

ECOLOGIA

JOÃO PAULO DARELA FILHO

**UM ESTUDO DA VULNERABILIDADE
SOCIOCLIMÁTICA NO BRASIL E NO MUNDO**



Rio Claro
2015

JOÃO PAULO DARELA FILHO

UM ESTUDO DA VULNERABILIDADE SOCIOCLIMÁTICA NO
BRASIL E NO MUNDO

Orientador: DAVID MONTENEGRO LAPOLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -
Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau
de Ecólogo.

Rio Claro
2015

551.6 Darela Filho, João Paulo
D217e Um estudo da vulnerabilidade socioclimática no Brasil e
no mundo / João Paulo Darela Filho. - Rio Claro, 2015
37 f. : il., figs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: David Montenegro Lapola

1. Climatologia. 2. Vulnerabilidade social. 3. Mudanças
climáticas. 4. Capacidade adaptativa. 5. Índices de
vulnerabilidade. 6. CMIP5. I. Título.

AGRADECIMENTO

Agradeço à todas as pessoas que participaram da construção deste trabalho, de alguma forma, durante os meus anos de graduação na UNESP

RESUMO

O Índice de Vulnerabilidade Socioclimática (IVSC) tem como objetivo explicitar espacialmente, numa base comparativa, zonas de ocupação humana que se encontrem mais suscetíveis aos possíveis riscos gerados pelas mudanças climáticas. Para acessar essa vulnerabilidade, o IVSC vale-se da agregação de indicadores de capacidade adaptativa e sensibilidade (Índice de Desenvolvimento Humano; densidade populacional) atuais, a indicadores de intensidade das mudanças climáticas futuras (Índice Regional de Mudanças Climáticas- IRCM). O IVSC pode ser aplicado em qualquer escala espacial, contanto que existam dados em resolução adequada. Conhecer a distribuição espacial da vulnerabilidade é um importante passo estratégico para a elaboração e implantação de medidas que visem o progresso no desenvolvimento humano e a adequação da sociedade para um futuro de mudanças ambientais. Além disso, a produção e comparação de índices de vulnerabilidade às mudanças climáticas é um importante exercício na busca por melhorar, progressivamente, a qualidade da informação fornecida a tomadores de decisão e outras partes interessadas no manejo de medidas visando adaptação às alterações do clima.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Capacidade adaptativa. Índices de vulnerabilidade. CMIP5.

ABSTRACT.

The Socio Climate Vulnerability Index (IVSC, Portuguese acronym) aims to expose spatially and in a comparative basis, human settlement areas that are more susceptible to the potential risks posed by climate change. To access this vulnerability, the IVSC draws on the aggregation of adaptive capacity and sensitivity indicators (Human Development Index and population density) and an indicator of projected climate change (Regional Climate Change Index-IRCM). The IVSC can be applied to any spatial scale, as long as data in reasonable resolution is available. Knowing the spatial distribution of vulnerability is an important strategic step in development and implementation of measures that seeks to improve human development and the preparedness of society for future environmental changes. In addition, the production and comparison climate change vulnerability indexes is an important exercise to improve gradually the quality of information provided to decision makers and stakeholders in the management of measures involving climate change adaptation.

Keywords: Climate Change. Adaptive capacity. Vulnerability Indices. CMIP5.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. OBJETIVOS.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1. Índice de Desenvolvimento Humano – IDH.....	9
3.2. Densidade populacional.....	11
3.3. Índice Regional de Mudanças Climáticas- IRMC.....	12
3.4. Índice de Vulnerabilidade Socioclimática- IVSC.....	13
3.5. Análise dos Resultados.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1. Vulnerabilidade Socioclimática no Brasil.....	17
4.2. Mapas de IVSC para outros países.....	10
4.2.1. <i>Argentina.....</i>	<i>21</i>
4.2.2. <i>Canadá.....</i>	<i>22</i>
4.2.3. <i>Estados Unidos da América.....</i>	<i>23</i>
4.2.4. <i>China.....</i>	<i>24</i>
4.2.5. <i>México.....</i>	<i>24</i>
4.2.6. <i>Rússia.....</i>	<i>35</i>
4.2.7. <i>Índia.....</i>	<i>36</i>
4.2.8. <i>Tanzânia.....</i>	<i>36</i>
4.3. Vulnerabilidade Socioclimática no Mundo.....	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A finalidade do IVSC (Índice de Vulnerabilidade Socioclimática) é explicitar espacialmente as regiões que, em uma base comparativa entre si, apresentam maiores riscos humanos em decorrências das mudanças climáticas. Segundo o capítulo do relatório especial do Painel Intergovernamental sobre a Mudança Climática (IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change*), publicado em 2012, *Managing Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* (CARDONA et al., 2012, p.70), a vulnerabilidade social e a exposição são os fatores chave que, juntamente com padrões climáticos e meteorológicos, determinam o risco de desastres à que estão sujeitas as comunidades numa determinada região. Sob um ponto de vista estratégico a identificação deste tipo de risco é o ponto de partida para a formulação de políticas e para o direcionamento de recursos visando o fortalecimento das comunidades, e da sociedade como um todo, em suas capacidades de lidar com os efeitos adversos gerados por eventos físicos extremos e não extremos, sejam eles meteorológicos ou climáticos. Diante da variabilidade natural do ambiente terrestre somada às alterações sistêmicas induzidas pelas atividades humanas e ao crescimento populacional e de consumo, a capacidade de adaptação as mudanças globais é fundamental para que o progresso alcançado durante o século XX, no que diz respeito à diminuição de desigualdades e melhoria na qualidade de vida das populações humanas, não seja parado ou mesmo revertido de seu rumo atual (UNDP, 2011). O IVSC é fruto da combinação numérica de indicadores sociais relevantes: Índice de Desenvolvimento Humano - IDH, densidade populacional; e da síntese de projeções climáticas geradas por modelos climáticos desenvolvidos no âmbito do CMIP (Coupled Model Inter-comparison Project). Deste modo a formulação do IVSC leva em consideração os fatores chave, descritos pelo IPCC como determinantes no risco de desastres.

Um estudo realizado por Torres et al. (2012) com o IVSC no Brasil explicitou hotspots pronunciados em toda a região nordeste, principalmente em razão do seu baixo IDH, relativa alta concentração populacional e também consideráveis mudanças projetadas para a precipitação na região. Explicitou ainda hotspots pontuais em algumas das grandes zonas metropolitanas do país (Manaus, Belo Horizonte, Salvador, Brasília, São Paulo e Rio de Janeiro), em consequência principalmente dos grandes valores de densidade demográfica destas regiões. Índices de vulnerabilidade

como o IVSC são importantes para garantir o fluxo de informações entre estudiosos do clima, cientistas sociais e tomadores de decisão, uma vez que sintetizam uma grande quantidade de informações climatológicas e sociais de maneira relativamente simples e confiável. Este tipo de comunicação é fundamental para um planejamento adequado na aplicação de esforços visando uma sociedade capaz de resistir e se adaptar as adversidades decorrentes das mudanças climáticas, algo imprescindível para a manutenção do progresso, em termos de desenvolvimento humano, alcançado por diversos países durante as últimas décadas.

Em 2013, o IPCC divulgou o seu 5º Relatório de avaliação sobre mudanças climáticas (IPCC, 2013), apresentando projeções climáticas contendo diversos avanços que propiciam maior confiabilidade em relação ao relatório anterior (IPCC, 2007). Neste mesmo ano o PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) divulgou um novo conjunto de mapas de IDH municipal, baseado em dados do censo do IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, realizado em 2010. Torna-se estratégico, portanto que o IVSC seja atualizado – em relação à sua versão anterior (TORRES et al. 2012) – com esses novos dados em estado-da-arte sobre projeções climáticas e indicadores sociais.

Alguns outros países, assim como o Brasil com o seu IDH municipal, possuem Instituições ou organizações que efetuam o cálculo do IDH para suas unidades administrativas. Apesar da dificuldade de encontrar dados de IDH nacionais, após uma busca, constatei que, Argentina, Canadá, China, Estados Unidos da América, Índia, México, Tanzânia e Rússia possuem dados de IDH para suas unidades administrativas (municípios no México e estados nos demais). Além do cálculo do IVSC para o Brasil e para os outros oito países listados, uma versão do IVSC em escala Global foi calculada. A metodologia empregada na obtenção do IVSC bem como no cumprimento dos outros objetivos deste estudo é explicada nas próximas seções deste documento. Em todos os cálculos os métodos e procedimentos de obtenção de dados empregados não diferem dos métodos utilizados em Torres et al. (2012).

