é conhecido como modelo de Efeitos Fixos, uma vez que α_i é uma constante específica para cada grupo de seção cruzada (municípios) ou no tempo;

- iii. Se z_i for não observado e não correlacionado com os regressores x_{it} , ele é um componente do termo de erro. Assim, a equação (8) pode ser reescrita como:

$$y_{it} = \delta + x_{it}'\beta + (\alpha_i + \varepsilon_{it}) \quad (8.2)$$

Neste caso, embora os estimadores de MQO sejam consistentes, eles serão ineficientes. Uma vez que α_i é um componente aleatório, o modelo é então denominado de modelo de Efeitos Aleatórios.

3.2.1. Modelo *Pooled*

Nos modelos de dados empilhados, a estimação é feita assumindo-se que os parâmetros α e β são comuns para todos os indivíduos (GUJARATI, 2006). Esta especificação assume que o comportamento das observações é uniforme para todos os municípios e ao longo do tempo considerado e que todas as observações são homogêneas tanto no coeficiente constante quanto nos coeficientes angulares.

3.2.2. Modelo de Efeitos Fixos

O modelo de Efeitos Fixos busca controlar os efeitos das variáveis omitidas que variam entre municípios e permanecem constantes ao longo do tempo. Nesse modelo o intercepto varia para cada município, entretanto estes interceptos são constantes ao longo do tempo, razão pela qual o modelo é denominado Efeitos Fixos. O modelo pode ser representado pela seguinte equação:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta + \eta_{it} \quad (8.3)$$

em que $\alpha_i = z_i\alpha$, sendo z_i a heterogeneidade individual que contém um termo constante e um conjunto de variáveis não observadas.

3.2.3. Modelo de Efeitos Aleatórios

O modelo de Efeitos Aleatórios possui as mesmas pressuposições que o modelo de Efeitos Fixos, isto é, que o intercepto é passível de variação entre os municípios, mas não é passível de variação ao longo do tempo. Entretanto, o modelo de Efeitos Aleatórios demanda a pressuposição adicional de que o componente específico de cada município e as variáveis explicativas utilizadas no modelo sejam não correlacionados.

Uma vez que neste modelo os erros das unidades de seção cruzada observados em diferentes períodos de tempo são correlacionados, o método dos Mínimos Quadrados Ordinários não é apropriado para a estimação dos coeficientes. Neste caso, o método mais apropriado para a estimação dos coeficientes e o método dos Mínimos Quadrados Generalizados – MQG (GREENE, 2012). O modelo pode ser representado da seguinte forma:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta + v_{it} \quad (8.4)$$

em que $v_{it} = u_i + \eta_{it}$.

3.3. Testes econométricos para os modelos de dados em painel

Ao analisar o comportamento conjunto de determinados dados, deve-se considerar as diferenças existentes entre os municípios e as especificidades de cada período de tempo que compõem a amostra. Os testes exibidos a seguir permitem

verificar o método de estimação do modelo que possui maior adequação aos dados e ao problema de pesquisa e identificar possíveis vieses na estimação.

3.3.1. Teste de Chow

De acordo com Gujarati (2006), o Teste de Chow, ou teste F, define a melhor adequabilidade entre os modelos *pooled* e de efeitos fixos e é dado por:

$$F_C = \frac{\left[\frac{(R_{ef}^2 - R_{pooled}^2) / m}{(1 - R_{ef}^2) / (N - k)} \right]}{\quad} \quad (9)$$

em que R_{ef}^2 e $N - k$ são, respectivamente, o coeficiente de determinação ajustado e o número de regressores do modelo com efeitos fixos; R_{pooled}^2 e m são, respectivamente, o coeficiente de determinação ajustado e o número de regressores do modelo *Pooled*. As hipóteses nula e alternativa do teste de Chow são:

Hipótese nula: modelo *pooled* é o mais adequado;

Hipótese alternativa: modelo de efeitos fixos é o mais adequado.

Em síntese, a hipótese nula do teste de Chow é que os coeficientes de intercepto das regressões são iguais. Se a hipótese nula é rejeitada, o modelo de Efeitos Fixos será o mais adequado.

3.3.2. Teste de Hausman

O teste de Hausman é utilizado para testar a ortogonalidade entre os efeitos aleatórios e os regressores e para avaliar se os estimadores de efeitos fixos e de efeitos aleatórios são significativamente diferentes (HSIAO, 2006). De forma geral, este teste é utilizado para decidir, dentre os modelos de efeitos fixos e de efeitos aleatórios, aquele que possui melhor adequação aos dados. A estatística do teste de Hausman é dada por:

$$H = (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF})' (\Sigma_{EF} - \Sigma_{EA})^{-1} (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF}) \quad (10)$$

em que $\hat{\beta}_{EA}$, $\hat{\beta}_{EF}$, Σ_{EF} e Σ_{EA} denotam o vetor de coeficientes estimados pelos efeitos

aleatórios, o vetor de coeficientes estimados por efeitos fixos, as matrizes de covariância do modelo de efeitos fixos e as matrizes de covariância do modelo de efeitos aleatórios, respectivamente (PINDYCK; RUBINFELD, 2004). As hipóteses do teste de Hausman são:

Hipótese nula: $[E(\alpha_i/X_{kit}) = 0$: não são correlacionados]. Isto é $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \dots = \alpha_k$;

Hipótese alternativa: $[E(\alpha_i/X_{kit}) \neq 0$: são correlacionados]. Ou seja $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \dots \neq \alpha_k$.

A hipótese nula indica que o modelo de Efeitos Aleatórios é o mais adequado enquanto a hipótese alternativa indica que o modelo de Efeitos Fixos é o que possui melhor adequação aos dados. Sob a hipótese nula de que o modelo de Efeitos Aleatórios é o mais adequado, a estatística H apresenta uma distribuição assintótica que se aproxima de uma distribuição Qui-Quadrado (χ^2) com k graus de liberdade, em que k refere-se ao número de parâmetros estimados (GREENE, 2012). A principal diferença entre os modelos é que o modelo de Efeitos Fixos pressupõe a presença da correlação entre as variáveis explicativas e o efeito fixo, enquanto o modelo de Efeitos Aleatórios pressupõe a ausência dessa correlação. Se a hipótese nula é rejeitada, opta-se pelo modelo de Efeitos Fixos.

3.3.3. Teste do Multiplicador de Lagrange de Breush-Pagan

O teste do Multiplicador de Lagrange – LM – avalia a hipótese de que a variância dos resíduos individuais é igual à zero. As hipóteses nula e alternativa do teste são:

Hipótese nula: $\sigma_\mu^2 = 0$

Hipótese alternativa: $\sigma_\mu^2 \neq 0$

Se a hipótese nula for aceita, o modelo *Pooled* é preferível ao modelo de Efeitos Aleatórios, caso contrário, deve-se assumir que o modelo de Efeitos Aleatórios é o mais adequado. Segundo Greene (2012), sob a hipótese nula, a estatística LM tem distribuição χ^2 com um grau de liberdade e sua equação é dada por:

$$LM = \frac{nT}{2(T-1)} \left[\frac{\left(\bar{e}' \right) \left(\bar{e} \right) \left(T^2 \right)}{e'e} \right]^2 \sim \chi^2 \quad (11)$$

em que T se refere ao número de unidades de tempo, n é o número de seções cruzadas, e é o vetor de resíduos do modelo de MQO e \bar{e} é o vetor $n \times 1$ da média dos resíduos de um grupo específico do modelo *pooled*.

3.3.4. Testes de Wald e de Wooldridge

A fim de testar a existência de autocorrelação e heterocedasticidade entre os resíduos, Greene (2012) sugere os testes de Wooldridge e Wald, respectivamente. O Teste de Wald testa a hipótese nula de igualdade entre a variância de todas as unidades amostrais contra a hipótese alternativa de variâncias diferentes entre as unidades. Dessa forma, portanto, o teste consiste em testar:

Hipótese nula: ausência de heterocedasticidade;

Hipótese alternativa: presença de heterocedasticidade.

A não rejeição da hipótese nula indica que o modelo é homocedástico e que a variância de cada painel pode ser considerada a mesma dos painéis considerados em conjunto. Segundo Wooldridge (2007), o teste indica a existência de heterocedasticidade quando a variância dos termos de erro da regressão não são constantes no decorrer do tempo.

A correlação serial, por sua vez, pode ser testada regredindo os resíduos do modelo especificado contra os resíduos da regressão defasada p vezes (WOOLDRIDGE, 2007). As hipóteses do teste e a regressão dos resíduos são, respectivamente:

Hipótese nula: ausência de autocorrelação serial;

Hipótese alternativa: presença de autocorrelação serial.

$$\hat{e}_{it} = \hat{\rho}_1 \hat{e}_{i,t-1} + erro_{it} \quad (12)$$

Deve-se, então, utilizar a estatística de teste t de Student para avaliar $\hat{\rho}_1$ sob a suposição de que os erros e_{it} possuem variância constante no tempo t e são serialmente não correlacionados. Uma vez identificada a presença de autocorrelação e, ou heterocedastidade, métodos de correção devem ser empregados.

3.4. Descrição das variáveis e fonte de dados

A escolha das variáveis incluídas neste estudo foi feita com base no referencial teórico apresentado. Além das variáveis tradicionalmente incluídas em estudos sobre a migração rural-urbana, procurou-se incluir os demais direcionadores que atuam sobre a decisão do indivíduo de migrar.

Para a construção da base de dados considerou-se inicialmente como unidades de observação os 957 municípios que compreendiam a região Semiárida em 1991. Todavia, como a variável de maior interesse – taxa de urbanização – é uma variável populacional, optou-se por excluir da amostra todos os municípios que deram origem a novos municípios a partir de 1991. A justificativa para a exclusão destes municípios se deve ao fato de que a perda de território e população de determinado município para outro município recém-criado faria com que as variáveis consideradas neste estudo assumissem valores discrepantes dos encontrados em 1991 ou não condizentes com a sua tendência de crescimento ou decréscimo. Por esta razão foram excluídos da amostra 114 municípios, restando 843 municípios para serem analisados. Entretanto, a exclusão adicional de 47 municípios precisou ser realizada devido aos mesmos não apresentarem valores para uma ou mais variáveis consideradas no estudo. Dessa forma, a base de dados final foi composta por 796 unidades de observação¹⁴. A Figura 3 apresenta a distribuição dos municípios mantidos e dos municípios excluídos. Pode-se observar que, mesmo após as exclusões, a amostra representa adequadamente a região do Semiárido, uma vez que aproximadamente 70,13% dos municípios da região compõem a amostra.

¹⁴ Em relação à região Nordeste, dos 1.794 municípios dessa região existentes em 2010, 1.267 foram utilizados na análise. No que se refere ao Brasil como um todo, do total de 5.561 municípios, 3.538 compuseram a amostra. A exclusão de municípios para estas duas delimitações geográficas se justifica pelas mesmas razões apresentadas para a exclusão de municípios da região Semiárida.

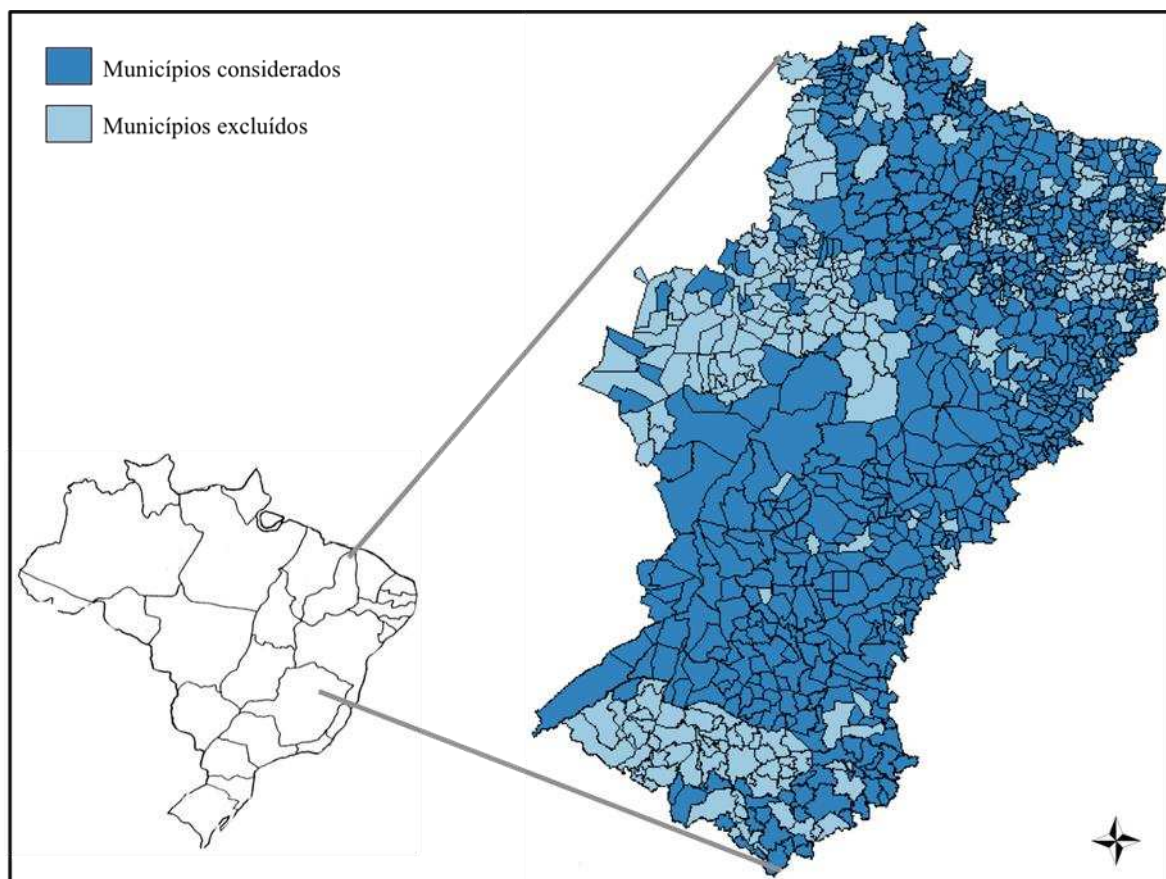


Figura 3: Municípios do Semiárido brasileiro excluídos e considerados no estudo.

Fonte: Dados da pesquisa, adaptados do IBGE, 2010.