2 OBJETIVOS

Baseando-se no que foi exposto na seção anterior, listo os objetivos deste estudo:

- a. Atualização e análise do Índice de Vulnerabilidade Socioclimática- *IVSC* (Torres et al. 2012) com dados de Índice de Desenvolvimento Humano municipal no Brasil em 2010, dados de densidade demográfica no Brasil referentes ao ano de 2010; e novas projeções climáticas publicadas pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) em 2013.
- b. Análise comparativa entre as duas versões do *IVSC* calculadas no Brasil
- c. Cálculo do *IVSC* para Argentina, Canadá, China, Estados Unidos da América, Índia, México, Tanzânia e Rússia
- d. Cálculo do *IVSC* em escala global.
- e. Análise dos dados obtidos e identificação das áreas com maiores valores de *IVSC* no Brasil e no mundo, bem como discussão dos fatores que influenciam a vulnerabilidade as mudanças climáticas nestas áreas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho em questão consistiu, inicialmente, na coleta de planilhas contendo os dados referentes ao IDH, tanto para unidades administrativas dos países listados quanto para o IDH Global (Em escala nacional) para 187 países. Em seguida foram obtidos os mapas de IDH com resolução de 5 minutos de lat./long. que foram então utilizados, juntamente com os dados do Índice Regional de Mudança Climática-IRMC (TORRES e MARENGO, 2014; GIORGI, 2006) e densidade populacional (GOLDEWIJK; BEUSEN; JANSSEN, 2010) na realização do IVSC global, da atualização do IVSC no Brasil e cálculo de IVSC para Argentina, Canadá, China, Estados Unidos da América, Índia, México, Tanzânia e Rússia. Todos os mapas resultantes possuem resolução de 1°X 1° de latitude/longitude; esta resolução espacial é restringida pela resolução do Mapa de IRMC. É válido lembrar que Giorgi (2006) realizou o cálculo do IRMC em escala global, porém, para este cálculo o globo foi subdividido em grandes regiões, fato que, como discutido em Torres et al. (2012), mascarou a heterogeneidade espacial, em termos de mudanças climáticas projetadas. Para o cálculo do IRMC em formato de grade retangular, na sua primeira versão Torres et al. 2012, utilizaram dados climáticos gerados por modelos do CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Phase 3 – refere-se aos modelos climáticos apresentados por IPCC (2007)). Torres e Marengo (2014) calcularam o IRMC a partir de dados de modelos climáticos do CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Phase 5 – refere-se aos modelos climáticos apresentados por IPCC (2013)). Ambas as versões do IRMC, tanto a versão de Torres et al. (2012), doravante mencionada como IRMC-CMIP3 quanto a versão de Torres e Marengo (2014), doravante mencionada como IRMC-CMIP5, possuem resolução de 1°X 1° de lat./long. A metodologia de cálculo do IRMC é melhor explicada na seção 3.3.

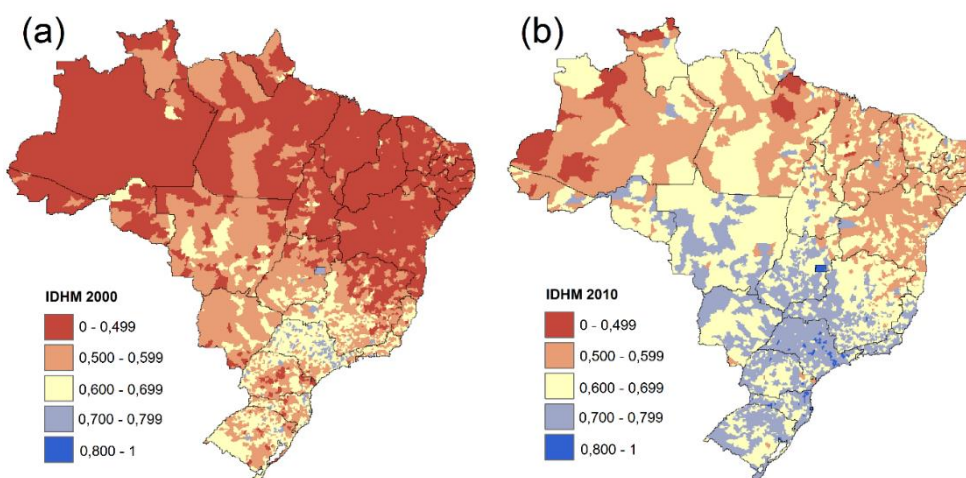
3.1 Índice de Desenvolvimento Humano -IDH

O Índice de Desenvolvimento Humano é uma medida que agrega indicadores da qualidade do desenvolvimento humano em nível nacional para mais de 180 países no mundo bem como para as divisões administrativas dentro de diversos países (Figura 1- IDH municipal no Brasil). As dimensões acessadas e agregadas no IDH são (i) uma vida longa e saudável; (ii) acesso à educação de qualidade e (iii) padrão de vida (renda). Estas dimensões são incorporadas ao IDH através do uso de variáveis

coletadas em censos demográficos organizados em cada nação. O IDH entra no cálculo do IVSC pois é um índice que agrega, três importantes fatores que tem influência sobre a capacidade adaptativa genérica das populações humanas (EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014). Capacidade adaptativa genérica é definida como: a capacidade, de adaptar-se a mudanças sistêmicas, essa capacidade é originada pelo estado real de desenvolvimento humano da região em questão, ou seja, uma população que tem acesso a um bom sistema de saúde, acesso à educação de qualidade e um padrão de vida decente possui mais condições de se adaptar e/ou resistir às perturbações geradas por eventos naturais do que uma população que não possui o mesmo grau de desenvolvimento humano.

O IDH não possui indicadores diretos de capacidade adaptativa em sua dimensão específica, ou seja, não acessa diretamente as capacidades das pessoas de se antecipar a riscos climáticos em sua vida cotidiana (EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014). Esta dimensão da capacidade adaptativa é espacialmente heterogênea e fundamental para na identificação de vulnerabilidade social as mudanças globais com maior precisão e sua inclusão no cálculo do IVSC deve ser investigada em trabalhos futuros. Ademais, o IDH é calculado em níveis de unidades administrativas (e.g. países, estados e municípios), o que por sua vez, mascara as desigualdades de desenvolvimento humano internas a estas unidades. Além disso, de uma forma geral, o IDH não agrega informações referentes a outros aspectos relacionados com o desenvolvimento humano, como a qualidade da democracia e a liberdade de expressão, entre outros. Apesar disso, os indicadores que compõe IDH são classificados como boas medidas de estimação da capacidade adaptativa (ADGER, 1999; FÜSSEL & KLEIN, 2006; ERIKSEN & KELLY, 2007; EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014) e por isso, se enquadram nos propósitos de formulação do IVSC. Outros fatores positivos que contribuem para a escolha do IDH como indicador de capacidade adaptativa são a robustez dos dados, que são originados em censos demográficos, e transparência e simplicidade no método de cálculo. Os mapas de IDH Global e para outros países são apresentados juntamente com os resultados

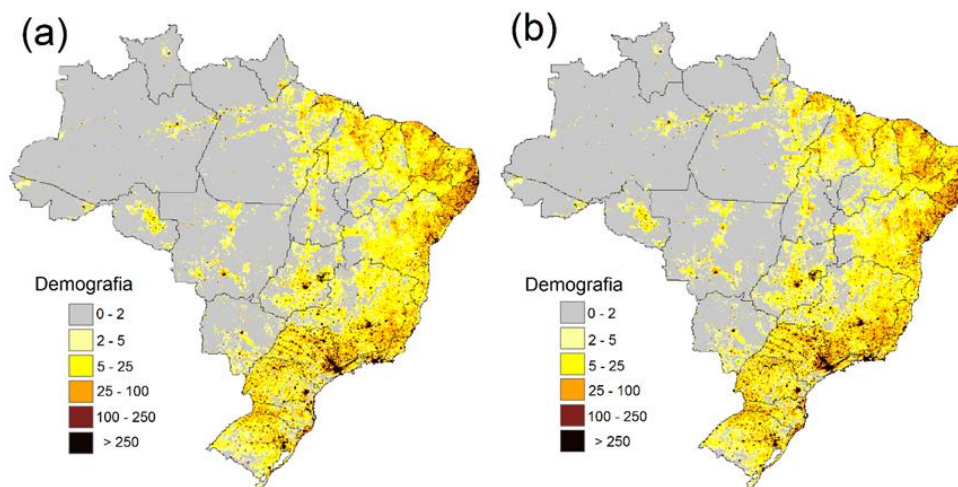
Figura 1 (a) IDHM- 2000; (b) IDHM- 2010. Ambos em resolução de 5 minutos de latitude /longitude. As faixas de IDHM apresentadas são correspondentes àquelas publicadas no Atlas Brasil 2013.



3.2 Densidade Populacional

O mapa de densidade populacional utilizado em todos os cálculos neste estudo possui uma resolução espacial de 5 minutos de arco, cobrindo todo o globo, sendo uma projeção, ou seja, uma estimativa da população no ano de 2010 (medida em habitantes/km²/pixel). Torres et al. (2012) utilizaram um mapa de mesma origem, porém com dados referentes ao ano 2000, para o cálculo da primeira versão do IVSC no Brasil. A densidade populacional indica a localização geográfica das populações humanas, bem como é indicadora de atributos que tem relação direta com a exposição a fatores estressantes de origens climáticas e meteorológicas, ou seja, além de explicitar geograficamente as populações humanas, a densidade populacional é entendida neste estudo como indicadora de sensibilidade das populações em regiões densamente povoadas e de grande desigualdade social, como é o caso de um grande número de áreas metropolitanas em países menos desenvolvidos. Grandes aglomerações humanas estão em maior exposição a eventos extremos como inundações e secas bem como epidemias e escassez de recursos, situações que são exacerbadas em situações de baixo desenvolvimento humano (EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014; PATZ et al., 2010).

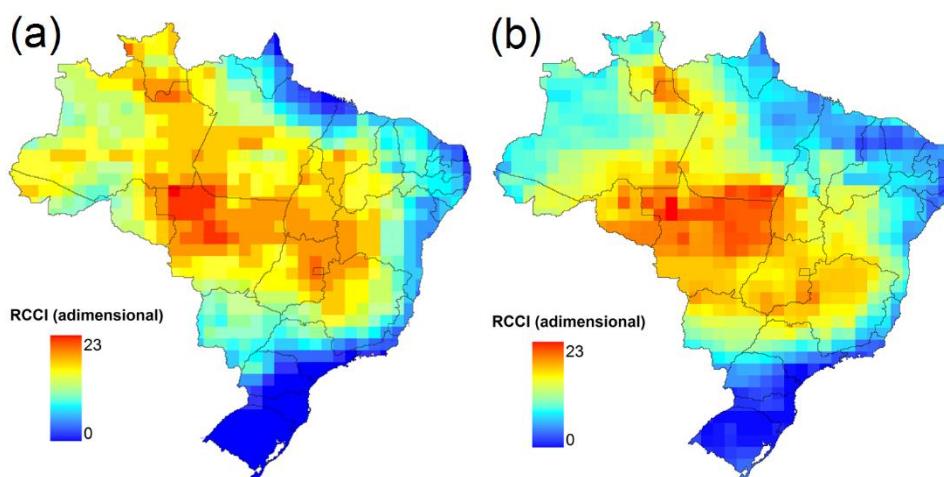
Figura 2 Densidade populacional no Brasil em (a) 2000 e (b) 2010.