Para o adequado entendimento do processo de construção das variáveis, é preciso considerar que:

- i. Seguindo a metodologia proposta por Barrios et al. (2006), a variável *Taxa de urbanização* foi criada a partir da razão entre a população urbana e a população total do município i no ano t , cujos dados foram obtidos através dos Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010, bem como das Contagens Populacionais de 1996 e 2007;
- ii. A variável *Escola* foi criada a partir da razão entre o número de escolas localizadas na área rural e o número total de escolas do município i no ano t . Os dados para a elaboração desta variável foram obtidos através dos Censos Escolares dos anos considerados na análise;
- iii. Conforme proposto por Beine e Parsons (2013), a variável *Faixa etária* corresponde à razão entre o número de pessoas entre 35 e 64 anos residentes na área rural e o número total de pessoas residentes na área rural do município i no

ano t , cujos dados foram obtidos por meio do portal DATASUS. As informações sobre a situação do residente – rural ou urbano – só é contabilizada em anos censitários, não estando disponíveis para os anos 1996 e 2007. Para que esta limitação fosse contornada, estimou-se o número de residentes por situação para estes anos a partir das médias de crescimento da população rural entre 1991 e 2000, 2000 e 2010 e 1991 e 2010, ponderadas pela taxa de ruralização, definida aqui como 1 menos a taxa de urbanização do município i no ano t . A escolha de se considerar o intervalo entre 35 e 64 anos como a faixa etária de maior propensão à migração se deve ao fato de que, segundo o Censo Agropecuário 2006, 65,63% dos proprietários de estabelecimentos agropecuários estavam nesta faixa de idade;

- iv. A variável *Irrigação* corresponde à razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que utilizam a irrigação e o número total de estabelecimentos do município i no tempo t , cujos dados foram obtidos a partir dos Censos Agropecuários de 1996 e 2006. Para a obtenção destes dados para os anos considerados na análise, calculou-se a taxa de crescimento exponencial do número de estabelecimentos agropecuários com irrigação e do número de estabelecimentos total de cada município através da função crescimento do *software* Microsoft Excel[®]. O cálculo da taxa de crescimento se justifica pelo fato de que a informação sobre o número de estabelecimentos agropecuários que utilizam a irrigação só está disponível para anos de Censos Agropecuários. Para os municípios que não apresentaram estabelecimentos com o uso de irrigação em pelo menos um dos anos censitários, atribuiu-se o valor zero para os demais anos, uma vez que não é possível calcular a taxa de crescimento exponencial em séries de tempo onde uma ou mais observações assumem o valor zero. A importância de se introduzir esta variável no modelo se deve ao fato que, segundo Cunha et al. (2015), a irrigação é considerada uma medida adaptativa no contexto das mudanças climáticas, permitindo o controle da deficiência hídrica na produção agrícola. Ademais, ao se utilizar a irrigação como medida adaptativa, espera-se que o agricultor tenha menores perdas agrícolas devido ao clima e, dessa forma, maiores condições de se fixar no meio rural, não sendo, portanto, necessário recorrer à migração;
- v. Assim como proposto por Barrios et al. (2006), Marchiori et al. (2011) e Beine e Parsons (2013), a variável *Salários* foi criada calculando-se a razão entre o PIB

Agropecuário municipal – Valor Adicionado – *per capita* e a diferença entre PIB total municipal *per capita* e o PIB Agropecuário municipal *per capita*, ambos a preços constantes do ano 2000 para todos os anos considerados na análise;

- vi. As variáveis climáticas *Temperatura* e *Precipitação* se referem às suas anomalias climáticas, que são calculadas como a razão entre a diferença entre as médias correntes e as médias do longo prazo e o desvio padrão de longo prazo para a temperatura e precipitação, como proposto por Marchiori et al. (2011) e Beine e Parsons (2013). A inclusão das anomalias ao invés dos valores médios das variáveis climáticas se deve ao fato de que o uso dos valores médios pode não captar adequadamente as respostas migratórias causadas pelas mudanças climáticas (BEINE et al. 2011). O cálculo das anomalias climáticas é descrito por:

$$CLIM_{it} = \frac{CLIM_{rt} - \mu_r^{LP}(CLIM_r)}{\sigma_r^{LP}(CLIM_r)} \quad (13)$$

em que $CLIM_{it}$ é a anomalia climática, referente à temperatura ou à precipitação, do município i no tempo t , referente a cada ano do painel; $CLIM_{rt}$ é o valor médio de precipitação ou temperatura no município i no tempo t ; $\mu_r^{LP}(CLIM_r)$ e $\sigma_r^{LP}(CLIM_r)$ são a média de longo prazo e o desvio padrão de longo prazo, respectivamente, de precipitação ou temperatura. Uma vez que, para os cientistas climáticos, a mudança climática é um fenômeno de longo prazo, o período considerado na análise para a determinação das anomalias foi o período de 30 anos compreendido entre 1981 e 2010.

Os dados utilizados para a construção das variáveis foram extraídos das seguintes fontes:

- i. Censos Demográficos 1991, 2000 e 2010, Contagem Populacional 1996 e 2007 e Censos Agropecuários 1996 e 2006, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE através do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA;
- ii. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, por meio do IPEADATA;

- iii. Base de dados CL 3.21 do *Climate Research Unit – CRU/University of East Anglia*¹⁵;
- iv. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – DATASUS;
- v. Censos Escolares, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira – INEP.

3.5. Simulação do impacto das mudanças climáticas na migração rural-urbana

Com o objetivo de verificar de que forma a migração rural-urbana responderá às mudanças climáticas esperadas para o futuro, foi realizada uma análise de estática comparativa. Utilizando os coeficientes estimados a partir da equação (7), estimou-se a taxa de urbanização para a região do Semiárido considerando-se as médias da temperatura e precipitação projetadas para o ano base, que no caso deste estudo é o ano 2010¹⁶, em relação ao período compreendido entre 1986 e 2005¹⁷, conforme a equação (14):

$$\hat{N}_{ijBASE} = \hat{\beta}_0 + \exp \left[\hat{\beta}_1 \right] \left(\frac{W_{jt}}{W_{it}} \right) + \hat{\beta}_2 ESC_{it} + \hat{\beta}_3 FE_{it} + \hat{\beta}_4 T_{i,BASE} + \hat{\beta}_5 P_{i,BASE} + \hat{\beta}_6 IRR_{it} \quad (14)$$

Em seguida, estimou-se a taxa de urbanização considerando-se as médias de temperatura e precipitação projetadas para períodos futuros, estabelecidos pelo IPCC como os intervalos de tempo 2016-2035 e 2046-2065, conforme a equação (15):

$$\hat{N}_{ijFUTURO} = \hat{\beta}_0 + \exp \left[\hat{\beta}_1 \right] \left(\frac{W_{jt}}{W_{it}} \right) + \hat{\beta}_2 ESC_{it} + \hat{\beta}_3 FE_{it} + \hat{\beta}_4 T_{i,FUTURO} + \hat{\beta}_5 P_{i,FUTURO} + \hat{\beta}_6 IRR_{i,t} \quad (15)$$

Por fim, calculou-se a variação percentual na taxa de urbanização em resposta às mudanças na temperatura e na precipitação esperadas a partir da equação (16):

¹⁵ A unidade original dos dados era *grid*, que é caracterizado como cada célula de um modelo de dados espaciais, as quais contém um valor de atributo e coordenadas de localização. Por meio do *software* ArcGis (versão 10.1), os pontos de *grid* foram unidos às fronteiras municipais usando suas coordenadas de latitude e longitude, gerando médias de temperatura e precipitação para cada município.

¹⁶ A utilização do ano 2010 como referência para as simulações futuras se deve ao fato deste ano ser o último ano do período compreendido na análise proposta por este estudo, eliminando, dessa forma, o viés existente entre os valores esperados e os valores observados das variáveis climáticas consideradas.

¹⁷ A determinação do período base foi especificada pelo Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC.

$$\% \Delta N_{ijt} = \frac{\hat{N}_{ijFUTURO} - \hat{N}_{ijBASE}}{\hat{N}_{ijBASE}} \times 100 \quad (16)$$

É importante salientar que este estudo busca avaliar a variação na taxa de urbanização em resposta às mudanças na temperatura e na precipitação, desconsiderando-se os efeitos indiretos das demais variáveis, como é comum em estudos que visam analisar o efeito das mudanças climáticas em determinada variável. Embora se espere que as outras variáveis se alterem ao longo do tempo, o objetivo deste tipo de simulação é considerar os efeitos do clima na migração rural-urbana intramunicipal separadamente dos efeitos das demais variáveis. Dessa forma, seguindo o procedimento descrito por Mendelsohn et al. (1994) e Seo (2011), nenhum pressuposto sobre os valores futuros das outras variáveis consideradas no estudo foi assumido. Além disso, ao utilizar os parâmetros estimados na equação (7) para o cálculo da taxa de urbanização futura, assume-se que a relação entre as variáveis climáticas e a taxa de urbanização permanecerá constante até o fim do período futuro utilizado na projeção, ou seja, até meados do século XXI.

As projeções de mudanças climáticas foram fornecidas pelas previsões do IPCC, que são baseadas em diferentes cenários sobre as características socioeconômicas e tecnológicas que determinam as emissões futuras de GEE's. As projeções utilizadas neste estudo foram feitas a partir dos *Representative Concentration Pathways* (RCP), categorizados em RCP 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5. Para cada categoria, o RCP contém um conjunto de valores e as emissões estimadas até 2100 são baseadas em suposições sobre atividade econômica, fontes de energia, crescimento populacional e outros fatores socioeconômicos. Os números associados a cada RCP se referem à quantidade de força radioativa¹⁸ produzida por gases de efeito estufa, de forma que, quanto maior o número, maior o impacto dos GEE's. Os RCP's utilizados neste estudo foram os RCP's 4.5 e 8.5, de modo a verificar as diferenças em termos das mudanças climáticas esperadas diante de um cenário de emissões intermediário e um cenário de emissões pessimista.

De acordo com o IPCC (2013), o RCP 8.5 descreve um cenário de alta emissão e com ausência de políticas de redução das emissões. Além disso, esse cenário é caracterizado por i) emissões de CO₂ até 2100 três vezes maiores que as emissões

¹⁸ Força radioativa, expressa em Watts por metro quadrado, é a energia adicional retomada pela Terra devido ao efeito estufa. Mais precisamente, é a diferença entre a quantidade de energia que é absorvida pela atmosfera e a quantidade que retorna para o espaço, em comparação ao período pré-industrial.

atuais; ii) rápido aumento nas emissões de metano; iii) aumento do uso das terras agrícolas e de pastagens, impulsionado pelo aumento populacional; iv) população mundial superior a 12 bilhões de habitantes até 2100; v) baixa taxa de desenvolvimento tecnológico; vi) utilização excessiva de combustíveis fósseis; e vii) alta intensidade energética. O RCP 4.5, por sua vez, descreve um cenário de emissões intermediárias e é caracterizado por i) baixa intensidade energética; ii) fortes programas de reflorestamento; iii) redução do uso de terras agrícolas e de pastagens devido ao aumento da eficiência do terra e à mudanças na dieta alimentar; iv) políticas climáticas mais rigorosas; v) emissões de metano estáveis; e vi) emissões de CO₂ declinantes a partir de 2040. É importante destacar que a escolha de um cenário intermediário em detrimento do cenário otimista, para fins de comparação com o cenário pessimista, se deve ao fato de que o mesmo se encontra mais próximo do que é proposto atualmente nos diferentes fóruns internacionais sobre mudanças climáticas.

Para as simulações da migração rural-urbana foram utilizados dados de projeções climáticas referentes ao valor médio de cada mês ao longo de dois períodos de tempo, sendo eles 2016-2035 e 2046-2065. Optou-se por trabalhar com médias de períodos de tempo pois, apesar de se perder informações sobre a variabilidade do clima ao longo dos anos que compõem cada período de tempo, ao se trabalhar com dados médios para períodos ao invés de anos específicos, evita-se que projeções de anos discrepantes sejam selecionadas.

Similarmente aos dados atuais de temperatura e precipitação (Base CL 3.21/CRU), a unidade de análise para as projeções de temperatura e precipitação fornecidas pelo IPCC (2013) foi o *grid*. Por meio do *software* ArcGis, os pontos de *grid* foram unidos às fronteiras dos municípios usando suas coordenadas de latitude e longitude, gerando médias de temperatura e precipitação para cada município. Em municípios em que não havia pontos de *grid* dentro de suas fronteiras, foi utilizado o ponto relativo ao município vizinho mais próximo, nos municípios em que havia mais de um ponto, considerou-se a informação média de todos os pontos de *grid* (FÉRES, et al., 2008).

As variáveis climáticas futuras foram projetadas por três Modelos de Circulação Geral (MCG) do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 – CMIP5*¹⁹. Segundo Margulis e Debeaux (2010), os modelos de circulação geral consistem em formulações matemáticas dos processos atmosféricos e das superfícies terrestres e oceânicas

¹⁹ Embora este estudo tenha utilizado três MCG's, o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC apresenta o resultado de 32 MCG's.

baseados nos princípios físicos da hidrodinâmica. A Tabela 2 lista os três modelos utilizados neste trabalho.

Tabela 2: Modelos de Circulação Geral utilizados neste estudo.

Modelo	Sigla	Instituto Responsável
Model for Interdisciplinary Research on Climate, version 5	MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
Meteorological Research Institute Coupled Atmosphere–Ocean General Circulation Model, version 3	MIR-CGCM3	Meteorological Research Institute (MRI)
Norwegian Earth System Model, version 1 (medium resolution)	NorESM1-M	Norwegian Climate Centre (NCC)

Fonte: Grupo de Trabalho I, IPCC (2013).

A principal razão para a escolha destes modelos, dentre os diversos MCG's, se deve ao fato dos mesmos serem os que apresentaram simulações mais realistas sobre as condições climáticas brasileiras, uma vez que capturam corretamente o comportamento sazonal médio das variáveis climáticas²⁰. Entretanto, apesar de condizentes com o comportamento climático brasileiro, os MCG's apresentam resultados divergentes relativos às magnitudes dos valores médios esperados das variáveis climáticas para cada cenário e período de tempo, conforme observado na Tabela 3. Por não utilizarem a mesma metodologia para a elaboração das projeções climáticas e, dessa forma, não serem diretamente comparáveis, não é possível identificar qual é o MCG mais adequado. Por esta razão, optou-se pela utilização adicional das médias de temperatura e precipitação para os cenários futuros dos três modelos utilizados neste estudo.

²⁰ Esta conclusão foi obtida por meio de simulações realizadas pelos pesquisadores do grupo de pesquisa em Interação Atmosfera-Biosfera, da Universidade Federal de Viçosa.

Tabela 3: Temperatura e precipitação médias para o Brasil, segundo os três MCG's.

Cenário	Temperatura					Precipitação				
	Base	RCP 4.5		RCP 8.5		Base	RCP 4.5		RCP 8.5	
Período	Base	2016	2046	2016	2046	Base	2016	2046	2016	2046
		2035	2065	2035	2065		2035	2065	2035	2065
MIROC5	24,30	24,20	24,83	24,39	25,34	140,28	140,91	139,14	104,27	97,81
MIR- CGCM3	22,57	23,07	23,67	23,14	24,35	133,45	137,22	135,06	140,87	136,81
NorESM1- M	22,76	23,18	23,68	23,25	24,42	83,73	79,54	74,50	75,38	73,06
Médias	23,29	23,55	24,14	23,68	24,79	123,67	123,44	120,54	121,30	119,62

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 3 exibe as temperaturas e as precipitações médias esperadas para o Brasil sob os dois cenários e os dois períodos de tempo considerados na análise proposta por este estudo. Com relação às temperaturas, ambos os modelos projetam aumentos em relação ao período base, embora as magnitudes do aumento sejam distintas. No que se refere às previsões de precipitação, os modelos projetam reduções nas quantidades precipitadas, porém as discordâncias em relação à magnitude da redução é bastante evidente, com destaque para o modelo NoesESM1-M, que projeta quantidades precipitadas significativamente inferiores aos demais modelos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados do presente estudo. Inicialmente é feita a análise descritiva das variáveis utilizadas. Posteriormente, são apresentados os resultados obtidos por meio da análise dos principais fatores que influenciaram a migração rural-urbana no Semiárido no período de 1991 a 2010, após a correta especificação do modelo e da identificação e correção de possíveis problemas. Por fim, são apresentadas as projeções futuras para a migração rural-urbana considerando-se diferentes cenários de mudanças climáticas propostos pelo IPCC (2013).

4.1. Análise descritiva

Com o objetivo de verificar como as variáveis utilizadas nesse estudo evoluíram ao longo do período considerado na análise, a Tabela 4 apresenta suas estatísticas descritivas para os municípios do Semiárido. Para fins de comparação, as mesmas informações foram apresentadas considerando-se dois recortes geográficos adicionais: municípios do Nordeste e do Brasil como um todo, no período de 1991 a 2010, considerando-se para o cálculo os anos 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010.

Tabela 4: Estatísticas descritivas para as variáveis consideradas no estudo desagregadas por recorte geográfico.

	Municípios do Brasil		Municípios do Nordeste		Municípios do Semiárido	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
1991						
<i>Urbanização</i>	0,5283	0,2278	0,4343	0,1994	0,3977	0,1813
<i>Escola</i>	0,7152	0,2703	0,7689	0,1899	0,8123	0,1486
<i>Faixa etária</i>	0,2325	0,0456	0,2046	0,0250	0,2107	0,0190
<i>Salários</i>	10,1252	57,6389	6,0585	56,4820	4,2994	13,1409
<i>Irrigação</i>	0,0980	0,1596	0,0793	0,1376	0,0851	0,1431
<i>Temperatura</i>	-0,6381	0,4912	-0,8603	0,4753	-0,7770	0,4682
<i>Precipitação</i>	-0,5770	0,7231	-0,3468	0,6362	-0,3593	0,6429
1996						
<i>Urbanização</i>	0,5748	0,2233	0,4774	0,1983	0,4438	0,1828
<i>Escola</i>	0,6514	0,2605	0,7547	0,1714	0,8008	0,1257
<i>Faixa etária</i>	0,2694	0,0790	0,2315	0,0475	0,2350	0,0325
<i>Salários</i>	1,8184	2,7304	0,8514	0,8868	0,7653	0,6961
<i>Irrigação</i>	0,0793	0,1250	0,0682	0,1152	0,0738	0,1205
<i>Temperatura</i>	-0,5013	0,6133	-0,1241	0,4946	-0,1498	0,4513
<i>Precipitação</i>	0,5065	0,9224	-0,0776	0,7190	0,0463	0,6688
2000						
<i>Urbanização</i>	0,6091	0,2177	0,5148	0,1967	0,4804	0,1806
<i>Escola</i>	0,5796	0,2979	0,7416	0,1776	0,7902	0,1254
<i>Faixa etária</i>	0,2756	0,0604	0,2354	0,0315	0,2443	0,0238
<i>Salários</i>	0,7017	1,1428	0,3482	0,8419	0,2520	0,2849
<i>Irrigação</i>	0,0714	0,1087	0,0644	0,1024	0,0704	0,1095
<i>Temperatura</i>	0,0192	0,4546	-0,0602	0,5106	-0,1414	0,4719
<i>Precipitação</i>	0,1143	0,6187	0,4582	0,5866	0,2516	0,4223
2007						
<i>Urbanização</i>	0,6420	0,2105	0,5486	0,1929	0,5142	0,1759
<i>Escola</i>	0,4892	0,3115	0,6944	0,1909	0,7375	0,1557
<i>Faixa etária</i>	0,3126	0,0847	0,2651	0,0491	0,2749	0,0359
<i>Salários</i>	0,8020	1,1858	0,3439	0,8138	0,2522	0,2960
<i>Irrigação</i>	0,0774	0,1161	0,0723	0,1070	0,0799	0,1164
<i>Temperatura</i>	0,9391	0,7267	0,2187	0,4886	0,2142	0,4891
<i>Precipitação</i>	-0,3969	0,6447	-0,5709	0,3962	-0,5771	0,3518
2010						
<i>Urbanização</i>	0,6597	0,2053	0,5679	0,1895	0,5367	0,1740
<i>Escola</i>	0,4824	0,3080	0,6804	0,1946	0,7248	0,1585
<i>Faixa etária</i>	0,3345	0,0734	0,2855	0,0386	0,2950	0,0312
<i>Salários</i>	0,8661	1,2506	0,3309	0,7260	0,2222	0,3003
<i>Irrigação</i>	0,0883	0,1369	0,0851	0,1249	0,0918	0,1324
<i>Temperatura</i>	1,1101	0,3080	1,4812	0,4164	1,4481	0,3791
<i>Precipitação</i>	0,0155	0,7024	-0,7046	0,3501	-0,6928	0,3531
Média do período						
<i>Urbanização</i>	0.6028	0.2222	0.5086	0.2012	0.4746	0.1857
<i>Escola</i>	0.5836	0.3042	0.7280	0.1882	0.7731	0.1477
<i>Faixa etária</i>	0.2849	0.0785	0.2483	0.0484	0.2520	0.0416
<i>Salários</i>	2.8627	26.0767	1.6866	25.3617	1.1582	6.0958
<i>Irrigação</i>	0.0880	0.2347	0.0751	0.1349	0.0831	0.1671
<i>Temperatura</i>	0.1858	0.9218	0.1310	0.9009	0.1188	0.8656
<i>Precipitação</i>	-0.067	0.8249	-0.2444	0.6921	-0.2662	0.6228

Fonte: Resultados da pesquisa

A partir dos resultados apresentados pela Tabela 4 é possível verificar que a taxa de urbanização média dos municípios, considerando-se os três recortes geográficos, aumentou ao longo do período considerado. Observa-se ainda que a taxa de urbanização média dos municípios do Semiárido foi menor do que a taxa de urbanização média dos municípios do Nordeste que, por sua vez, foi menor do que a média da totalidade de municípios brasileiros em todos os anos da análise.

A parcela de escolas nas áreas rurais dos municípios das três regiões analisadas se reduziu ao longo do período, seguindo a tendência do aumento da urbanização. Adicionalmente, verifica-se que a parcela de escolas nas áreas rurais dos municípios do Semiárido foi maior do que a parcela desta variável para os municípios do Nordeste e do Brasil, o que suporta a constatação de que os municípios da região Semiárida são menos urbanizados que o restante dos municípios brasileiros.

Além disso, os dados exibidos pela Tabela 4 indicam que a razão média do salário agrícola sobre o salário total é menor nos municípios da região Semiárida do que nos demais municípios do Brasil, indicando que o PIB agrícola *per capita* nos municípios desta região é inferior comparando-se aos municípios nordestinos e brasileiros no total. Observa-se ainda que, de maneira geral, a relação PIB agropecuário/PIB não agropecuário se reduziu ao longo dos anos em ambas as regiões. Esta redução, porém, foi mais intensa nas regiões Nordeste e Semiárida, uma vez que nota-se que essa relação apresentou valores crescentes para os municípios brasileiros a partir de 2007. Em relação à proporção da população rural em idade de maior propensão à migração, esta variável apresentou valores próximos para as três regiões consideradas.

No que se refere às variáveis climáticas, embora os valores médios das anomalias de temperatura sejam negativos para os anos iniciais da amostra, indicando que a temperatura média nesses anos foi inferior à média verificada para o período base, é possível observar uma tendência de aumento desta variável para as três regiões ao longo do período considerado. Embora os valores exibidos para a variável *Precipitação*, desagregados ano a ano, tenham exibido padrão irregular, verifica-se que, ao se considerar a média do período analisado, é possível observar que a região Semiárida apresentou a maior redução média de precipitação, seguida pela região Nordeste e pelo Brasil como um todo, respectivamente.

Em relação à variável *Irrigação*, nota-se que as três regiões possuem parcelas de estabelecimentos agropecuários com irrigação semelhantes. Embora esta parcela seja maior, ao se considerar os anos iniciais do período, para a totalidade de municípios

brasileiros, verifica-se que nos anos finais e na média do período, o valor dessa variável passa a ser maior para os municípios da região Semiárida. Uma das explicações para a prática da irrigação no Semiárido ter assumido valores superiores aos do Brasil se deve ao fato de que nessa localidade a produção agrícola é de alto risco e de baixo rendimento sem a irrigação.

A Tabela 5 exibe a dinâmica da taxa de urbanização do Brasil, da região Nordeste e do Semiárido. A primeira coluna referente a cada ano censitário apresenta a taxa de urbanização de cada região, enquanto a segunda coluna referente a estes mesmos anos exibe o crescimento da urbanização, tomando-se como base de cálculo o ano de 1991.

Tabela 5: Evolução da taxa de urbanização do Semiárido, do Nordeste e do Brasil.

Regiões	1991		2000		2010	
Semiárido	48,69%	100,00	56,42%	115,88	62,15%	127,64
Nordeste	60,65%	100,00	68,98%	113,73	73,14%	120,59
Brasil	75,59%	100,00	81,19%	107,41	84,37%	111,62

Fonte: IBGE, 2010. Adaptado de Gomes, (2014).

Confirmando os resultados apresentados na Tabela 4, a Tabela 5 aponta que a região semiárida apresenta municípios com menor taxa de urbanização, seguida pela região Nordeste e pelo Brasil, respectivamente. Ao mesmo tempo, a Tabela 5 aponta que o Semiárido foi a região que apresentou a maior taxa de crescimento da população urbana nos anos considerados. Tomando-se a população de 1991 como base, verifica-se que a taxa de urbanização do Semiárido cresceu aproximadamente 28% em 20 anos, enquanto o aumento das taxas de urbanização do Nordeste e do Brasil foi cerca de 21% e 12%, respectivamente, para o mesmo período. Esses valores, portanto, evidenciam que, embora os municípios do Nordeste e do Semiárido apresentem taxas de urbanização inferiores às taxas de urbanização médias do Brasil, estas regiões apresentam um processo acelerado de transição do meio rural para o meio urbano.

A Figura 4 apresenta a distribuição geográfica da taxa de urbanização no Semiárido brasileiro, bem como as diferenças regionais existentes, ao longo do período de análise compreendido por este estudo.

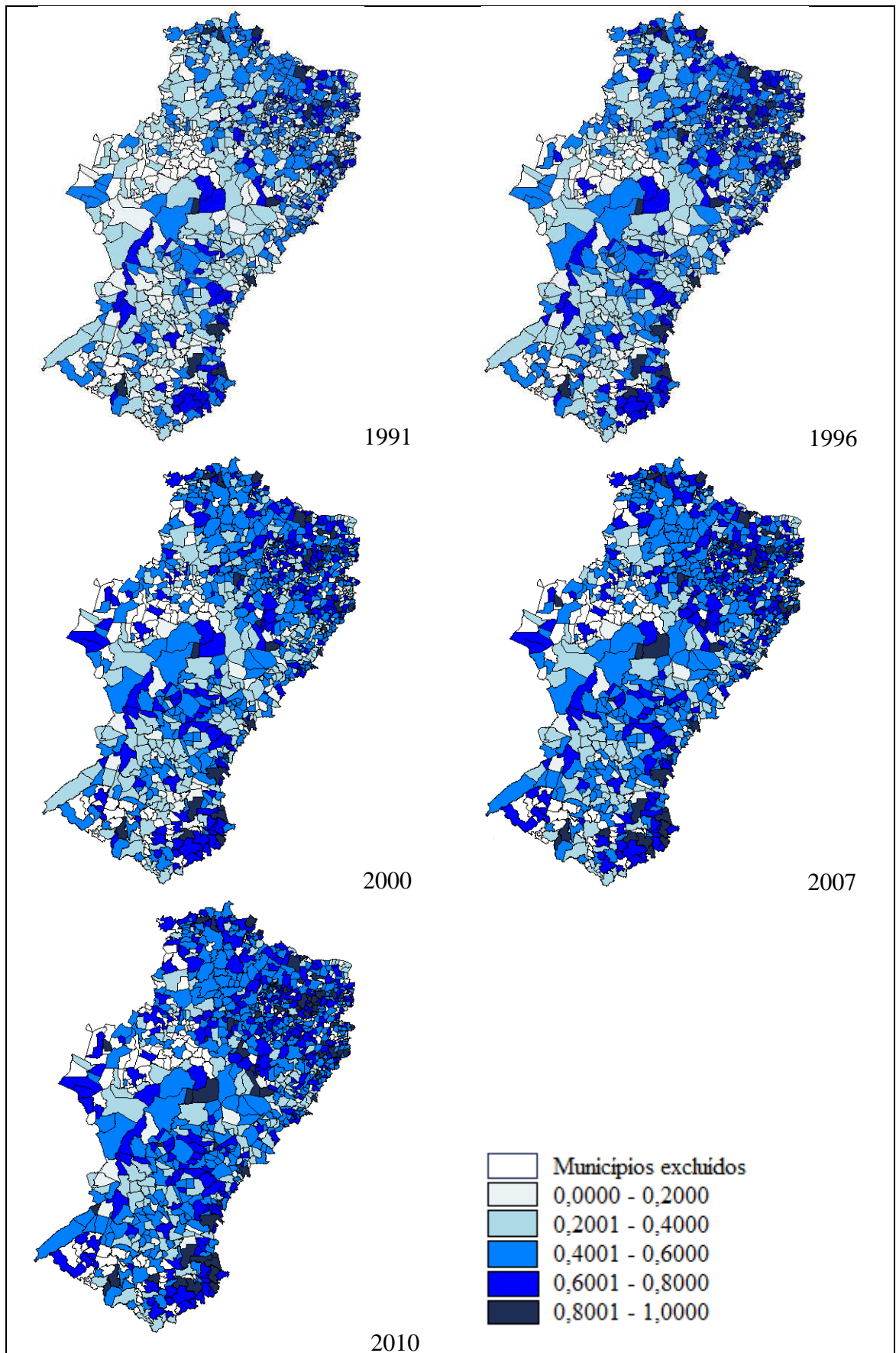


Figura 4: Distribuição geográfica da taxa de urbanização no Semiárido brasileiro.
 Fonte: Dados da pesquisa.

A partir da análise da Figura 4, é possível observar a evolução da taxa de urbanização a nível municipal na região Semiárida brasileira. De maneira geral, observa-se que grande parte da região passou por um intenso processo de urbanização ao longo do período de análise considerado. Destaque especial é dado, todavia, às microrregiões Itapetinga, na Bahia, Almenara e Pedra Azul, no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, Seridó Oriental e Ocidental, no Rio Grande do Norte, Seridó Paraibano Oriental e Ocidental, na Paraíba, e Sobral, Uruburetama, Médio Curu e Meruoca, no Ceará.