3.3 Índice Regional de Mudanças Climáticas- IRMC

O Índice Regional de Mudanças Climáticas - IRMC (Regional Climate Change Index-RCCI) é um índice qualitativo que sintetiza uma enorme quantidade de dados oriundos de projeções climáticas de maneira clara e confiável evidenciando as regiões onde as alterações climáticas (mudanças no padrão de temperaturas e precipitação) serão mais pronunciadas, numa base relativa dentro de um território limitado (Figura 3).

Figura 3 (a) IRMC-CMIP3 utilizado por Torres et al. 2012. (b) IRMC-CMIP5



Tal índice se baseia em quatro variáveis climáticas que são relevantes em caso de alteração climática. As variáveis são: alteração de temperatura média na superfície da região relativamente à alteração média global de temperatura ou regional warming amplification factor (RWAF, adimensional), alteração na média regional de

precipitação (ΔP , % do valor simulado) e alterações na variabilidade interanual de precipitação ($\Delta\sigma_P$, % do valor simulado) e temperatura ($\Delta\sigma_T$, % do valor simulado).

Os valores em porcentagem são referentes a diferença entre as variáveis simuladas para o período de 1969-1990 e as variáveis projetadas para o período de 2071-2100. O IRMC é calculado para o verão Austral (DJF) e para o inverno Austral (JJA), com dados provenientes de um conjunto de 24 modelos do CMIP5, totalizando mais de 230 rodadas entre simulações e projeções. O IRMC é definido pela equação:

$$\text{IRMC} = \left(n(\text{RWF}) + n(\Delta P) + n(\Delta\sigma_P) + n(\Delta\sigma_T) \right)_{\text{JJA}} + \left(n(\text{RWF}) + n(\Delta P) + n(\Delta\sigma_P) + n(\Delta\sigma_T) \right)_{\text{DJF}}$$

Onde n é um fator empírico associado a intensidade da mudança na variável em questão na Tabela 1.

Tabela 1- Valores assumidos pela variável empírica (n) no cálculo do IRMC

n	ΔP (%)	$\Delta\sigma_P$ (%)	RWAF (°C)	$\Delta\sigma_T$ (%)
0	< 5	< 5	< 1.1	< 5
1	5–10	5–10	1.1–1.3	5–10
2	10–15	10–20	1.3–1.5	10–15
4	>15	>20	>1.5	>15

A formulação do IRMC implica que regiões onde são projetadas maiores mudanças relacionadas às variáveis recebem maior peso (maior valor de n) enquanto que pequenas mudanças não são consideradas no cálculo ($n = 0$) (GIORGI 2006). O cálculo do IRMC segue a ordem: (1) a mudança de cada variável é calculada para cada simulação (modelo), (2) se há mais de uma simulação por modelo, a média das simulações é calculada, (3) os resultados são interpolados para a resolução de 1 grau, (4) a média para os diferentes modelos é calculada e (5) a média entre os diferentes cenários é calculada (TORRES e MARENGO, 2014). Devido a sua natureza comparativa, baixos valores de IRMC, de modo algum, indicam ausência de alterações climáticas. Indicam sim, que estas áreas apenas sofrerão menores alterações projetadas em relação a outras áreas (TORRES et al. 2012).

3.4 Índice de Vulnerabilidade Socioclimática- IVSC

Define-se vulnerabilidade neste estudo como uma predisposição ou propensão para ser adversamente afetado, de maneira que esta predisposição constitua uma

característica interna ao elemento afetado. A vulnerabilidade descreve um conjunto de condições de uma população que derivam dos contextos cultural, social, ambiental, político e econômico, predominantes e históricos (CARDONA et al., 2012). Neste sentido, o risco a que as populações estão expostas não deriva apenas das alterações climáticas, mas também da sua organização social e padrão de acesso a recursos.

O IVSC agrega informações sobre a intensidade de alteração climática em uma região (IRMC) a indicadores sociais (IDH e densidade populacional), que têm influência sobre a capacidade adaptativa e sensibilidade do sistema analisado (populações humanas) (Torres et al. 2012). O cálculo de IVSC segue os seguintes passos: (1) o recíproco (inverso multiplicativo) do IDH Global e dos IDH regionais dos oito países selecionados, mais o do Brasil são calculados. Esse passo é importante pois faz com que o IDH se torne uma medida da falta de capacidade adaptativa, ou seja, maiores valores do inverso do IDH indicam menor capacidade adaptativa. Se não invertido, no procedimento de cálculo do IVSC, o IDH cancelaria os valores de densidade populacional, uma vez que altos valores de IDH indicam maior capacidade adaptativa. (2) os mapas do inverso do IDH e de densidade populacional são interpolados para a resolução de 1 grau (a mesma resolução do mapa de IRMC); (3) os mapas de inverso do IDH e densidade populacional são normalizados, ou seja, os valores serão transformados para uma escala que varia entre 0 e 1. (4) finalmente o IVSC é calculado tomando-se o produto da média geométrica dos indicadores sociais normalizados (F_i) e o valor do IRMC, seguindo a equação:

$$IVSC = IRMC * \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n F_i}$$

O cálculo do IVSC é realizado pixel a pixel em uma grade retangular com resolução de 1° x 1° de latitude/longitude, tanto para a versão global, como para o cálculo do IVSC nos países com dados disponíveis (Brasil, Argentina, Canadá, China, EUA, Índia, México, Rússia e Tanzânia). A interpolação dos dados de densidade populacional e IDH da resolução de 5 minutos de arco para 1 grau é realizada pela ferramenta *neighborhood Block Statistics*. Os cálculos de IVSC são efetuados com a ferramenta, *Raster Calculator*, ambas componentes do software *Spatial Analyst Tools* (ArcGIS®). Em virtude de sua formulação, os maiores valores do IVSC serão

encontrados onde os valores de IRMC e densidade populacional forem altos, e onde os valores de IDH forem baixos.

3.5 Análise dos resultados

Inicialmente são comparadas as duas versões do IVSC no Brasil, aquela calculada por Torres et al. (2012), doravante referida como IVSC-1, e a versão obtida através da utilização de dados mais recentes, tanto em termos de indicadores sociais como em termos de projeções de mudanças climáticas. Esta nova versão será referida no texto, daqui por diante, como IVSC-2. Esta comparação se dá por meio de cálculos simples em uma base de pixel a pixel. Através do cruzamento de inputs no cálculo do IVSC, busco identificar a origem das diferenças entre IVSC-1 e IVSC-2. Este cruzamento de inputs é realizado da seguinte maneira: (i) o IVSC é calculado com os dados climáticos (IRMC-CMIP3) utilizados por Torres et al. (2012) e com os indicadores sociais atualizados (2010), utilizados na versão mais recente do IVSC (IVSC-2). Gerando um mapa, nomeado como VC (Versão Comparativa) que possa ser comparado ao IVSC-1 levando-se em consideração apenas a alteração de indicadores sociais entre 2000 e 2010 mantendo a mesma versão dos dados climáticos. (ii) São extraídos os mapas de desvio padrão e diferença em porcentagem entre IVSC 1 e VC, e (iii) são extraídos os mapas de desvio padrão de diferença em porcentagem entre IVSC-1 e IVSC-2. Em seguida são apresentados os resultados do IVSC para, os oito países listados na introdução, bem como breves análises dos fatores influentes na vulnerabilidade socioclimática em cada um destes países

Na parte final é apresentada a Versão do IVSC em escala global. Propomos uma análise exploratória dos dados, buscando diferenciar cada país por seus valores médios de IRMC, densidade populacional e o valor de IDH. Utilizei um processo de ordenação (PCA- *Principal Component Analysis*) sobre a matriz contendo todos os países (linhas) e os seus respectivos valores para as variáveis (colunas) que o compõe o IVSC: Índice de Desenvolvimento Humano Global 2013- IDHG-2013, média de densidade populacional e média de IRMC. Este procedimento não tem o intuito de gerar um teste de hipóteses, é apenas uma maneira de acessar a ordenação dos países segundo as três variáveis que compõe o IVSC. Para extrair a média de IRMC e densidade populacional utilizamos o mesmo Shapefile onde foi construído o mapa de IDHG global. Para cada uma das variáveis, o valor de todos os pixels pertencentes ao território, ou país, em questão foram somados e depois divididos pela contagem