É importante destacar que o crescimento urbano do Nordeste verificado nos últimos anos não é função do crescimento populacional, uma vez que, segundo dados do IBGE (2010), os valores observados para estas taxas são declinantes. Assim, a exemplo do Nordeste, a taxa de crescimento populacional vem declinando no Semiárido paralelamente a um intenso processo de urbanização. Além disso, as taxas de crescimento populacional da região Nordeste e da região Semiárida foram inferiores aos valores verificados para o Brasil nos últimos Censos.

A Figura 5 apresenta o comportamento das variáveis climáticas de precipitação e temperatura ao longo de um período de 30 anos (1981-2010). De modo a realizar comparações e entender as diferenças regionais, apresenta-se as séries referentes aos municípios do Semiárido, da região Nordeste e do Brasil como um todo.

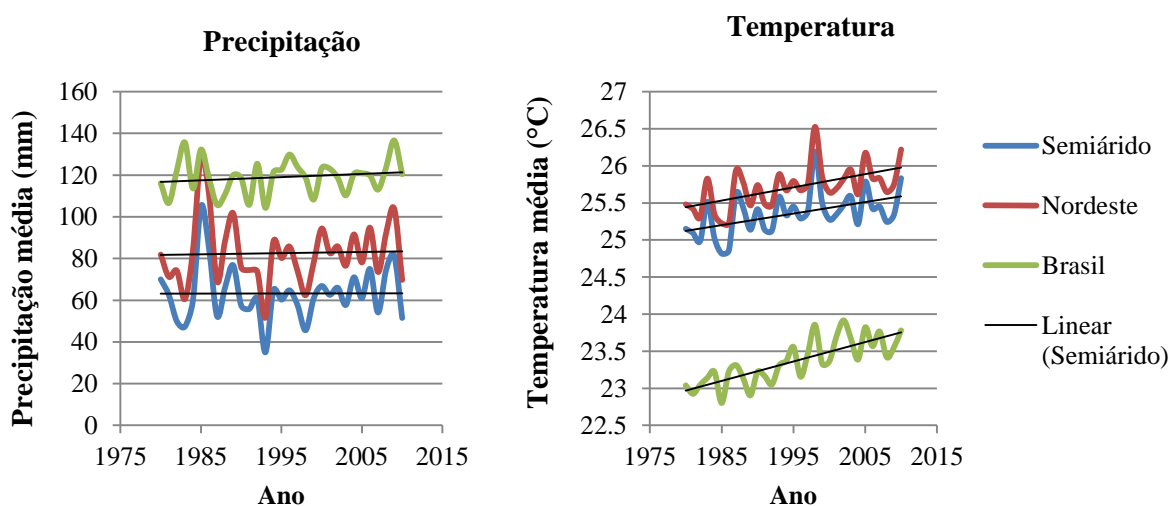


Figura 5: Precipitação média anual (mm) e temperatura (°C) dos municípios do Semiárido, dos municípios do Nordeste e dos municípios brasileiros.

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir da análise da Figura 5, pode-se perceber que o volume médio de precipitação anual considerando-se os municípios do Semiárido se manteve relativamente estável ao longo do período, oscilando entre 35 e 82 mm, com exceção do ano de 1985, que apresentou média de precipitação de aproximadamente 105 mm. Padrão de estabilidade similar é observado para os municípios da região Nordeste que, apesar do comportamento da precipitação semelhante, apresentou médias ligeiramente mais altas, com variações entre 50 e 110 mm, excetuando-se o ano de 1985, que apresentou uma média de precipitação de cerca de 125 mm. O mesmo pode ser dito ao se considerar a totalidade de municípios brasileiros. Apesar de possuir médias anuais de volume precipitado significativamente maiores, estes municípios exibiram médias relativamente estáveis, com oscilações entre 110 e 140 mm. Destaca-se que, seja qual for o conjunto de municípios considerados, o padrão de precipitação se mostrou sem nenhuma tendência de crescimento ou decréscimo no período.

A análise do padrão histórico de temperatura, diferentemente da precipitação, evidencia tendência de aumento. Através da análise da Figura 5 é possível observar que a temperatura média variou entre 22,8 e 23,9°C para os municípios brasileiros, 25,2 e 26,5°C para os municípios da região Nordeste e 24,8 e 26,2°C para os municípios da região Semiárida. O padrão de aumento de temperatura nos últimos anos é consistente com os resultados apresentados por Marengo et al. (2007), que aponta que, segundo a *World Meteorological Organization*, globalmente, as décadas de 1990 e 2000 foram as mais quentes desde que as primeiras medições de temperatura foram feitas, em meados do século XIX. Adicionalmente, os resultados exibidos na Figura 5 corroboram os resultados apresentados na Figura 6, que exhibe o comportamento das anomalias de temperatura globais ao longo do período 1850-2013 com base nos dados do *Climate Research Unit*.

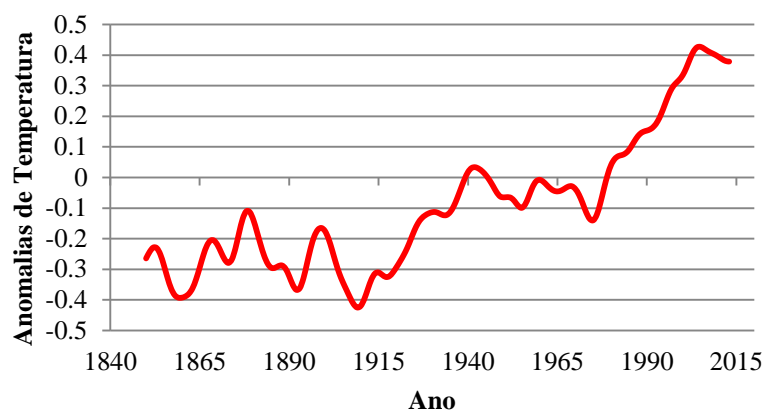


Figura 6: Anomalias de temperatura do ar global (em relação a 1961-1990) desde o período industrial.

Fonte: *Climate Research Unit*, (2013).

A série apresentada na Figura 6 indica que a partir da década de 1980 a anomalia de temperatura passou a assumir valores positivos e crescentes, em relação à média histórica de 1961-1990, sendo o ano de 2005 o mais quente desde o início do período observacional, com $0,48^{\circ}\text{C}$ acima da média histórica, que é de 14°C .

Conforme já citado, o Semiárido brasileiro será uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas, uma vez que, além dos cenários de aumentos de temperatura, poderá haver redução na disponibilidade de recursos hídricos, causando impactos negativos em diversas esferas, entre elas as atividades que dependem diretamente das condições climáticas, tais como a agricultura. Somando-se a isso, as informações exibidas na Figura 5 e nas Tabelas 4 e 5 confirmam o fato que, dado este prognóstico, é imperativo que pesquisas sejam feitas de modo a avaliar o efeito das mudanças climáticas na região Semiárida, bem como propor estratégias de mitigação e adaptação.

4.2. Determinantes da migração rural-urbana no período de 1991 a 2010

Visando avaliar os fatores associados à decisão de migrar da área rural para a área urbana no passado recente e investigar o papel dos fatores climáticos nesse processo, os resultados das estimativas da equação (7) são apresentados na Tabela 6, que reporta os coeficientes considerando-se os municípios do Semiárido. De modo a confirmar a robustez dos sinais e significância dos parâmetros, foram testadas múltiplas

especificações alternativas, ora incluindo apenas as variáveis climáticas, como é comum em estudos desta natureza, ora incluindo as demais variáveis. Adicionalmente, a Tabela 6 exibe os resultados dos testes de especificação do modelo e os testes de detecção de heterocedasticidade e autocorrelação.

A segunda coluna da Tabela 6 exibe os coeficientes da primeira equação estimada (Regressão 1). Nessa versão do modelo foram utilizadas como variáveis explicativas apenas as variáveis climáticas *Temperatura* e *Precipitação*, de forma a capturar o efeito dos direcionadores climáticos na migração rural-urbana. A terceira coluna apresenta os resultados da estimação da Regressão 2, que inclui, além dos direcionadores climáticos, os direcionadores sociais, econômicos e demográficos, bem como a variável que capta a adaptação. Nessa equação foram utilizadas como variáveis explicativas, portanto, as variáveis climáticas e as variáveis *Escola*, *Faixa etária*, *Salários* e *Irrigação*.

Tabela 6: Resultados das estimativas para os municípios do Semiárido.

Variável	Coeficientes	
	Regressão 1	Regressão 2
<i>Constante</i>	0,4682*** (0,0004)	0,4207*** (0,0373)
<i>Escola</i>		-0,0966*** (0,0246)
<i>Faixa etária</i>		0,4335*** (0,0957)
<i>Salários</i>		-0,0142*** (0,0014)
<i>Irrigação</i>		-0,0018 (0,0081)
<i>Temperatura</i>	0,0425*** (0,0011)	0,0182*** (0,0020)
<i>Precipitação</i>	-0,0049*** (0,0014)	-0,0041*** (0,0015)
Teste de Chow	F = 49,33***	F = 27,51***
Teste de Hausman	$\chi^2 = 4,90^*$	$\chi^2 = 1087,51^{***}$
Teste de Wald	$\chi^2 = 1,2e+05^{***}$	$\chi^2 = 7,3e+05^{***}$
Teste de Wooldridge	F = 33,941***	F = 26,487***
Número de observações	3.975	3.971
Número de municípios	795	795

Nota: (***) e (*) indicam níveis de significância de 1% e 10%, respectivamente. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão.

Fonte: Resultados da pesquisa.

A fim de se determinar, dentre os modelos *Pooled*, Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios, aquele que possui melhor adequação aos dados e ao problema de pesquisa, foram empregados sucessivamente os testes de especificação de Chow e de Hausman. Os resultados exibidos na Tabela 6 indicam que a hipótese nula do Teste de Chow de que o modelo *Pooled* é mais adequado do que o modelo de Efeitos Fixos foi rejeitada ao nível de significância de 1% para as duas versões estimadas do modelo. Dado que, a partir do Teste de Chow, o modelo de Efeitos Fixos se mostrou o mais adequado, foi realizado o Teste de Hausman visando a escolha do melhor modelo entre o de Efeitos Fixos e o de Efeitos Aleatórios. A hipótese nula do Teste de Hausman de que o modelo de Efeitos Aleatórios é o de melhor adequação foi rejeitada ao nível de 10% de significância na Regressão 1 e rejeitada ao nível de 1% de significância na Regressão 2 sendo, portanto, o modelo de Efeitos Fixos o mais adequado para as duas regressões estimadas. Uma vez que o modelo de Efeitos Fixos se mostrou o melhor a partir do Teste de Hausman, não foi necessária a realização do Teste do Multiplicador de Lagrange de Breush-Pagan de identificação do modelo de melhor adequação entre os modelos *Pooled* e de Efeitos Aleatórios.

Visando verificar a existência de heterocedasticidade e autocorrelação serial, foram aplicados aos modelos os testes de Wald e de Wooldridge, respectivamente. Os resultados exibidos na Tabela 6 mostram que ambas as hipóteses nulas de ausência de heterocedasticidade e autocorrelação serial foram rejeitadas ao nível de 1% de significância nos dois modelos estimados, sendo necessário realizar, portanto, a aplicação de correções robustas para que os resultados da estimação sejam confiáveis. Tendo em vista os problemas encontrados nos termos de erro das estimativas de dados em painel, optou-se pela estimação do modelo utilizando o método de Mínimos Quadrados Generalizados (MQG). O método MQG é mais robusto, possui propriedades assintóticas e não faz nenhuma especificação sobre a suposição de exogeneidade estrita, em que é assumida a não correlação entre os regressores e o termo de erro (GREENE, 2012).

Apesar da base de dados ser constituída por 798 municípios, ao se aplicar o logaritmo natural à variável *Salários*, definida como a razão entre o PIB Agropecuário *per capita* e o PIB Total *per capita*, parte das observações foi perdida devido à existência de valores zero para esta variável. A existência de zeros foi observada principalmente em municípios com elevado grau de urbanização e consequente ausência de produção agropecuária. Dessa forma, após a transformação logarítmica da variável

Salários, a base de dados passou a conter 795 municípios, totalizando 3.971 observações disponíveis para a estimação da Regressão 2.

Em ambas as estimações apresentadas na Tabela 6 os sinais das variáveis climáticas *Precipitação* e *Temperatura* se mantiveram constantes, significativos e de acordo com o esperado. Este resultado indica que, assim como nos estudos de Barrios et al. (2006), Gray (2008) e Marchiori et al. (2011), o aumento da temperatura e a redução do volume de precipitação em relação à média histórica resultam em aumento da taxa de urbanização, utilizada neste estudo como *proxy* da migração rural-urbana. De acordo com os resultados obtidos na Regressão 1, a resposta da taxa de urbanização ao aumento em uma unidade de anomalia da temperatura é um aumento da mesma em 0,0425 pontos percentuais. Em relação à precipitação, a queda em uma unidade de anomalia desta variável resulta em um aumento de 0,0049 pontos percentuais da taxa de urbanização.

A Regressão 2 inclui as demais variáveis do modelo e apresentou coeficientes relativamente constantes, significativos e com os sinais conforme o esperado, com exceção à variável *Irrigação*, que se mostrou não significativa. Uma possível razão para o coeficiente não significativo da variável *Irrigação* é o alto valor de zeros ou valores próximos de zero encontrados na amostra, indicando que boa parte dos estabelecimentos agropecuários dos municípios considerados nesta análise não utiliza ou subutiliza a prática da irrigação. Dos 795 municípios do Semiárido utilizados neste estudo, 717 apresentaram a utilização de irrigação em pelo menos 1 estabelecimento agropecuário, porém, aproximadamente 75% destes municípios apresentam taxa de uso de irrigação inferior à 10%. A média de estabelecimentos que utilizam algum tipo de irrigação nos municípios do Semiárido é de 7,38% e este resultado vai ao encontro do resultado apontado por Cunha et al. (2015), que afirmam que, segundo dados do Censo Agropecuário 2006, apenas 6,3% dos estabelecimentos agropecuários brasileiros apresentam algum tipo de técnica de irrigação.

No Brasil, apesar da grande disponibilidade de água e do potencial dos solos para o desenvolvimento da irrigação, essa técnica é ainda pouco explorada, uma vez que, dos 30 milhões de hectares que se configuram como solos potencialmente aptos para o desenvolvimento da agricultura irrigada, apenas 4,4 milhões de hectares estão em produção com sistemas de irrigação (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2006; Censo Agropecuário, 2006). Segundo Cunha et al. (2015), além dos altos custos envolvidos no processo de implantação, operação e manutenção da irrigação, outro fator

que se configura como um entrave à disseminação da prática da irrigação é o fato de que a legislação brasileira impõe uma série de normas para a instalação do sistema. Dentre os requisitos necessários para implantação, estão a necessidade de um licenciamento ambiental e da outorga para o uso da água. Se o agricultor ignora estas normas ao implantar o sistema, seus equipamentos podem ser confiscados e ele pode estar sujeito a multas e outras penalidades.

Embora os benefícios da irrigação sejam expressivos, esta prática possui elevados custos inerentes à sua implantação, operação e manutenção, que variam de acordo com o tipo de processo escolhido, bem como com o grau de automação do sistema. Dessa forma, a agricultura irrigada tem suas vantagens limitadas em função dos seus custos, o que torna ainda mais dramática a condição dos pequenos produtores, uma vez que, de maneira geral, os mesmos possuem baixas capacidades de investimento. De acordo com Itaborahy et al. (2004), os custos operacionais desta prática podem chegar a 35% do custo total da produção, fazendo com que, em muitas culturas, a margem de lucro do produtor irrigante seja muito pequena. Além disso, a baixa eficiência do processo de irrigação contribui para o processo de salinização do solo, tornando as terras improdutivas (CUNHA et al., 2015). Especificamente na região Semiárida, a salinização do solo, potencializada pelo manejo incorreto da irrigação, é um dos fatores que contribuem para a redução do rendimento dos cultivos.

De acordo com os resultados obtidos na Regressão 2, o aumento de um ponto percentual na razão número de escolas rurais sobre o número total de escolas do município *i* resulta em uma queda de 0,0966 pontos percentuais na taxa de urbanização. É importante destacar que a variável *Escola* mensura se indivíduos com algum grau de educação são menos propensos a migrar. Ela capta o acesso dos indivíduos à educação, e não seus níveis educacionais. Este resultado é consistente com Ramírez et al. (2012), que afirma que indivíduos educados são mais capazes de se proteger e de se recuperar dos impactos negativos causados pelas mudanças climáticas e, portanto, menos propensos a migrar para a área urbana.

Em relação à variável *Faixa etária*, o coeficiente também se mostrou constante, significativo e com sinal esperado. Segundo o resultado encontrado, o aumento de um ponto percentual na razão do número de pessoas entre 35 e 64 anos que residem na área rural e o número total de residentes na área rural resulta em um aumento da taxa de urbanização em 0,4335 pontos percentuais para a Regressões 2. Este resultado é compatível com o resultado encontrado por Beine e Parsons (2013), que verificaram em

seu estudo que quanto maior a parcela de pessoas em idade de maior propensão a migrar nas áreas de origem, maior é o fluxo migratório.

No que se refere à variável *Salários*, o aumento de um ponto percentual na razão entre o PIB agrícola *per capita* e o PIB não agrícola *per capita* resulta em uma redução da taxa de urbanização em 0,0142 pontos percentuais. Resultado similar foi encontrado por Barrios et al. (2006) e por Marchiori et al. (2011), que verificaram que quanto maior os diferenciais de salários entre as áreas rural e urbana, maior a migração rural-urbana nos países da África Subsaariana. Este resultado é compatível também com o resultado verificado por Beine e Parsons (2013). Segundo os autores, quanto maiores os diferenciais de renda *per capita* entre as áreas de origem e destino, maior o fluxo migratório internacional. Conforme apontado por Dell et al. (2008), as anomalias climáticas contribuem para a redução dos salários nos locais de origem que, por sua vez, contribui para o aumento da migração rural-urbana. Os resultados encontrados para esta variável são de especial importância, uma vez que, sendo os municípios do Semiárido largamente dependentes da agricultura como fonte de renda e subsistência, a população desta região é mais sensível às variações na renda agrícola. Dessa forma, quanto menor a renda resultante da produção agrícola nessa região, maior é a taxa de migração rural-urbana.

Em relação às variáveis climáticas, o coeficiente encontrado na Regressão 2 mostra que o aumento de um ponto percentual na anomalia da temperatura resulta em um aumento da migração rural-urbana em 0,0182 pontos percentuais. Este resultado é compatível com os resultados encontrados por Marchiori et al. (2011), que em seu estudo verificaram que aumentos de temperatura induzem à migração rural-urbana nos países da África Subsaariana via reduções nos salários agrícolas; e também por Mueller et al. (2014), cujo estudo indicou que o aumento da temperatura nas áreas rurais do Paquistão resultou no aumento da migração para áreas urbanas devido, principalmente, aos impactos negativos do clima na renda agrícola. No que se refere à precipitação, o coeficiente encontrado para a mesma regressão indica que a redução de um ponto percentual na anomalia da precipitação resulta em um aumento da migração rural-urbana em 0,0041 pontos percentuais. Resultado similar foi encontrado por Munshi (2003), que verificou uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre emigração das áreas rurais do México para os Estados Unidos e baixos níveis pluviométricos. Adicionalmente, Barrios et al. (2006), verificaram que reduções nas quantidades de chuva precipitadas nos países da África Subsaariana induziram o êxodo

rural. Os resultados encontrados para as ambas as variáveis climáticas *Temperatura* e *Precipitação* corroboram a hipótese levantada por este estudo de que o clima é fator preponderante para a migração rural-urbana nos municípios da região Semiárida.

Os resultados apresentados até o momento indicam que, de maneira geral, os direcionadores envolvidos no processo migratório rural-urbano são determinantes para explicar a migração da área rural para a área urbana nos municípios do Semiárido brasileiro. Ênfase especial é dada aos direcionadores climáticos, que se mostraram significativos nas duas versões estimadas do modelo, indicando o quanto é importante se considerar o clima na determinação dos fluxos migratórios.

Assim como proposto por Dell et al. (2008) e Marchiori et al. (2011), a fim de se verificar se os efeitos da variabilidade climática sobre a migração rural-urbana são mais evidentes em municípios que dependem mais amplamente do setor agrícola, foram criadas as variáveis *dummy* de interação *Temp*Agri* e *Prec*Agri*. Para a determinação destas variáveis, inicialmente foi calculada a participação média do PIB Agropecuário no PIB total considerando-se todos os municípios brasileiros para cada ano considerado nesta análise e, em seguida, foi calculada a média geral desta parcela, chegando ao valor médio de 0,3644. Posteriormente, foi criada uma variável *dummy* que assumiu o valor 1 para todos os municípios que apresentaram participação média do PIB Agropecuário em relação ao PIB total superior ao valor médio determinado para o Brasil e 0 caso contrário. Por fim, estas variáveis *dummy* foram interagidas às variáveis climáticas *Temperatura* e *Precipitação*. Os valores encontrados na estimação considerando-se as variáveis de anomalias climáticas interagidas às variáveis *dummy Temp*Agri* e *Prec*Agri* são exibidos na Tabela 7.

Tabela 7: Estimativas incorporando as variáveis *dummy* de interação ao modelo.

Variável	Coefficientes Regressão 3
<i>Constante</i>	0,4328*** (0,0373)
<i>Escola</i>	-0,0983*** (0,0246)
<i>Faixa etária</i>	0,4302*** (0,0957)
<i>Salários</i>	-0,0143*** (0,0014)
<i>Irrigação</i>	-0,0010 (0,0084)
<i>Temperatura</i>	0,0150*** (0,0022)
<i>Precipitação</i>	-0,0059*** (0,0022)
<i>Temp*Agri</i>	0,0061*** (0,0022)
<i>Prec*Agri</i>	-0,0033 (0,0027)
Teste de Chow	F = 27,31***
Teste de Hausman	$\chi^2 = 1319,28***$
Teste de Wald	$\chi^2 = 5,0e+05***$
Teste de Wooldridge	F = 26,383***
Número de observações	3.971
Número de municípios	795

Nota: (***) indica nível de significância de 1%. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Assim como realizado para as Regressões 1 e 2, empregou-se os Testes de Chow e de Hausman para determinar o modelo de melhor adequação à Regressões 3. Os resultados apresentados na Tabela 7 indicam que a hipótese nula do Teste de Chow de que o modelo *Pooled* é mais adequado do que o modelo de Efeitos Fixos foi rejeitada ao nível de significância de 1%. Uma vez que, a partir do Teste de Chow, o modelo de Efeitos Fixos se mostrou o mais adequado, foi realizado o Teste de Hausman visando a escolha do melhor modelo entre o modelo de Efeitos Fixos e o modelo de Efeitos Aleatórios. A hipótese nula do Teste de Hausman de que o modelo de Efeitos Aleatórios é o de melhor adequação foi rejeitada ao nível de 1% de significância. Mais uma vez, dado que o modelo de Efeitos Fixos se mostrou o melhor, não foi necessária a aplicação

do Teste do Multiplicador de Lagrange de Breush-Pagan de identificação do modelo de melhor adequação entre os modelos *Pooled* e de Efeitos Aleatórios.

Objetivando verificar a existência de heterocedasticidade e autocorrelação serial, assim como para as regressões estimadas anteriormente, foram aplicados ao modelo os testes de Wald e de Wooldridge, respectivamente. Os resultados exibidos na Tabela 7 indicam que ambas as hipóteses nulas de ausência de heterocedasticidade e de autocorrelação serial foram rejeitadas ao nível de 1% de significância, tendo sido necessário realizar, portanto, a aplicação de correções robustas. Novamente optou-se pela estimação do modelo utilizando o Método de Mínimos Quadrados Generalizados devido à sua robustez e propriedades assintóticas.

Os resultados exibidos na Tabela 7 indicam que ao se interagir a variável binária com as variáveis climáticas, apenas a variável *Temperatura* se mostrou constante, significativa e com sinais esperados. De acordo com o resultado, o aumento de uma unidade da anomalia da temperatura leva a um aumento da taxa de urbanização em 0.0061 pontos percentuais. Esse resultado indica que o aumento da temperatura nos municípios que dependem mais amplamente do setor agrícola resulta em aumento da migração rural-urbana, o que comprova que, de fato, o efeito da mudança climática está levando ao aumento da taxa de migração e que os municípios agrícolas são os mais afetados pela mudança no clima.

A principal diferença entre a regressão que inclui a variável binária interagida às variáveis climáticas e as regressões que não a incluem, é que na primeira a *Precipitação* não foi significativa, o que pode indicar que, dentre as variáveis climáticas, a variável *Temperatura* atua de forma mais preponderante sobre a decisão do indivíduo de migrar. Ademais, nas duas regressões estimadas sem a interação das variáveis climáticas com a variável *dummy*, a magnitude dos coeficientes da variável *Temperatura* se mostrou maior do que os coeficientes da variável *Precipitação*, o que corrobora com a premissa de que a temperatura possui maior influência sobre a migração rural-urbana que a precipitação no Semiárido brasileiro.

Os argumentos apresentados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), sintetizados por Angelotti et al. (2009), apontam que a temperatura é a principal determinante do déficit hídrico na região Semiárida. Segundo os autores, o aumento da temperatura faz com que haja maior quantidade de água na forma de vapor na atmosfera que, por sua vez, retroalimenta o aumento da temperatura. Além disso, o aumento da temperatura tem o efeito de diminuir a umidade do solo por meio da

evaporação direta e pelo aumento da evapotranspiração das plantas. De acordo com o INSA (2014), apesar de o déficit hídrico ser uma das principais características da região Semiárida, isso não significa, necessariamente, falta de água. A média pluviométrica desta região é alta comparando-se a outras regiões semiáridas do mundo, porém as chuvas são irregulares no tempo e no espaço e o volume precipitado é aproximadamente três vezes menor do que o índice de evaporação²¹. Uma vez que o solo do Semiárido é rico em sais, a evaporação intensa causada pelo aumento da temperatura pode reduzir, ou mesmo inibir, a produção agrícola, contribuindo para o aumento da migração rural-urbana.

Diversos estudos (MARENCO et al., 2007; TORRES et al., 2012; PBMC, 2013) apontam o Nordeste do Brasil como uma das regiões que será potencialmente mais afetada pelos efeitos adversos das mudanças no clima. Entretanto, esta região é vasta, podendo existir diferenças regionais dentro da própria região, uma vez que, apesar de o Semiárido exibir padrões de baixa precipitação, com longas e severas estiagens no decorrer do ano, a porção litorânea da região Nordeste apresenta padrão de precipitação diferenciado, com níveis pluviométricos mais elevados. Por esta razão, a título de verificação da robustez dos resultados encontrados e exibidos nas Tabelas 6 e 7 e a fim de verificar se a região Nordeste é estatisticamente diferente da região Semiárida, as mesmas regressões estimadas para o Semiárido foram estimadas para o Nordeste do Brasil²². Os resultados destas estimações são mostrados na Tabela 8.

²¹ Segundo o INSA, a média pluviométrica do Semiárido varia de 200 a 800 mm anuais, dependendo da região, enquanto o índice de evaporação chega a 3.000 mm/ano.

²² Os resultados das análises considerando-se todos os municípios no Brasil são exibidos no Anexo deste estudo.

Tabela 8: Resultados das estimativas para os municípios do Nordeste.

Variável	Regressão 4	Regressão 5	Regressão 6
<i>Constante</i>	0,5028*** (0,0053)	0,5787*** (0,0282)	0,5802*** (0,0283)
<i>Escola</i>		-0,151*** (0,0240)	-0,1537*** (0,0240)
<i>Faixa etária</i>		0,1011* (0,0614)	0,1035* (0,0614)
<i>Salários</i>		-0,009*** (0,0017)	-0,0089*** (0,0017)
<i>Irrigação</i>		-0,0129 (0,0128)	-0,0123 (0,0130)
<i>Temperatura</i>	0,0413*** (0,0009)	0,0291*** (0,0020)	0,0256*** (0,0023)
<i>Precipitação</i>	-0,0016 (0,0012)	-0,0011 (0,0012)	-0,0002 (0,0017)
<i>Temp*Agri</i>			0,0071*** (0,0022)
<i>Prec*Agri</i>			-0,0015 (0,0023)
Teste de Chow	F = 49,15***	F = 20,70***	F = 20,58***
Teste de Hausman	$\chi^2 = 5,48^*$	$\chi^2 = 5797,2^{***}$	$\chi^2 = 8013,88^{***}$
Teste de Wald	$\chi^2 = 2,6e+05^{***}$	$\chi^2 = 2,4e+29^{***}$	$\chi^2 = 7,7e+05^{***}$
Teste de Wooldridge	F = 115,92***	F = 90,008***	F = 88,670***
Número de observações	6.335	6.289	6.289
Número de municípios	1.267	1.260	1.260

Nota: (***) e (*) indicam significância de 1% e 10%, respectivamente. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Assim como para as Regressões dos municípios do Semiárido, foram realizados os testes de especificação do modelo e de detecção de heterocedasticidade e de autocorrelação serial. O Teste de Chow apontou a rejeição a 1% de significância da hipótese nula de que o modelo *Pooled* é o mais adequado, sendo necessário, portanto, a realização do Teste de Hausman. A hipótese nula do Teste de Hausman de que o modelo de Efeitos Aleatórios é o de melhor adequação foi rejeitada ao nível de 10% de significância na Regressão 4 e rejeitada ao nível de 1% de significância nas Regressões 5 e 6 sendo, portanto, o modelo de Efeitos Fixos o mais adequado para as três regressões estimadas. Dado que o modelo de Efeitos Fixos se mostrou o mais adequado, mais uma vez não foi necessária a realização do Teste do Multiplicador de Lagrange de Breush-Pagan de identificação do modelo de melhor adequação entre os

modelos *Pooled* e de Efeitos Aleatórios. Adicionalmente, foram empregados os testes de Wald e Wooldridge para a detecção da presença de heterocedasticidade e de autocorrelação dos resíduos. As hipóteses nulas de ausência de heterocedasticidade e de autocorrelação foram rejeitadas a 1% de significância para as três regressões estimadas, indicando a necessidade da utilização do método dos MQG para correções robustas.