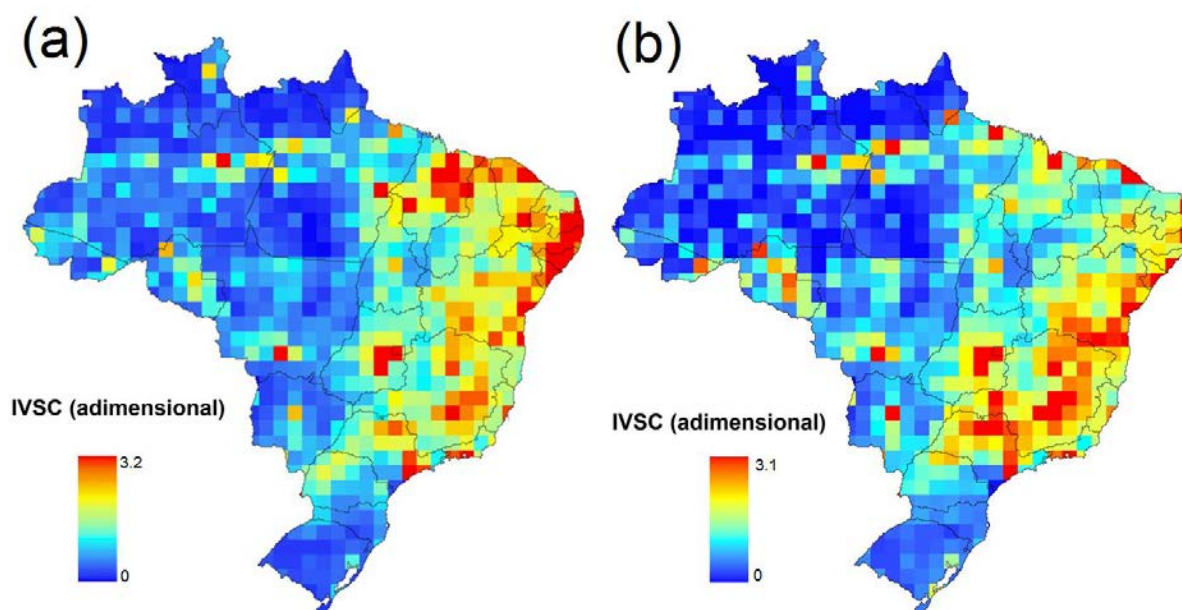
de pixels (média aritmética). Os dados então foram organizados numa planilha contendo algumas variáveis categóricas (e.g. Continente, grupo de renda, região geográfica, etc.) e outras variáveis contínuas que tem relação direta com a capacidade adaptativa genérica de uma população (EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014): (1) acesso a água e (2) energia (ambos em % da população), (3) consumo de energia (kW/h *per capita*), (4) percepção de corrupção (Corruption Perceptions Index- CPI) e (5) Refugiados (pessoas por país de origem). As variáveis 1, 2, 3 e 5 foram coletadas em World Bank, 2015. A variável 4, CPI, pode ser encontrada em TRANSPARENCY INTERNATIONAL, 2014. Todas as cinco variáveis listadas apresentam extenso uso em pesquisas no âmbito das ciências sociais e econômicas. A partir da planilha de dados foram construídas duas outras matrizes, Matriz 1, contendo as cinco variáveis listadas e Matriz 2, contendo as variáveis: IDHG-2013, densidade populacional-2010 e média de IVSC para cada país. Esse procedimento forneceu duas matrizes que foram então utilizadas em uma análise de correlação de matrizes (Teste de Procrustes). Nossa intenção é saber se as variáveis da Matriz 1 (indicadores de capacidade adaptativa) tem correlação com as Matriz 2 que contém as variáveis que compõe a dimensão social do IVSC (densidade populacional, desenvolvimento humano e vulnerabilidade socioclimática) e assim mensurar a eficácia das variáveis utilizadas no IVSC com o intuito de captar a capacidade adaptativa e sensibilidade. As análises descritas nesta seção foram realizadas com ferramentas do R-Environment (R CORE TEAM, 2015) e Spatial Analyst Tools (ArcGIS®).

4 RESULTADOS

4.1 Vulnerabilidade Socioclimática no Brasil

O estudo com o IVSC realizado por Torres et al. (2012) explicitou hotspots pronunciados em toda a região nordeste, principalmente em razão do seu baixo desenvolvimento humano, relativamente alta concentração populacional e também consideráveis mudanças projetadas para a precipitação na região. Explicitou ainda hotspots pontuais em algumas das grandes zonas metropolitanas do país (Manaus, Belo Horizonte, Salvador, Brasília, São Paulo e Rio de Janeiro), em consequência principalmente da alta densidade demográfica destas regiões. Como mencionado anteriormente, para calcular o IVSC-1, Torres et al. (2012) utilizaram indicadores sociais referentes ao ano 2000 e projeções climáticas pertencentes ao CMIP3. No cálculo do IVSC-2, foram utilizados indicadores sociais referentes ao ano de 2010 e projeções climáticas do CMIP5. No IVSC-2 os maiores valores são encontrados no estado de Minas Gerais, norte de São Paulo, Sul e Sudeste da Bahia, nordeste do Brasil e em diversas regiões metropolitanas por todo o território nacional. Numa análise comparativa entre o IVSC publicado por Torres et al. (2012) e o IVSC atualizado neste projeto (Figura 4) é possível notar que grandes áreas do nordeste brasileiro deixaram de apresentar altos valores para o IVSC.

Figura 4- (a) IVSC-1 apresentado em Torres et al., 2012. (b) IVSC-2 atualizado neste estudo.

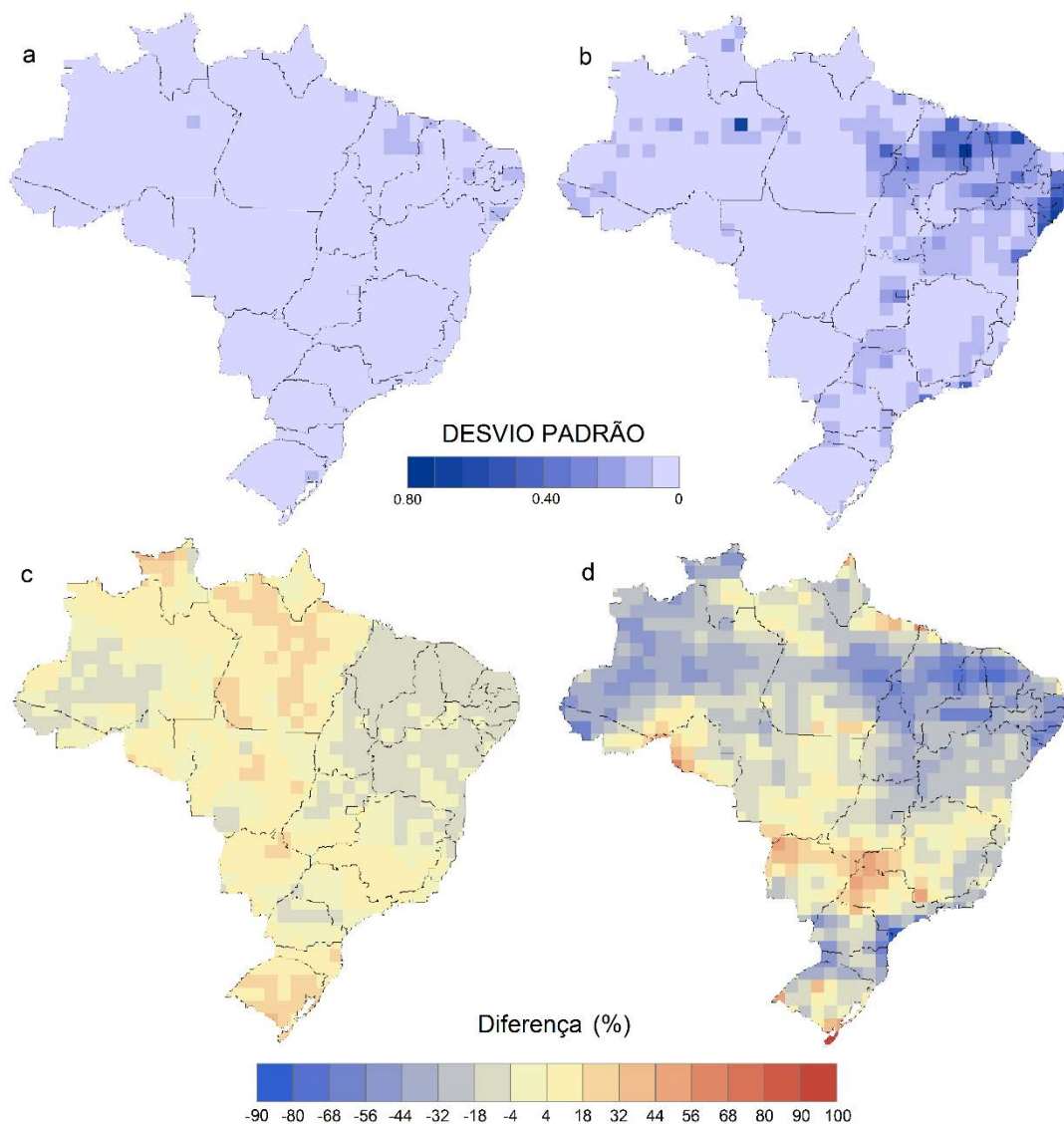


As diferenças observadas entre IVSC-1 e IVSC-2 na Figura 4 são importantes. Uma vez que a principal finalidade de índices como o IVSC é fornecer informações que possam ser utilizadas em estratégias de adaptação às mudanças climáticas,

variações drásticas como as observadas no Nordeste do Brasil podem fazer com que tomadores de decisão e partes interessadas percam a confiança nestes índices, intensificando as dificuldades na troca de informações entre a academia e a classe política. Por outro lado, tais diferenças entre as versões do IVSC podem ter origem em alterações na vulnerabilidade social, originadas por políticas e intervenções visando adaptação a mudanças climáticas e/ou diminuição da desigualdade social. O IVSC pode ser uma importante ferramenta na identificação dos efeitos de políticas de adaptação. Medindo a efetividade destas políticas e fornecendo informações valiosas na melhoria progressiva destas políticas e intervenções em um cenário de grandes incertezas em relação as mudanças do clima.