Os resultados apresentados na Tabela 8 indicam que, embora exibam magnitudes diferentes, os coeficientes obtidos através da estimação das Regressões 4-6 apresentam o mesmo sinal e níveis de significância semelhantes às regressões relativas ao Semiárido (Tabelas 6 e 7). A segunda coluna reporta os resultados da estimação da Regressão 4, em que apenas as variáveis climáticas foram utilizadas como variáveis explicativas. Contrariando os resultados encontrados para os municípios do Semiárido, apesar de a variável *Temperatura* ter sido significativa e apresentado sinal esperado, a variável *Precipitação* não foi significativa. Este resultado indica que, quando as variáveis climáticas são analisadas separadamente das demais variáveis consideradas no modelo, a precipitação não é preponderante para explicar a migração rural-urbana, ficando esta explicação a cargo da temperatura.

No que se refere à Regressão 5 (Tabela 8), a sua principal diferença em relação à Regressão 2 (Tabela 6) é a não significância da variável *Precipitação* na primeira. Este resultado leva a crer que o padrão de precipitação da região Nordeste como um todo é estatisticamente diferente do padrão da região Semiárida. As regressões que incluem a variável *dummy* de interação (Regressões 3 e 6) apresentaram coeficientes semelhantes em significância e sinais e, assim como na Regressão 3 (Tabela 7), a Regressões 6 (Tabela 8) não apontou significância para a variável *Precipitação*, indicando que, no que se refere à precipitação, os municípios do Semiárido são estatisticamente diferentes dos municípios do Nordeste.

A não significância da variável *Precipitação* ao se considerar toda a região Nordeste pode se dever ao fato de que os índices pluviométricos médios dessa região são maiores do que quando se considera apenas o recorte geográfico do Semiárido. Segundo Moura et al. (2007), embora o clima no Nordeste brasileiro seja pouco diversificado, alguns locais da região apresentam microclimas específicos, como é o caso do Semiárido. Ainda segundo os autores, observa-se que as chuvas no litoral nordestino são superiores a 1.000 mm anuais e, à medida que se adentra no Semiárido, passando pelo Agreste e se dirigindo para o Sertão, o volume médio de precipitação se

reduz, alcançando valores médios inferiores a 300 mm ao ano, razão pela qual, na média, o volume de precipitação do Nordeste é maior que o volume do Semiárido.

É importante destacar que, apesar das diferenças observadas quanto às variáveis climáticas nas duas regiões, o padrão de maior magnitude para o coeficiente da variável *Temperatura* se manteve, o que indica que, assim como para a região Semiárida, no Nordeste a temperatura é mais preponderante na determinação da migração rural-urbana que a precipitação.

Os resultados desta seção confirmam a hipótese de que as mudanças climáticas, especialmente o aumento da temperatura, têm contribuído para os processos de migração rural-urbana nos municípios do Semiárido. Somando-se a isso, ao se comparar os resultados obtidos a partir das estimações das Regressões para o Semiárido e para a região Nordeste, pode-se dizer que os piores impactos das mudanças no clima recairão sobre a primeira, uma vez que a magnitude dos coeficientes encontrados para as variáveis climáticas é maior para os municípios daquela região. Dessa forma, os resultados encontrados neste estudo indicam que é imperativo que sejam desenvolvidas políticas dirigidas especificamente para a região Semiárida, de forma a eliminar, ou pelo menos conter, o avanço da migração para as áreas urbanas motivadas pelo impacto das alterações climáticas sobre a população dessa região.

Além de programas tradicionais de transferência de renda, como o bolsa Família, o Governo Federal tem desenvolvido algumas políticas públicas que favorecem o desenvolvimento agrícola, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), o Garantia Safra e o Seguro da Agricultura Familiar (SEAF)²³. É importante destacar, entretanto, que a remessa de recursos financeiros via transferências governamentais, embora garanta um fluxo de renda constante, não garante o desenvolvimento sustentável e continuado. Por essa razão, é necessário que as políticas assistencialistas sejam reforçadas por políticas que deem suporte às atividades produtivas geradoras de renda no campo.

Neste contexto, é necessário que, além de políticas de acesso à água, políticas de assistência, como as supracitadas, sejam fortalecidas e garantidas ao pequeno produtor rural. É preciso também que os agricultores tenham acesso à assistência técnica, uma vez que, na maioria das vezes, a elevação na produtividade agrícola demanda mudanças

²³ O Pronaf tem como objetivo financiar projetos que aumentem a renda dos agricultores familiares. O programa Garantia Safra, vinculado ao Pronaf, é destinado exclusivamente aos agricultores familiares da região Nordeste do Brasil e do Norte de Minas Gerais e trata-se de um seguro especial para os agricultores que enfrentam condições climáticas adversas. O SEAF é um seguro que garante aos agricultores parte das receitas líquidas esperadas em caso de ocorrências climáticas que resultem em perdas maiores que 30% da produção (Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2014).

nas práticas tradicionais conhecidas por eles. Através de maiores incentivos à agricultura familiar e da ampliação de fontes de crédito destinadas ao agricultor, o mesmo terá maiores condições de enfrentar as adversidades climáticas, não sendo, portanto, necessário recorrer à migração para os centros urbanos.

4.3. Impacto das mudanças climáticas na migração rural-urbana

Nesta seção são apresentadas as variações esperadas na migração rural-urbana considerando-se as previsões de mudanças climáticas propostas pelo IPCC em seu mais recente relatório, o AR5²⁴. Os resultados das simulações dos efeitos das mudanças climáticas sobre a migração rural-urbana sob os diferentes cenários e Modelos de Circulação Geral para os diferentes períodos de tempo encontram-se na Tabela 9. Visando levar em conta a heterogeneidade regional, as simulações foram feitas considerando-se, mais uma vez, a região Nordeste e a região Semiárida.

Tabela 9: Variação das taxas de urbanização futuras.

	2016-2035		2046-2065	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Semiárido				
MIROC5	-0,0439988	6,915044	1,186489	3,336243
NorESM1-M	9,910404	-5,23026	15,95858	1,600308
MRI-CGCM3	4,940926	7,178675	13,22079	17,31619
Média	0,3197199	1,907884	5,365727	6,400748
Nordeste				
MIROC5	-1,2174	5,445645	0,6610039	4,989593
NorESM1-M	11,70253	-6,348451	19,07571	3,822837
MRI-CGCM3	8,588466	11,80848	15,41988	20,29214
Média	1,876697	3,287366	7,328629	9,64812

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Os valores exibidos na Tabela 9 apontam que, com exceção aos modelos MIROC5 e NorESM1-M nos cenários 4.5 e 8.5, respectivamente, a migração rural-urbana aumentará nas regiões Nordeste e Semiárida nos próximos anos, tudo mais mantido constante. No que se refere especificamente à região Semiárida, de acordo com os MCG's, poderá haver variação na migração rural-urbana de -0,04% a 9,91% sob o RCP 4.5 e de -5,23% a 7,18% sob o RCP 8.5 no período compreendido entre 2016 e 2035; e de 1,18% a 15,95% sob o RCP 4.5 e 1,6% a 17,31% sob o RCP 8.5 no período compreendido entre 2046 e 2065. Já em relação à região Nordeste, estes intervalos são -

²⁴ Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (*The Fifth Assessment Report*).

1,21% a 11,7% e -6,35% a 11,8% no primeiro período; 0,66% a 19,07% e 3,82% a 20,29% no segundo período para os RCP's 4.5 e 8.5, respectivamente.

Conforme descrito na metodologia, a fim de se eliminar valores discrepantes e possíveis erros de medida, além de se levar em consideração as discrepâncias entre os MCG's, as simulações foram realizadas considerando a média dos três MCG's. De acordo com valores exibidos na Tabela 9, poderá haver aumentos da migração-rural urbana na região Semiárida de 0,32% e 1,9% no primeiro período e 5,56% e 6,4% no segundo período sob os RCP's 4.5 e 8.5, respectivamente. No que se refere à região Nordeste, estes valores são 1,87% e 3,28% no primeiro período e 7,33% e 9,65% no segundo período, sob os RCP's 4.5 e 8.5, respectivamente.

Embora os MCG's tenham previsto majoritariamente aumentos da migração rural-urbana para os RCP's 4.5 e 8.5 e para os períodos de tempo 2016-2035 e 2046-2065, foram simuladas variações negativas para o RCP 4.5 no modelo MIROC5 e para o RCP 8.5 no modelo NorESM1-M, para ambas as regiões no primeiro período. A razão pela qual este valor negativo foi encontrado para o modelo MIROC5 no cenário 4.5 pode se dever à leve tendência de aumento da precipitação média entre 2016 e 2035, além da temperatura média não ter apresentando tendência de aumento no mesmo período. Já em relação ao modelo NorESM1-M no cenário 8.5, a ocorrência do valor negativo para a migração rural-urbana pode estar associada à manutenção do nível médio de precipitação, além de uma queda na temperatura média nos anos iniciais do período. As Figuras 7 e 8 apresentam o comportamento da precipitação média e da temperatura média esperadas, respectivamente, para cada cenário e MCG ao longo dos períodos de tempo futuro considerados na análise.

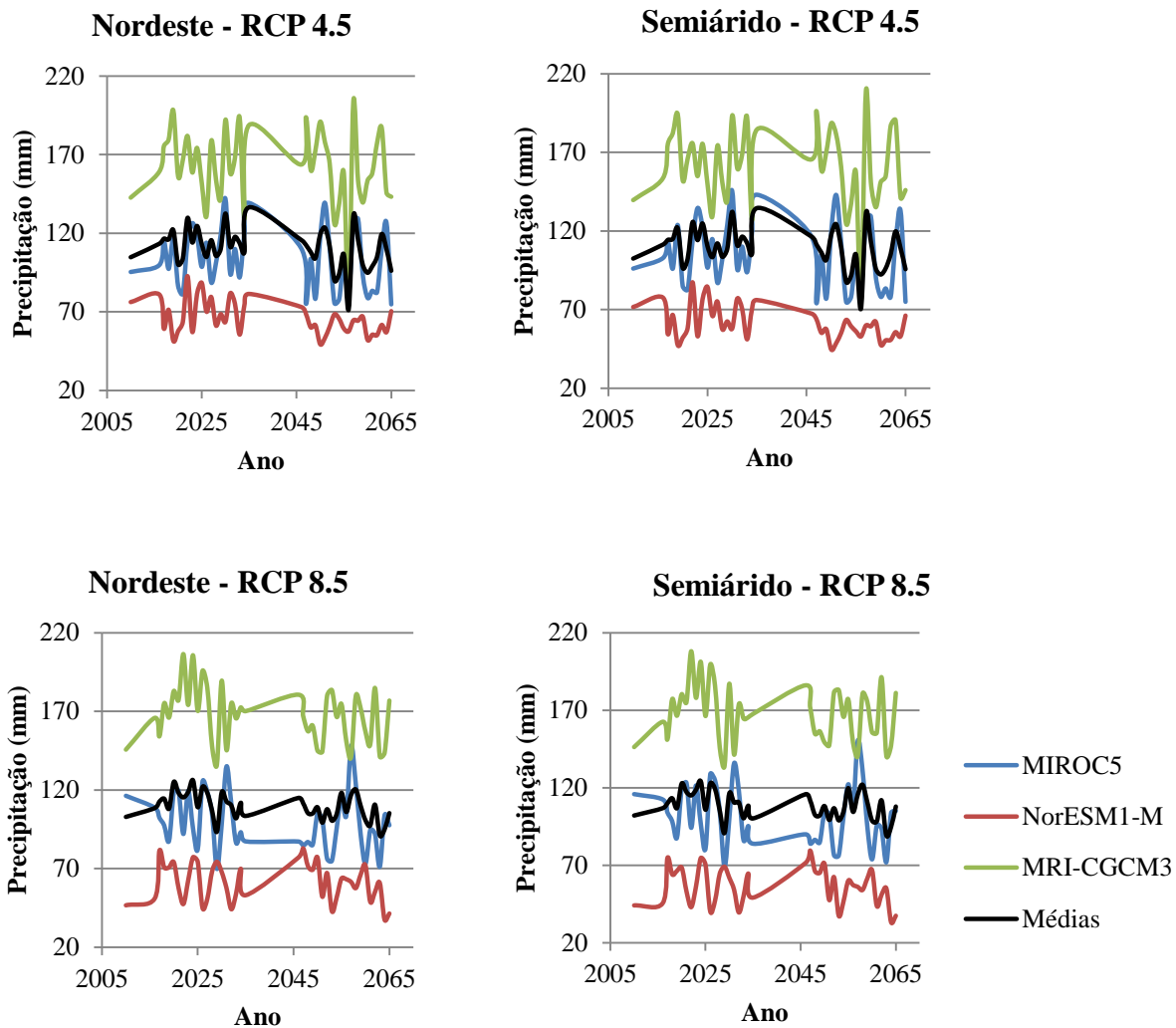


Figura 7: Comportamento da precipitação média esperada, segundo MCG, RCP e região.

Fonte: Elaboração da autora, a partir dos dados da pesquisa.

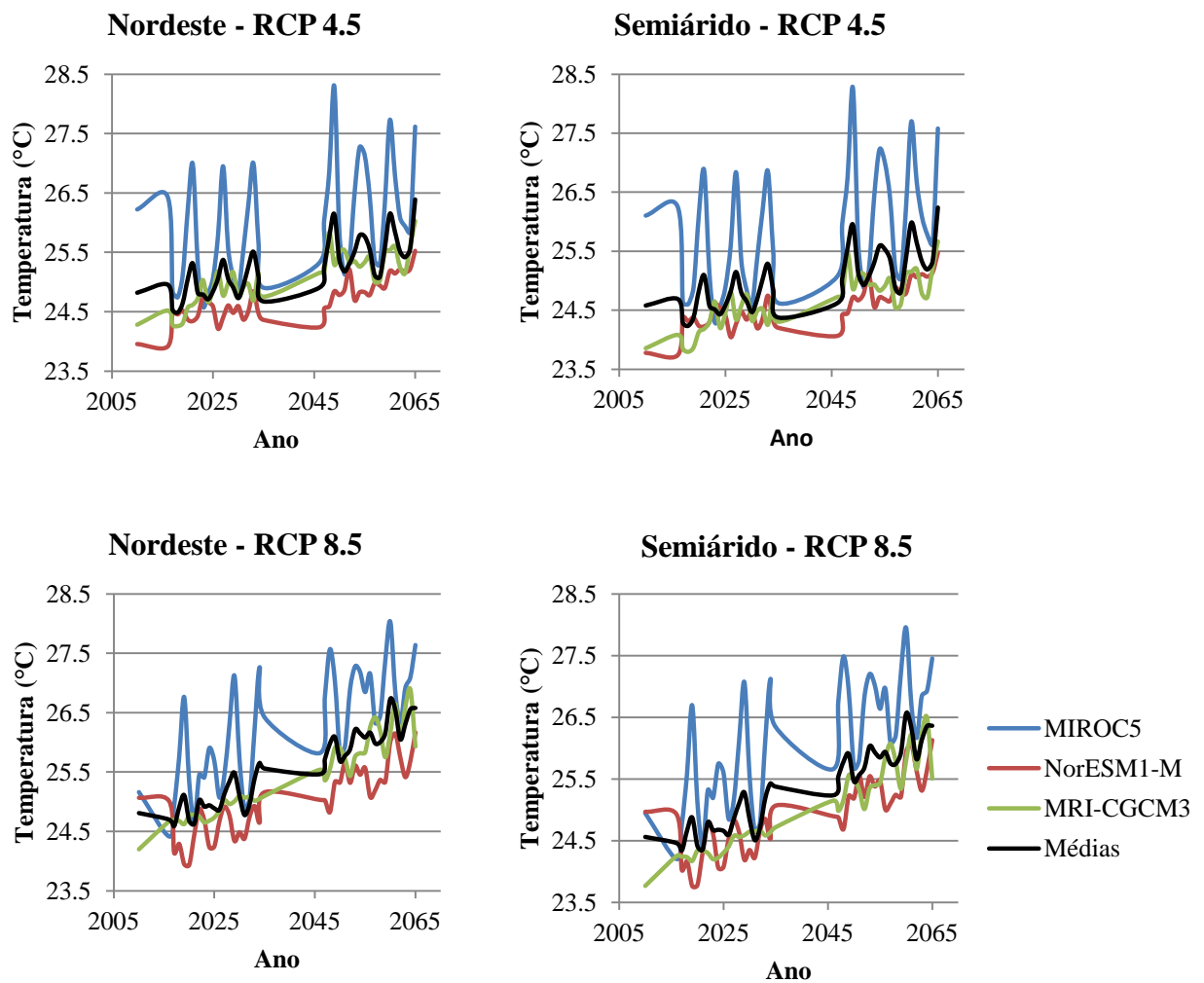


Figura 8: Comportamento da temperatura média esperada, segundo MCG, RCP e região.

Fonte: Elaboração da autora, a partir dos dados da pesquisa.

De modo geral, observou-se que, conforme o esperado, o RCP 8.5 apresentou valores superiores ao RCP 4.5, indicando que sob um cenário de significativo aumento de emissão de GEE's e de ausência de políticas de redução de emissões, a migração rural-urbana será maior. Adicionalmente, observou-se que os valores apresentados para o período compreendido entre 2046 e 2065 foram superiores ao período entre 2016 e 2035, o que indica que as condições climáticas adversas, que favorecem a migração rural-urbana, poderão se intensificar ao longo do tempo.

Os resultados apontados pela Tabela 9, suportados pelos dados das Figuras 7 e 8, permitem fazer importantes constatações acerca da migração rural-urbana esperada para o futuro. Pode-se afirmar que, mesmo em regiões com características climáticas usualmente definidas como semelhantes, há heterogeneidade no que se refere ao clima

e, como consequência, na migração rural-urbana esperada, como é o caso das regiões Nordeste e Semiárida, que apresentaram valores divergentes para as simulações. Adicionalmente, os resultados confirmam a hipótese de que a migração rural-urbana irá se agravar diante das mudanças esperadas no clima.

Diante dos cenários de aumento de temperatura e redução da precipitação, com consequente aumento da migração rural-urbana nas regiões consideradas neste estudo, é imperativo que políticas públicas sejam criadas de modo a garantir que este tipo de migração seja evitado. No caso em que este movimento migratório se fizer necessário devido às adversidades climáticas, estas políticas devem garantir que a migração para as cidades ocorra sob condições favoráveis. Um dos maiores desafios do governo é, porém, criar políticas relativas às migrações induzidas por mudanças climáticas, uma vez que os processos climáticos e migratórios são dinâmicos e não lineares.

Segundo projeções do IBGE a respeito da variação populacional para os próximos anos, a população total brasileira, que em 2010 era de 190.747.731 habitantes, será de 226.438.916 habitantes em 2035 e 218.173.882 em 2060, último ano de população projetada²⁵. Estes números traduzem um aumento populacional de aproximadamente 18,7% em 2035 e 14,4% em 2060, ambos em relação a 2010. Em relação à região Nordeste, a população total verificada no ano de 2010 foi de 53.073.882, enquanto a população projetada para 2030, último ano para o qual as projeções foram feitas para regiões brasileiras desagregadas, será de 60.319.784 habitantes. No que se refere à população urbana, o valor verificado para a população nordestina foi 38.819.594 em 2010.

De acordo com as simulações sobre a migração rural-urbana feitas por este estudo, mantendo-se tudo mais constante e utilizando o modelo de médias dos três MCG's considerados, espera-se que a migração rural-urbana no Nordeste aumente em 1,88% e 3,29% aproximadamente, sob os RCP's 4.5 e 8.5, respectivamente, entre 2016 e 2035. Uma vez que a projeção da população para as regiões do Brasil foi realizada pelo IBGE apenas até 2030, será assumido aqui que a população total do Nordeste se manterá constante entre 2030 e 2035. Dessa forma, espera-se que a população urbana seja 44.948.877 sob o RCP 4.5 e 45.570.961 sob o RCP 8.5, o que significa que 6.129.283 e 6.751.367 habitantes da região Nordeste, respectivamente, terão que deixar a área rural e partir para a área urbana motivados exclusivamente pelas adversidades climáticas.

²⁵ O IBGE projeta que a população brasileira total decrescerá a partir de 2042, razão pela qual a população verificada em 2060 é inferior à verificada em 2035.

É importante destacar que, com o aumento da população estimado para os próximos anos, a demanda por alimentos também irá aumentar, resultando em aumento de preços e em consequências adversas para as populações mais pobres e vulneráveis (NELSON et al., 2009; ROSEGRANT et al., 2014). Nesse sentido, as mudanças climáticas podem agravar ainda mais este cenário de vulnerabilidade, contribuindo significativamente para o aumento dos preços, via redução da produção de alimentos, resultando em insegurança alimentar.

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, porém, caso o aumento da migração rural-urbana se configure devido às consequências adversas do clima, a produção de alimentos pode ser comprometida. Para lidar com os desafios das mudanças climáticas sobre os preços dos alimentos, será necessário aumentar a produção de alimentos sem maiores danos ao meio ambiente. Sendo assim, investimentos na pesquisa e no desenvolvimento da agricultura são fundamentais para apoiar o aumento na produção de alimentos. Políticas voltadas para a melhoria da educação e mais amplo acesso a meios de subsistência alternativos, por sua vez, poderiam fazer com que os migrantes se fixassem no campo. Tais políticas poderiam incluir ainda a ampliação de novas tecnologias agrícolas, a introdução de lavouras com maior resistência às secas, maior acesso à água via irrigação, além do oferecimento mais amplo de políticas de microcrédito, da redução da flutuação da produção agrícola e a superação das imperfeições de mercado.

Como consequência do aumento da migração rural-urbana, espera-se que a migração exacerbe problemas ambientais e econômicos não só nos locais de origem, como também nas áreas de destino. A mudança climática não afeta apenas as áreas rurais, como também as áreas urbanas, que passam a enfrentar riscos crescentes associados à marginalização dos migrantes. Sendo assim, o foco das políticas deve ser pautado não apenas naqueles que permanecem no campo, mas também naqueles que migram para os centros urbanos. Políticas de emprego devem ser reformuladas a fim de que se garanta a inclusão econômica dos grupos de migrantes marginalizados, que muitas vezes se sujeitam a receber salários inferiores aos dos não migrantes, além da provisão de serviços adequados, como segurança, saúde e educação.

É importante ressaltar que, embora no futuro a migração continue a ser resultado de uma multiplicidade de fatores tanto nos locais de origem quanto nos locais de destino, os fatores relacionados à mudança do clima provavelmente se tornarão cada vez mais significativos. Dessa forma, dentre as diversas medidas que os governos podem

tomar a fim de minimizar os custos e maximizar os benefícios da migração rural-urbana exacerbada pelas mudanças climáticas, a principal medida é a redução das emissões de GEE's, de forma a minorar o número de pessoas afetadas por variações do clima no futuro.

5. CONCLUSÕES

As mudanças climáticas têm sido amplamente discutidas nos últimos anos. As evidências de que as atividades antrópicas alteraram as concentrações de GEE's na atmosfera resultando em aumentos de temperatura e variações nos padrões de precipitação têm se tornado cada vez mais fortes. As implicações das mudanças no clima têm desafiado pesquisadores em áreas multidisciplinares, uma vez que envolve diversos campos de conhecimento. O desafio da área econômica em relação às mudanças climáticas é dispor de respostas confiáveis acerca dos impactos nos diversos setores da economia, uma vez que os mesmos serão impactados de maneiras diferentes.

Este estudo propôs um modelo teórico baseado na maximização da utilidade e utilizou a especificação econométrica de Efeitos Fixos como modelo empírico para analisar os impactos da variabilidade climática na migração rural-urbana no Semiárido brasileiro. As projeções futuras sobre estes movimentos migratórios foram feitas utilizando as variáveis climáticas consideradas referentes a dois períodos de tempo, sob dois cenários de mudanças climáticas e três modelos de circulação geral.

A análise dos direcionadores envolvidos no processo de migração rural-urbana indicou que as condições econômicas, sociais, demográficas e, especialmente, as climáticas exercem influência sobre este processo. A decisão de um indivíduo de deixar a área rural de um município é condicionada pelos diferenciais de salários entre as áreas rural e urbana. Sendo assim, as variações climáticas poderão induzir a migração rural-urbana via redução de salários, uma vez que a produção agrícola será amplamente afetada pelas mudanças no clima. Além disso, concluiu-se que quanto maior o número de pessoas em idade de maior propensão à migração rural-urbana vivendo no meio

rural, maior será a probabilidade destas pessoas migrarem para as cidades diante de cenários de aumentos de temperatura e escassez de precipitação.

Adicionalmente, confirmou-se a expectativa de que a educação é um fator preponderante para a fixação da população rural nesta área. Quanto maior o número de pessoas com acesso à educação, maior a probabilidade destas pessoas não migrarem para a área urbana. Este resultado pode indicar que políticas de incentivo à educação nas áreas rurais podem contribuir para a fixação dos indivíduos nesta área. Em contrapartida, a irrigação, utilizada neste estudo como uma estratégia adaptativa dos agricultores às mudanças climáticas, não se mostrou relevante para a contenção dos fluxos migratórios rural-urbano. Uma das possíveis razões para a prática da irrigação não ter se configurado como uma medida adaptativa pode se dever ao fato de que a maior parte dos estabelecimentos agropecuários dos municípios considerados na análise não faz uso desta prática.

É importante destacar que, embora a eficácia da irrigação como medida adaptativa às mudanças climáticas não tenha sido confirmada para o passado recente, é possível inferir que esta prática pode vir a ser eficaz no futuro. Segundo dados dos Censos Agropecuários 1996 e 2006, o número de estabelecimentos agropecuários com a prática da irrigação aumentou 15,7% no Brasil entre anos 1996 e 2006, enquanto o número de estabelecimentos aumentou apenas 6,21% no mesmo período. No que concerne à região Semiárida, estes números são ainda mais expressivos, com aumentos de 8,54% no número de estabelecimentos agropecuários e de 19,73% no número de estabelecimentos irrigantes. O estudo feito por Cunha et al. (2015) comprova a importância da irrigação como medida adaptativa no médio e longo prazo, o que embasa a necessidade de que políticas de crédito específicas para a implementação desta prática sejam efetuadas, principalmente para os pequenos produtores, que são menos capazes de se prevenir contra os efeitos adversos do clima.

No Brasil, especificamente, espera-se que os efeitos negativos da variabilidade climática recaiam de maneira mais intensa sobre as regiões mais vulneráveis e mais dependentes de recursos sensíveis ao clima. Estudos indicam que o setor agrícola será o mais afetado e, por isso, será o setor onde as perdas econômicas serão mais evidentes. Esta questão é de expressiva importância, principalmente ao se considerar que parte significativa da renda nacional é proveniente da produção agropecuária. Além disso, as perdas na agropecuária podem trazer diversas consequências, entre elas a questão que foi explorada neste estudo. Os resultados encontrados por este estudo confirmam que os

municípios do Semiárido que dependem de forma mais ampla da agricultura serão os mais afetados pelo clima, especialmente pela temperatura, que se mostrou mais preponderante na determinação da migração rural-urbana destes municípios. Tendo isso em vista, tratar dos efeitos das mudanças climáticas na esfera econômica é, portanto, um desafio para os formuladores de políticas públicas.

Neste estudo não foram encontradas diferenças significativas entre os direcionadores da migração nos municípios do Semiárido e nos municípios do Nordeste, o que pode ser explicado pelas condições climáticas semelhantes destas regiões. Apesar disso, enquanto a precipitação se mostrou relevante para explicar a migração rural-urbana na região Semiárida, esta variável não apresentou relevância na determinação deste tipo de fluxo migratório no Nordeste. Embora o clima nordestino seja pouco diversificado, é importante salientar que, apesar de apresentarem climas semelhantes, estas duas delimitações geográficas diferem de forma considerável no que se refere ao volume precipitado anual, sendo que o Nordeste possui níveis pluviométricos mais elevados.

No que concerne aos fluxos migratórios rural-urbano esperados para o futuro, as expectativas de que estes fluxos se agravariam diante dos cenários de mudanças climáticas foram confirmadas. Os resultados apontaram que, embora em magnitudes diferentes, espera-se que haja aumento da migração das áreas rurais para as áreas urbanas dos municípios do Nordeste e do Semiárido até 2065.

Assim como em outros estudos, este trabalho conclui que as mudanças no clima são determinantes para o aumento da taxa de urbanização nas regiões analisadas. Destaque especial é dado à temperatura, que se mostrou mais decisiva para a ocorrência da migração rural-urbana. Os produtores rurais terão seus ganhos reduzidos via redução da produtividade agrícola e, portanto, pode-se esperar que a migração em direção aos centros urbanos se intensifique no Brasil nas próximas décadas. Esse movimento, direcionado pelas alterações no clima, poderá agravar os diversos problemas socioeconômicos existentes no meio urbano brasileiro, criando desafios adicionais aos gestores públicos.

De modo geral, os resultados obtidos neste estudo reforçam a necessidade da formulação de políticas públicas que busquem o desenvolvimento organizado e planejado dos centros urbanos considerando-se a migração como uma estratégia de adaptação aos efeitos adversos do clima, de modo a absorver os migrantes e garantir que os mesmos tenham acesso aos serviços básicos oferecidos à população urbana e que não

sejam marginalizados. A migração deve ser entendida como um processo adaptativo diante das mudanças climáticas ao invés de uma falha de adaptação. Sendo assim, dados os agravamentos na mudança no clima esperados, os formuladores de políticas devem se focar em políticas de adaptação, que visem a tornar as lavouras menos sensíveis ao clima. Em última instância, caso a migração se faça necessária, políticas que enfatizem a absorção dos migrantes na área urbana reduziriam os custos sociais da variabilidade climática.