A análise comparativa entre as duas versões do IVSC no Brasil, mostrou que a principal causa da discrepância observada foi a diferença entre o IRMC-CMIP3 e o RCCI-CMIP5. As alterações nos indicadores sociais entre 2000 e 2010 foram menos influentes. De fato, apesar de as alterações no IDH municipal entre 2000 e 2010 serem observáveis, a baixa influência desta variável nas diferenças entre as versões do IVSC pode ser um indicativo de que as melhorias sociais alcançadas na última década sejam ineficientes em diminuir a vulnerabilidade socioclimática de populações humanas na eminência das alterações climáticas. A Figura 5 apresenta os resultados da análise comparativa entre IVSC-1 e IVSC-2. Como explicitado na seção 3.5, uma versão auxiliar (VC) do IVSC foi calculada cruzando-se o RCCI-CMIP3 e indicadores sociais referentes a 2010. Esta versão foi então comparada com o IVSC-1, para esta comparação, inicialmente foi extraído o desvio padrão entre os mapas. Em seguida a diferença em porcentagem entre os mapas foi calculada. Todos os cálculos foram realizados numa base pixel a pixel. Os resultados deste procedimento são os mapas apresentados na Figura 5-a Figura 5-c respectivamente. O mesmo procedimento foi aplicado aos mapas de IVSC-1 e IVSC-2 e são apresentados na Figura 5-b e 5-d respectivamente. Os baixos valores para o desvio padrão no mapa da Figura 5-a e baixos valores para a diferença em porcentagem no mapa da Figura 5-c demonstram a baixa influência das alterações nos os indicadores sociais entre as duas versões do IVSC. Por outro lado, os mapas da Figura 5-b e 5-d mostram a variação real entre IVSC-1 e IVSC-2, levando a conclusão de que as discordâncias observadas são fruto das diferenças entre as versões do IRMC.

Figura 5- (a) Desvio padrão entre VC (Versão Comparativa) e IVSC-1. (b) Desvio padrão entre IVSC-1 e IVSC-2. (c) Diferenças em Porcentagem entre VC e IVSC-1. (d) Diferenças em porcentagem entre IVSC-1 e IVSC-2.



Uma análise dos valores médios de IVSC atualizado, IRMC-CMIP5, e indicadores sociais em nível Macrorregional é apresentada na Tabela 2. Nesta atualização a região Sudeste aparece apresentando maior valor médio de IVSC, devido principalmente a valores moderados de IRMC e a grande densidade populacional. A região NE tem o segundo maior valor de IVSC, apesar de possuir um valor de IRMC de moderado a baixo o NE apresenta os menores valores médios para o IDH municipal de todas as regiões e ainda conta com uma densidade populacional relativamente alta. O terceiro e o quarto maiores valores de IVSC ficam com o Centro-Oeste (CO) e Norte (N), respectivamente, que apresentam de moderados a altos valores médios de IRMC, mas possuem baixa densidade populacional. O CO é a

região com valor médio de RCCI mais alto do Brasil. O Sul (S) aparece na última posição em respeito ao IVSC, o que não deve ser considerado como ausência de vulnerabilidade e sim, apenas que esta região apresenta menor vulnerabilidade socioclimática em relação às outras regiões do Brasil.

Assim como na versão de Torres et al. (2012) o mapa de IVSC atualizado apresentou altos valores cobrindo diversas regiões metropolitanas por todo o território nacional com destaque para Belo Horizonte (IVSC= 3.1), Brasília (2,4), Salvador (2,3), Cuiabá (1,7), Belém (1,7), Rio de Janeiro (1,4) e São Paulo (1,2). De modo geral, nesta atualização, todas as grandes regiões metropolitanas apresentaram valores de moderados a altos de IVSC com exceção das regiões metropolitanas de Porto Alegre - RS, Boa Vista - RR, Palmas -TO e Florianópolis - SC.

Tabela 2- Médias regionais para IVSC (adimensional), IRMC (adimensional), IDHM (adimensional) e demografia (densidade populacional medida em habitantes por quilometro quadrado por célula de grade). Valores referentes aos dados utilizados no computo do IVSC-2. Entre parênteses figuram os valores utilizados no cálculo do IVSC-1

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
IVSC	0.24(0.32)	0.60(0.94)	0.39(0.41)	0.76(0.77)	0.23(0.28)
IRMC	11.83(15.99)	8.59(13.01)	16.06(17.71)	11.29(12.86)	3.38(4.81)
IDHM	0.608(0.443)	0.590(0.422)	0.690(0.551)	0.698(0.589)	0,714(0.603)
Demografia	4(3.82)	37.21(33,48)	8.04(7.52)	89.92(80.45)	50.20(45.18)

4.2 Mapas de IVSC para outros países

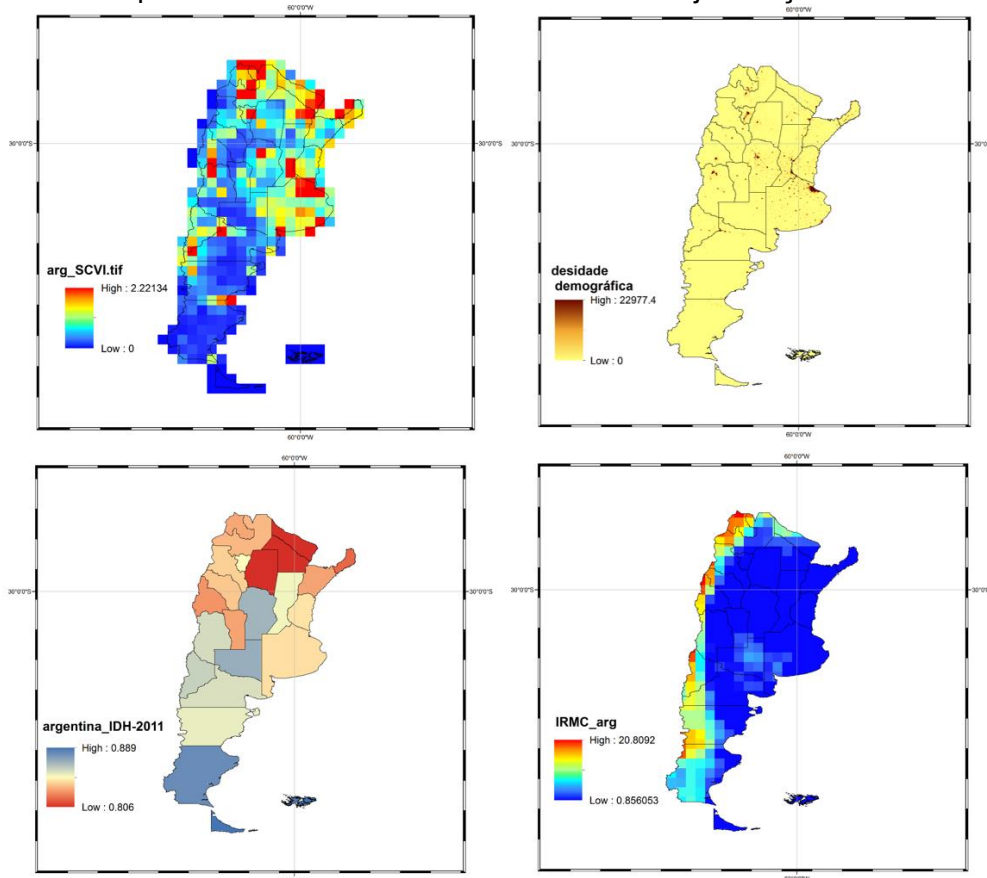
Como mencionado nas seções anteriores o IVSC foi calculado para 8 países: Argentina, Canadá, China, Estados Unidos da América, Índia, México, Rússia e Tanzânia, com a utilização de dados de IDH mais refinados. Para o México os dados de IDH encontram-se em escala municipal, para o restante dos países a escala do IDH é estadual. O cálculo do IVSC em escalas mais refinadas de IDH permite identificar diferenças internas na vulnerabilidade socioclimática devidas a heterogeneidade entre as unidades administrativas de cada um dos países, quanto ao seu desenvolvimento humano. Esta seção apresenta uma breve análise dos resultados do IVSC bem como os mapas gerados durante o cálculo para cada um dos oito países listados. O cálculo do IVSC para os países revela que, numa comparação minuciosa do IVSC de cada país com o IVSC Global (veja a Figura 14), a precisão na identificação de hotspots socioclimáticos aumenta de maneira perceptível em todos os países. Apesar disso, a comparação entre IVSC País *versus* IVSC País não é

permitida, uma vez que os métodos de cálculo de IDH em escalas de estados e municípios diferem de um país para o outro. Este fato levanta uma questão importante quanto a liberdade de cálculo de IDH em cada país. Se por um lado a liberdade atual permite uma melhor adaptação deste índice para a região onde é aplicado, por outro lado isto inviabiliza a comparação entre países e impede que a capacidade adaptativa captada pelo IDH seja acessada em uma escala mais refinada numa comparação global.

4.2.1 Argentina

O IRMC na Argentina (Figura 6) apresenta um padrão de valores mais altos na faixa que percorre todo o extremo oeste do país. Por outro lado, os maiores valores de IVSC encontram-se distribuídos nas zonas de maior densidade populacional, na porção norte do país, da mesma maneira que as Províncias com valores mais baixos de IDH encontram-se na metade norte do país. O padrão de distribuição de do IVSC na Argentina revela a dimensão humana não captada pelo IRMC neste país. É desta

Figura 6- IVSC para a Argentina (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.