A busca de soluções no que se refere à migração rural-urbana implica influir no comportamento social, econômico e político da sociedade e, assim, desenvolver ações para que as mesmas sejam evitadas ou que ocorram em condições seguras. As formas mais efetivas para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas são o aumento da cobertura vegetal, seja através do replantio a fim de remover o CO₂ da atmosfera ou pelo efeito direto da vegetação sobre o ciclo hidrológico, e a redução das emissões dos gases causadores do efeito estufa.

Ressalta-se que foram encontradas algumas limitações na elaboração deste estudo. Primeiramente, a construção da variável *Irrigação* foi feita com base na taxa de crescimento do número de estabelecimentos agropecuários em apenas dois pontos no tempo (1996 e 2006), o que tornou inviável o cálculo desta taxa para municípios que não apresentaram estabelecimentos irrigantes e assistidos em algum destes anos. Outra limitação verificada foi a dificuldade de considerar as variáveis referentes a todos os direcionadores da migração rural-urbana nas simulações futuras. A quantificação da variação da taxa de urbanização futura foi feita variando-se apenas as variáveis climáticas, enquanto os demais direcionadores do processo foram mantidos constantes. Entretanto, é sabido que provavelmente os demais fatores envolvidos no processo irão se modificar, o que traz importantes implicações para os fluxos migratórios futuros. Adicionalmente, este trabalho se trata de uma análise parcial, não sendo, portanto, capaz de verificar as implicações da migração rural-urbana nos setores urbanos da economia. Dessa forma, sugere-se que estas questões sejam consideradas em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W.; HUQ, S.; BROW, K.; CONWAY, D.; HULME, M. Adaptation to climate change in the developing world. **Progress in Development Studies**. v. 3, p. 179-195.
- ALVES, E. Migração Rural-Urbana. Revista de Política Agrícola, Ano IV, n. 4, p. 15-29, 1995. In Migração Rural-Urbana, Agricultura Familiar e Novas Tecnologias: Coletânea de Artigos Revistos. EMBRAPA, Brasília, 2006.
- ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; PETRERE, V. G. Mudanças Climáticas e o Semiárido Brasileiro: O Papel da Embrapa Semiárido e suas Ações de Pesquisa. Petrolina, 2009.
- ASSUNÇÃO, J.; FERES, F. Climate Migration. 2008.
- BARNETT, J.; WEBBER, M. Accommodating Migration to Promote Adaptation to Climate Change. Background Paper to the 2010 World Development Report. **Policy Research Paper 5270**. Melbourne, 2010.
- BARRIOS, S.; BERTINELLI, L.; STROBL, E. Climatic Change and Rural-Urban Migration: The Case of Sub-Saharan Africa. **Core Discussion Paper**, 2006.
- BEINE, M.; DOCQUIER, F.; OZDEN, C. Diasporas. **Journal of Development Economics**. p. 30-41. 2011
- BEINE, M.; PARSONS, C. Climatic Factors as Determinants of International Migration. Working Paper 70. International Migration Institute. Oxford, 2013.
- BELTRÃO, K.; CAMARANO, A.; KANSO, S. Dinâmica Populacional Brasileira na Virada do Século XX. Texto para Discussão 1034.IPEA. Rio de Janeiro, 2004.
- BLACK, R.; ADGER, W.; ARNELL, N.; DERCON, S.; GEDDES, A.; THOMAS, A. The Effect of Environmental Change on Human Migration. **Global Environmental Change**, S3-S11. 2011.
- BORJAS, G. Self-Selection and the Earnings of Migrants. **American Economic Review**. p. 531-553. 1987.
- CAMPINO, A. A Migração de Pessoas Qualificadas no Período 1950/70. **Pesquisa e Planejamento Econômico**. vol . 3, n. 4, p. 1091- 1102, 1973.

CASTLES, S. Concluding Remarks on the Climate Change-Migration Nexus *in* FIGUET, E.; PÉCOUD, A.; GUCHTENEIRE, P. **Migration and Climate Change**, p. 415-427. 2011.

CHRISTIAN AID. Human Tide: The Real Migration Crisis, Chistian Aid Report. 2007.

CUNHA, D; COELHO, A.; FÉRES, J. Irrigation as na adaptive strategy to climate change: an economic perspective on Brazilian agriculture. **Environment and Development Economics**. v. 20, p. 57-79. 2015.

DALLMANN, I.; MILLOCK, K. Climate Variability and Internal Migration: A Test to Inter-state Indian Migration. Documents de Travail du Centre d'Economie de la Sorbonne. CES Working Paper. Sorbonne, 2013.

DELL, M.; BENJAMIN J.; BENJAMIN A. Climate Change and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. NBER Working Paper 14132, Cambridge, 2008.

DESCHENES, 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.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. Assessing the impacto f climate change, productivity and land use in Brazilian agricultural sector. European Association of Environmental and Resource Economists, Gothenburg. 2008.

FORESIGHT. Migration and Global Environmental Change. Final Project Report. The Governmente Office for Science. Londres. 2011.

GOLGHER, A; MARQUES, D. A migração urbano/urbano, rural/urbano, urbano/rural e rural/rural no Brasil: a busca de padrões e de diferenças – implicações para a pobreza rural. XV Encontro de Estudos Populacionais – ABEP. Caxambu, 2006.

GOLGHER, A. Fundamentos da Migração. Texto para Discussão 231. CEDEPLAR, Belo Horizonte, 2004.

GOMES, G. Dimensão das secas no Nordeste: por que não avançamos em soluções. Fórum Convivência Permanente Produtiva com as Secas. SEBRAE – PE. Disponível em:

<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/PE/Anexos/GMGomes%20-%20Apresenta%C3%A7%C3%A3o_Sebrae_PE_22_mai_2014.pdf>. Acesso em dezembro de 2014.

GRAY, C. Environment, Land and Rural Out-Migration in The Southern Ecuadorian Andes. **World Development**. Vol. 37, No. 2, pp. 457–468, 2008.

GRAY, C.; MUELLER, V. Drought and Population Mobility in Rural Ethiopia. **World Development** Vol. 40, No. 1, pp. 134–145, 2011.

GREENE, W. H. Econometric Analysis. New York. Person, 2012.

GROGGER, J.; HANSON, G. Income Maximization and the Selection and Sorto f International Migrants. **Journal of Development Economics**. p. 42-54. 2011.

GUJARATI, D. Econometria Básica. Ed Bookman. 4ª Edição, 2006.

HARRIS, J.; TODARO, M. Migration, Unemployment and Development: A Two-

Sector Analysis. *The American Economic Review* 60 (1), 126–142, 1970.

HSIAO, C. Panel Data Analysis – Advantages and Challenges. Working Paper, Institute of Economic Policy Research, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Demográfico 2010: Nupcialidade, Fecundidade e Migração. Resultados da Amostra. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/98/cd_2010_nupcialidade_fecundidade_migracao_amostra.pdf>. Acesso em: Julho de 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/curiosidade/tempo_clima.html>. Acesso em: dezembro de 2014.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira. Microdados Censo Escolar. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basica-levantamentos-acessar>>. Acesso em: setembro de 2014.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido. Disponível em: <http://www.insa.gov.br/censosab/index.php?option=com_content&view=article&id=97&Itemid=96>. Acesso em: dezembro de 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy Makers. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. 2013.

ITABORAHY, C.; COUTO, L.; SANTOS, D.; PRETO, L.; RESENDE, L. Agricultura irrigada e o uso racional da água. Agência Nacional de Águas/Superintendência de Conservação de Água e Solo. 2004. Brasília, 2004.

JOHNSON, C.; KRISHNAMURTHY, K. Dealing with Displacement: Can Social Protection Facilitate Long-Term Adaptation to Climate Change? **Global Environmental Change**, p. 648-655. 2010.

KUMAR, K. S. K. Climate sensitivity of Indian agriculture. Working Paper 43/2009 – Madras School of Economics, 2009.

LEWIS, W. A. Economic Development with unlimited supplies of labor. *The Manchester School of Economic and Social Studies*. 22 (2), 139-191, 1954.

LILLEOR, H.; VAN DEN BROECK, K. Economic Drivers of Migration and Climate Change in LDC's. **Global Environmental Change** 21S, S70–S81, 2011.

MARCHIORI, L.; MAYSTADT, J.; SCHUMACHER, I. The Impact of Climate Variations on Migration in Sub-Saharan Africa. Paper Presented at CSAE 25th Anniversary Conference 2011: Economic Development in Africa, Oxford, UK, 2011.

MARENGO, J.; NOBRE, C.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. Caracterização do clima atual e definições das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Sumário técnico. 2007.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.

MCLEMAN, R.; SMIT, B. Migration as an adaptation to climate change. **Climatic Change**. v. 76, p. 31-53.

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W.; SHAW, D. The impact of global warming on agriculture: Ricardian analysis. **American Economic Review**. v. 84, p. 753-771. 1994

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Plano Estratégico de Desenvolvimento do Semiárido. 2005. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=347a66e5-2e91-49b7-9bd55762d4ae3e02&groupId=24915>. Acesso em: dezembro de 2014.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Secretaria da Agricultura Familiar. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf/financiamento-e-prote%C3%A7%C3%A3o-da-produ%C3%A7%C3%A3o-agr%C3%ADcola>>. Acesso em fevereiro de 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: agropecuária**. Brasília, 2006.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e Água de Chuva no Semiárido. 2007.

MUELLER, V. GRAY, C. KOSEC, K. Heat Stress Increases Long-Term Human Migration in Rural Pakistan. *Nature Climate Change*. 82-185. 2014.

MUNSHI, K. Networks in The Modern Economy: Mexican Migrants in The U.S. Labor Market. **The Quarterly Journal of Economics** 118 (2), 549–599, 2003.

MYERS, N. Environmental Refugees: An Emerging Security Issue. 13th Economic Forum. Praga, 2005.

NELSON, G.; ROSEGRANT, M.; KOO, J.; ROBERTSON, R.; SULSER, T.; ZHU, T.; RINGLER, C.; MSANGI, S.; PALAZZO, A.; BATKA, M.; MAGALHÃES, M.; VELMONTE-SANTOS, R.; EWING, M.; LEE, D. Climate change: impact on agriculture and costs of adaptation. International Food Policy Research Institute, 2009.

OJIMA, R. Urbanização, dinâmica migratória e sustentabilidade no semiárido nordestino: o papel das cidades no processo de adaptação ambiental. **Cadernos Metrópole**, v. 15, n. 29, p. 35-54. São Paulo, 2013.

PATT, A.; VAN VUUREN, D.; BERKHOUT, F.; AAHEIM, A.; HOF, A.; ISAAC, M., MERCHLER, R. Adaptation in integrated assessment modeling: where do we stand? *Climate Change*, v.99, n. 3-4, p.383-402, 2010.

PBMC. Sumário Executivo do Volume I – Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1 Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro, 2012.

PIGUET, E.; PÉCOUD, A.; GUCHTENEIRE, P. Migration and Climate Change, p. 415-427. 2011.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L.; Econometria: modelos e previsões. Rio de Janeiro. Elsevier, 2004.

- RAMALHO, H.; SILVEIRA NETO, R. A importância do setor informal na migração rural-urbana: Evidências para o Brasil. **ANPEC**. Salvador, 2010.
- RAMALHO, H.; SILVEIRA NETO, R. A inserção do migrante rural no mercado de trabalho no Brasil: Uma análise empírica da importância dos setores formal e informal. **Estudos Econômicos**. v 42, n. 4, p. 731-771. São Paulo, 2012.
- RAMÍREZ, J.; KRONICK, D.; MASON, A. Rural households in a changing climate. Discussion Paper Series, Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit. n. 6862. 2012.
- RANIS, G.; FEI, J. C. H. A theory of economic development. **The American Economic Review**. 51 (4), 533-565, 1961.
- ROSEGRANT, M.; KOO, J.; CENACCHI, N.; RINGLER, C.; ROBERTSON, R.; FISHER, M.; COX, C.; GARRET, K.; PEREZ, N.; SABBAGH, P. Segurança alimentar em um mundo em crescente processo de escassez de recursos naturais. Research Program on Policies, Institutions and Markets. 2014
- ROY, A. Some Thoughts on the Distribution of Earnings. **Oxford Economic Papers**. p. 135-146. 1951.
- SEO, N. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. **Ecological Economics**. v. 70, p. 825-835.
- STARK, O.; LUCAS, R. Migration, Remittances, and the Family. *Economic Development and Cultural Change*. v. 36 (3), p. 465–481, 1988.
- STOCK, J.; WATSON, M. *Econometria*. São Paulo: Pearson, 2004.
- TACOLI, C. Crisis or Adaptation? Migration and Climate Change in a Context of High Mobility. *Environment and Urbanization*. 2009.
- TODARO, M.. A Model of Labor Migration and Urban Unemployment in Less Developed Countries. **The American Economic Review** 59 (1), 138–148, 1969.
- TORRES, R.; LAPOLA, D.; MARENGO, J.; LOMBARDO, M. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climate Change**. v. 115, p. 597-609. 2012.
- XAVIER, A, XAVIER, T. Cálculo das Anomalias na Pesquisa Climática: Usos e Abusos. **Cadernos Atena**, n. 5. Ceará. 1997.
- WARNER, K.; HAMZA, M.; OLIVER-SMITH, A.; RENAUD, F.; JULCA, A. Climate Change, Environmental Degradation and Migration. *Nat Hazards*, p. 689-715. 2010.
- WOOLDRIDGE, J. *Introdução à econometria*. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

ANEXO

Tabela A1: Resultados das estimativas para os municípios do Brasil.

Variável	Regressão 10	Regressão 11	Regressão 12
<i>Constante</i>	0,5961***	0,6296***	0,6303***
<i>Escola</i>		-0,0934***	-0,0930***
<i>Faixa etária</i>		0,0576***	0,0550***
<i>Salários</i>		-0,0067***	-0,0062***
<i>Irrigação</i>		-0,0040	-0,0041
<i>Temperatura</i>	0,0417***	0,0287***	0,0246
<i>Precipitação</i>	0,0153***	0,0104***	0,0065***
<i>Temp*Agri</i>			0,0083***
<i>Prec*Agri</i>			0,0074***
Teste de Chow	F = 65,86***	F = 32,50***	F = 32,62***
Teste de Hausman	$\chi^2 = 270,62***$	$\chi^2 = 3307,91***$	$\chi^2 = 3689,55***$
Teste de Wald	$\chi^2 = 1,0e+06***$	$\chi^2 = 2,3e+31***$	$\chi^2 = 1,7e+31***$
Teste de Wooldridge	F = 497,91***	F = 377,47***	F = 375,21***
Número de observações	17.690	17.474	17.474
Número de municípios	3.538	3.505	3.505

Nota: (***) indica significância de 1%. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela A2: Variação das taxas de urbanização futuras do Brasil.

	2016-2035		2046-2065	
	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 4,5	RCP 8,5
Brasil				
MIROC5	1,461661	2,220359	4,010996	4,648375
NorESM1-M	-5,497034	-5,271757	-3,134942	-0,513704
MRI-CGCM3	-4,505519	-4,061977	-0,935192	1,596262
Média	-1,081914	-0,507939	1,793753	3,747023

Fonte: Resultados da pesquisa.