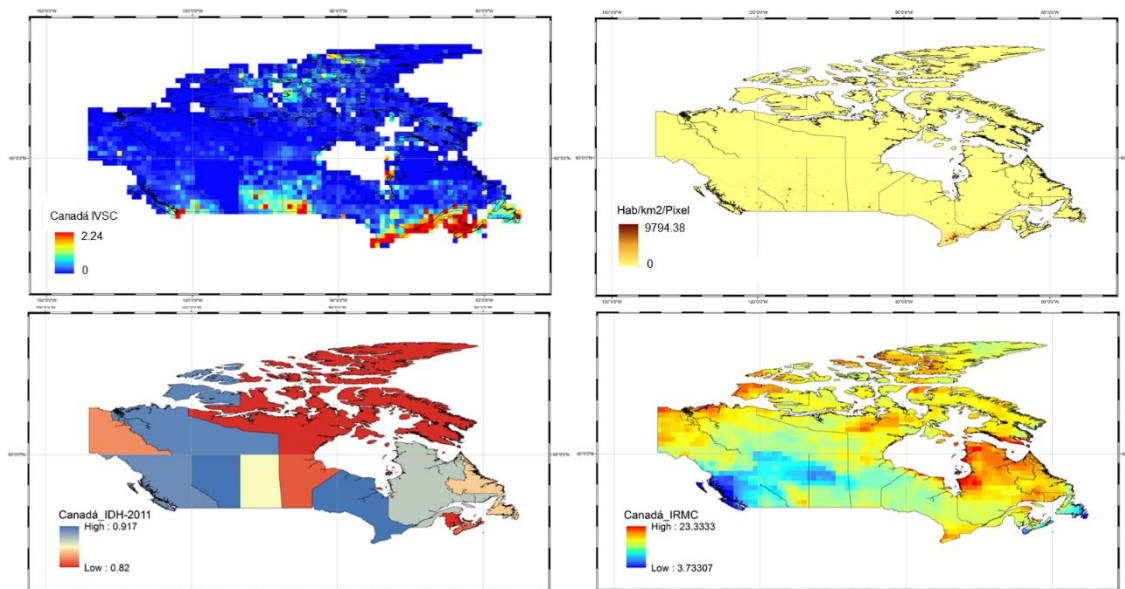


maneira que o IVSC pode servir como importante instrumento na identificação de hotspots socioclimáticos em nível nacional.

4.2.2 Canadá

O IVSC no Canadá (figura 7) apresenta seus maiores valores na região sudeste do país, na Faixa que se estende dos grandes lagos acompanhando o Rio Niágara e o Rio St. Laurence até as Ilhas da Nova Escócia na costa Atlântica do Canadá; devidos principalmente a altos valores relativos de IRCM e densidade populacional. Outro hotspot socioclimático do Canadá se encontra no sul dos estados de Saskatchewan e Manitoba, os altos valores de IVSC nestes estados se devem principalmente ao IDH

Figura 7- IVSC para a Canadá (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.

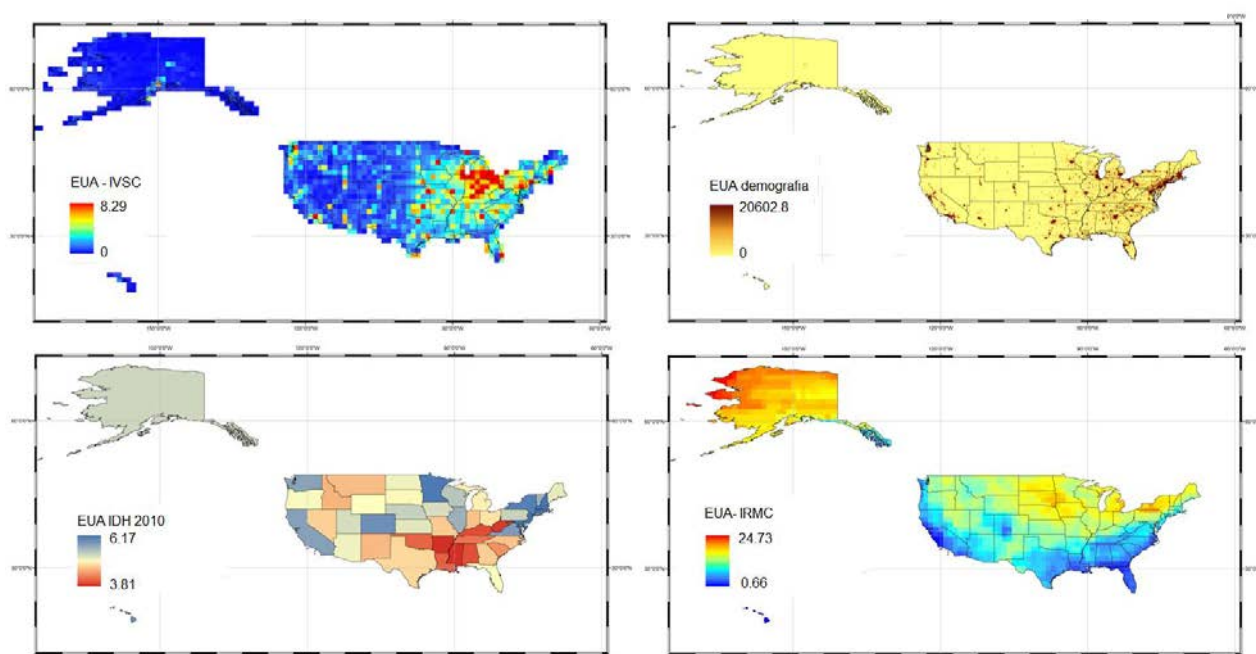


relativamente baixo e a alta densidade populacional. Algumas zonas mais povoadas nos estados de Nunavut e Columbia Britânica também apresentam altos valores de IVSC, na Columbia Britânica, devido a densidade populacional e em Nunavut devido ao baixo IDH e altos valores de IRCM.

4.2.3 Estados Unidos da América

Nos EUA emerge como principal hotspot socioclimático, na porção leste do país, a região onde se situam os estados de Wisconsin, Illinois, Michigan, Indiana e Ohio (Figura 8). Esta é uma região altamente desenvolvida mas apresenta grande densidade populacional valores de IDH relativamente baixos para os EUA e possui altos valores de IRMC. Os EUA também possuem vários hotspots socioclimáticos em regiões densamente povoadas por todo o país.

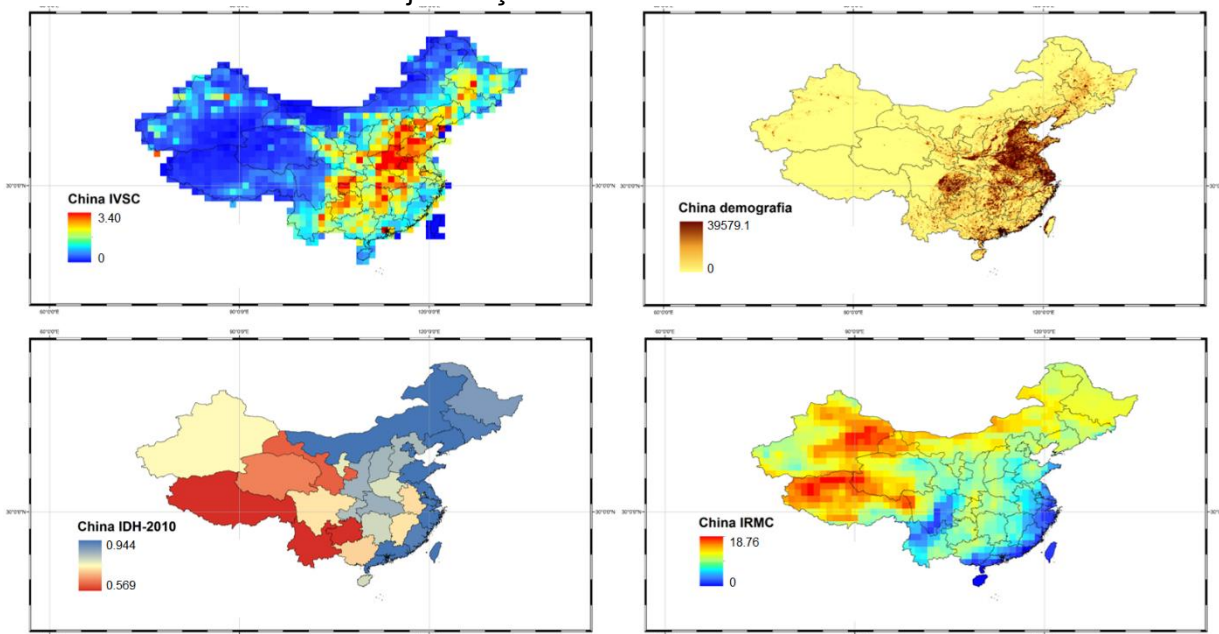
Figura 8- IVSC para os EUA (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.



4.2.4 China

A China (Figura 9) apresenta um grande hotspot socioclimático na porção leste do seu território. Esta porção territorial é densamente povoada, e apesar de os seus estados possuírem maior desenvolvimento humano que a porção oeste do país e também, de forma geral apresentar menores valores de IRMC, a densidade populacional faz com que esta região emergja como hotspot socioclimático.

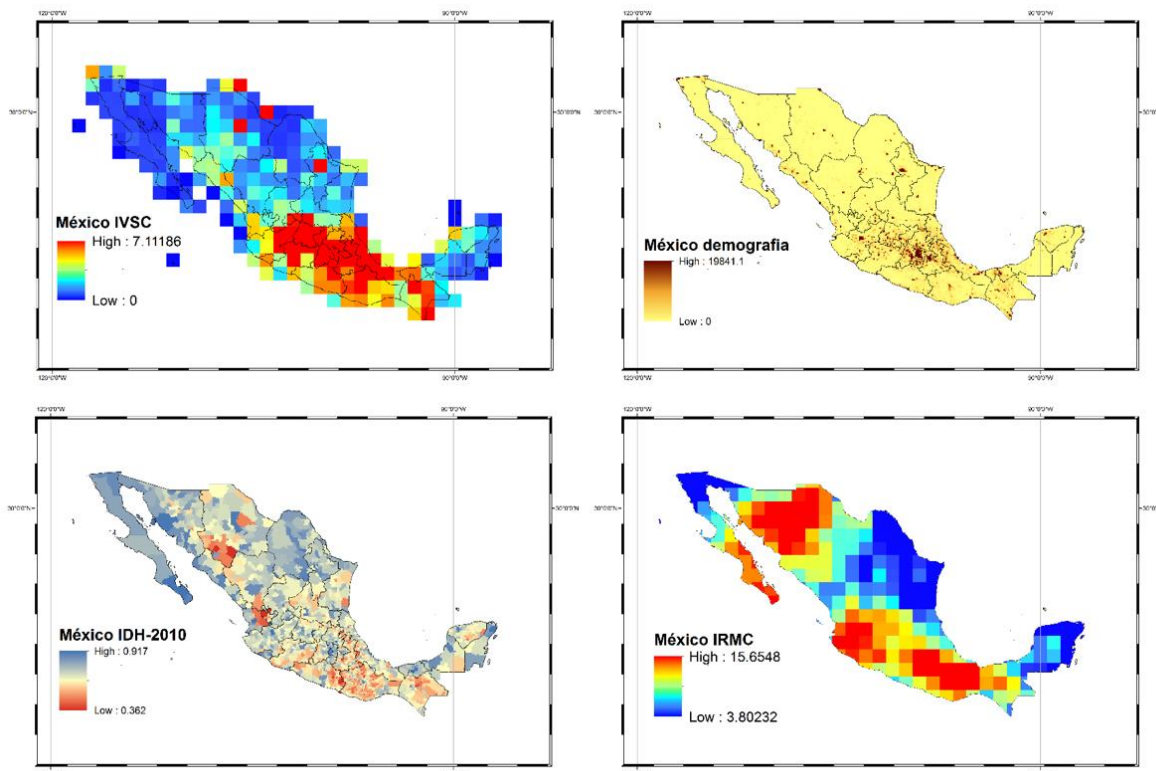
Figura 9- IVSC para a China (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.



4.2.5 México

O México (Figura 10) apresenta uma grande zona de hotspot socioclimático na porção centro-sul do país, que se estende desde o estado de Zacatecas ao norte até o estado de Chiapas ao Sul, passando pelo Distrito Federal e Cidade do México. Este hotspot é devido aos altos valores de IRMC da região, associados a alta densidade populacional e baixo desenvolvimento humano. Outras áreas densamente povoadas no norte mexicano também despontam como hotspots socioclimáticos.

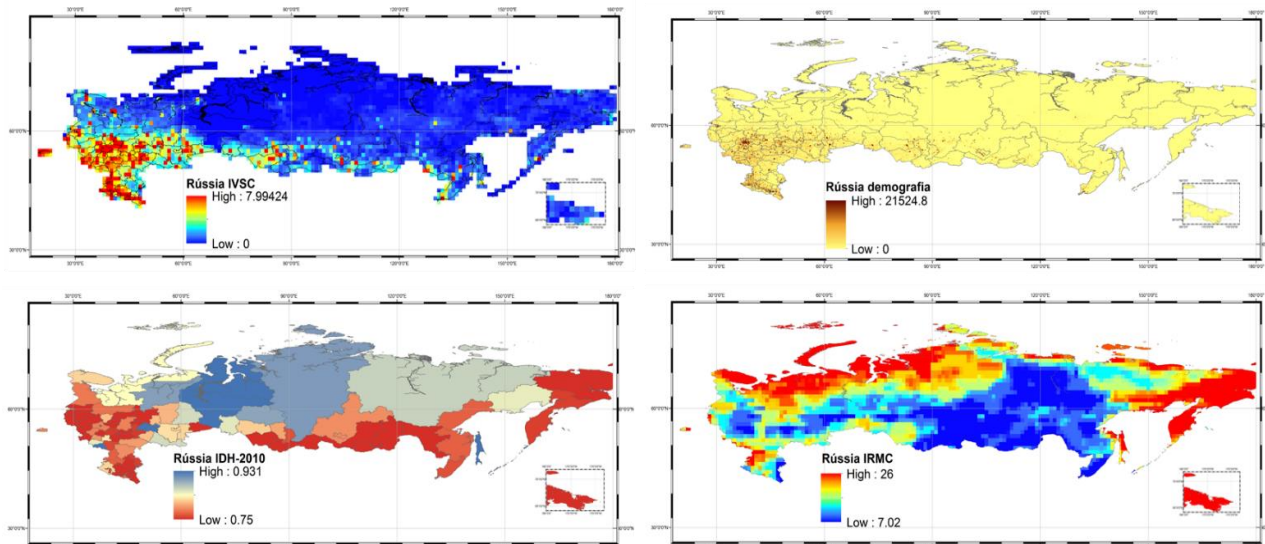
Figura 10- IVSC para o México (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.



4.2.6 Rússia

A parte europeia da Rússia (Figura 11) concentra grande parte da população russa, e é onde emerge um grande hotspot socioclimático neste país, apesar de os hotspots *climáticos* concentrarem –se ao norte na Rússia europeia e no Norte e extremo Leste da Rússia asiática, a região que se estende do entorno de Moscou ao

Figura 11- IVSC para a Rússia (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.

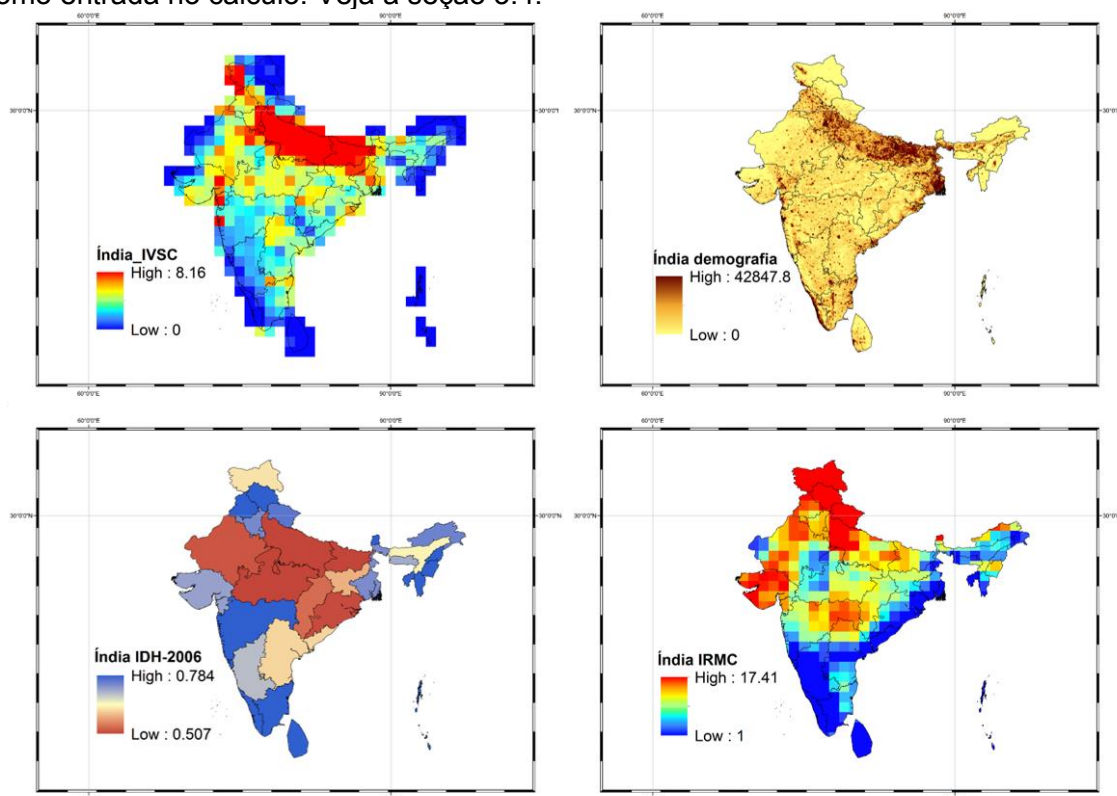


extremo sul da Rússia europeia possui baixo desenvolvimento humano e alta densidade populacional. O estado de Kalingrado também possui um alto valor de IVSC, devido ao alto valor de IRMC, alta densidade populacional e relativamente baixo desenvolvimento humano. Nos estados de Novosibirsk, Altaysk, e Kemerovsk há outro hotspot socioclimático, devido principalmente a valores moderados de IRMC e densidade populacional. Toda a faixa do extremo sul da Rússia é pontuada por altos valores de IVSC.

4.2.7 Índia

Na Índia (Figura 12) um grande hotspot socioclimático aparece na região norte do país devido a associação entre altos valores de IRMC, densidade populacional e baixo desenvolvimento humano da área. O país Sri Lanka foi incluído como um estado indiano no cálculo do IVSC da Índia.

Figura 12- IVSC para a Índia (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.

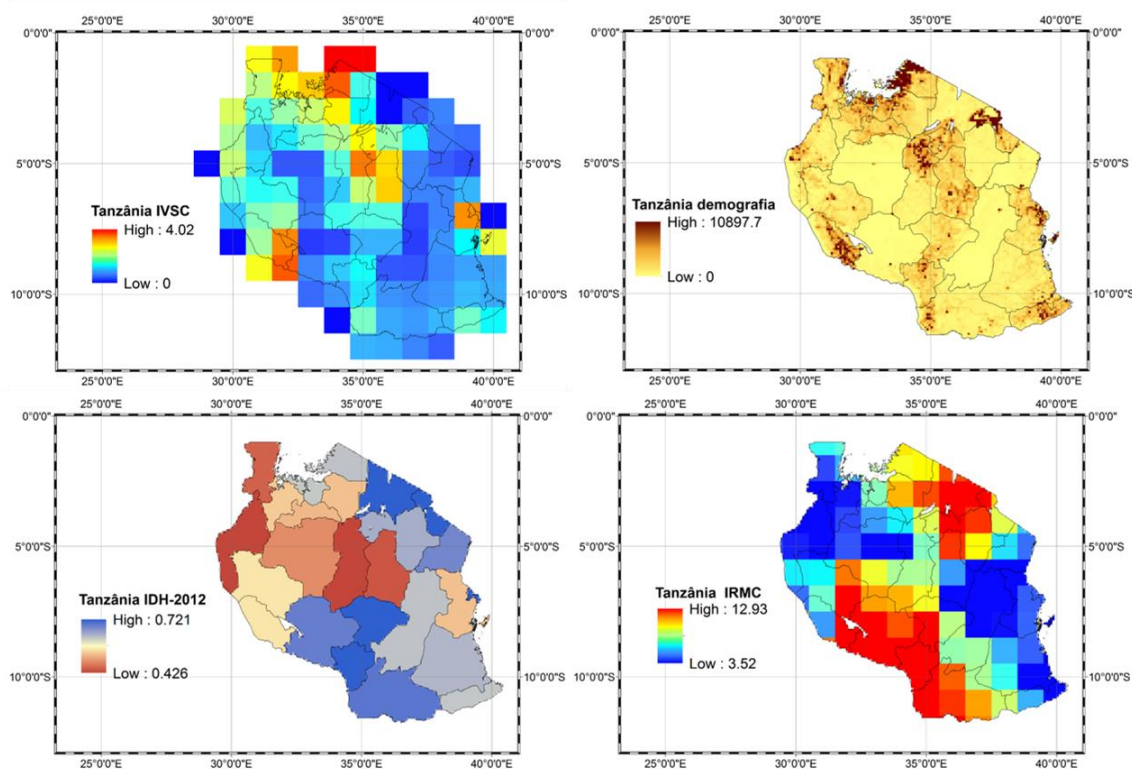


4.2.8 Tanzânia

Na Tanzânia (Figura 13) há um hotspot socioclimático mais intenso no extremo norte do país, sobre os estados de Mara, Kagera e Simiyu devido principalmente à

alta densidade demográfica da região. Na parte central do país, sobre os estados de Manyara, Dodoma e Singida emerge um hotspot socioclimático em virtude, principalmente, do baixo desenvolvimento humano. No Oeste da Tanzânia altos valores de IVSC sobre o estado de Rukwa são devidos principalmente a altos valores de IRMC. No Leste do país, o hotspot sobre o estado de Pwani é devido principalmente a alta densidade populacional.

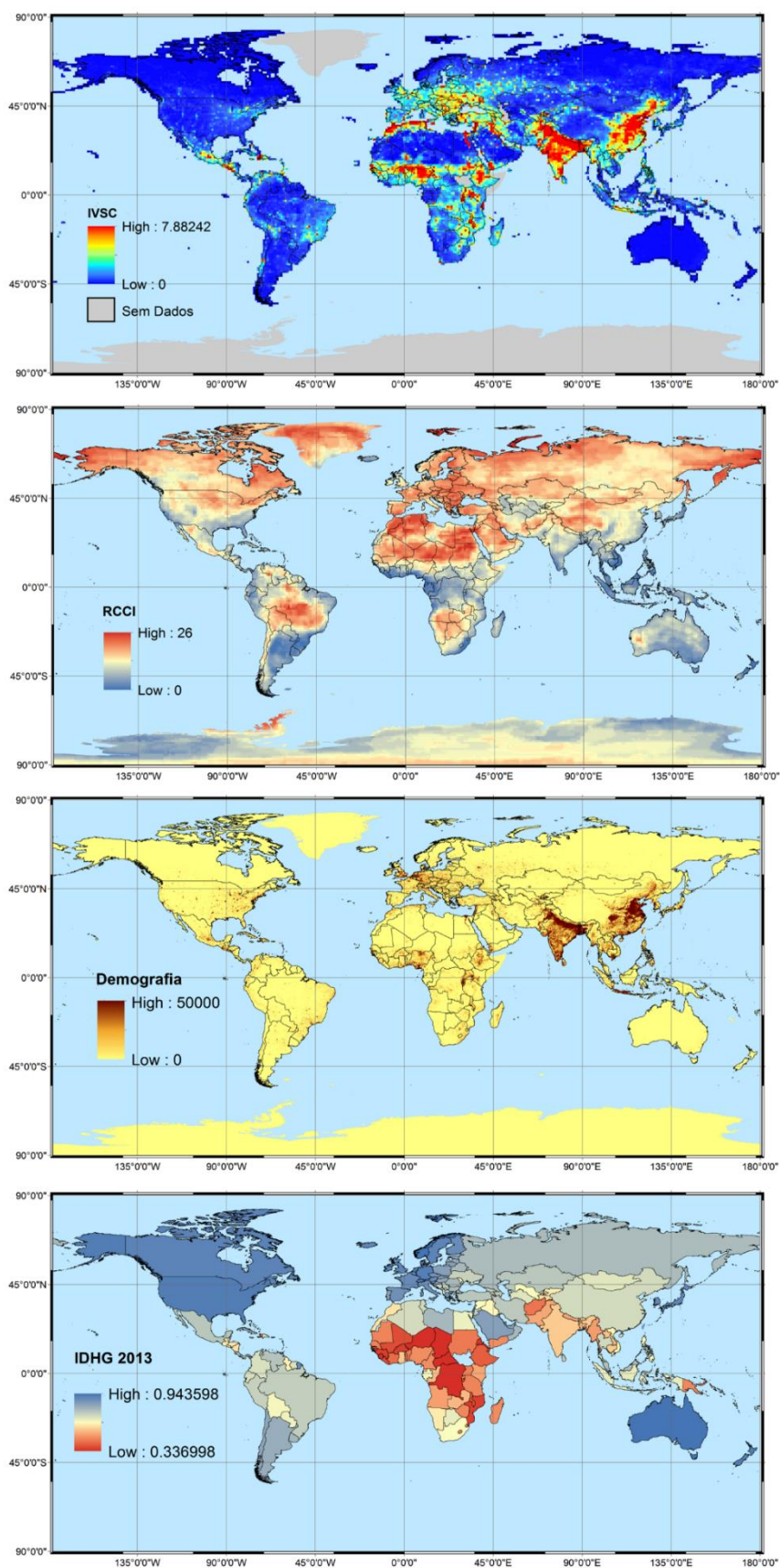
Figura 13- IVSC para a Tanzânia (Acima a esquerda) acompanhado dos mapas utilizados como entrada no cálculo. Veja a seção 3.4.



4.3 Vulnerabilidade Socioclimática no Mundo

O IVSC global foi calculado a partir do método descrito na seção 3.4 utilizando como inputs: (i) IRMC-CMIP5 em escala global, (ii) densidade populacional em escala global, referente ao ano de 2010 e (iii) dados de IDH referentes ao ano de 2013 para 187 países no mundo. A Figura 14 apresenta o IVSC global, bem como os mapas utilizados no cálculo.

Figura 14- De cima para baixo: IVSC Global; IRMC-CMIP5, calculado por Torres e Marengo, 2014; Densidade populacional em 2010; IDH 2013.



No continente africano, ao norte, emergem como hotspots socioclimáticos as áreas densamente povoadas às margens do Rio Nilo, no Egito, Norte do Marrocos, Norte da Argélia e Norte da Tunísia. De maneira geral os altos valores de IVSC na África setentrional devem-se a altos valores de IRCM e altos valores de densidade populacional. Na África subsaariana, por outro lado, despontam a região Norte da Nigéria e Sul do Níger, Oeste de Burkina Faso e Leste do Senegal, com altos valores de IVSC devidos principalmente ao baixo desenvolvimento humano de toda a região. Do mesmo modo, muitas áreas na faixa que se estende do Sudão a África do Sul também aparecem como hotspots socioclimáticos. O IVSC não foi calculado nos países Somália, Somalilândia e Sudão do Sul devido à ausência de dados de IDH. Na Ásia, onde se concentra grande parte da população mundial, um grande hotspot socioclimático se estende de Bangladesh, cobrindo toda a região Norte da Índia, Norte do Paquistão até o Norte do Afeganistão. Nestas áreas há uma conjunção de altas densidades populacionais, baixo desenvolvimento humano e altos valores de IRMC, da mesma maneira, a região central da Índia também desponta como um hotspot socioclimático, porém apresentando menores valores de IRMC em relação as áreas supracitadas. A região Leste da China apresenta altos valores de IVSC, devido principalmente a alta densidade demográfica. No oriente médio destacamos o Iraque, Síria, e Turquia e Iêmen, que apresentam altos valores de IRMC. No Iêmen, soma-se a isto uma situação de baixo desenvolvimento humano (IDH 2013 Iêmen = 0.500). O continente europeu é pontuado por zonas com altos valores de IVSC na sua porção Leste, que inclui países como a Ucrânia e Polónia. De maneira geral o Hemisfério Norte apresenta altos valores de IRMC, e o Leste europeu apresenta um desenvolvimento humano mais baixo que as outras regiões europeias e do hemisfério norte.

Nas Américas, os principais hotspots de vulnerabilidade socioclimática aparecem sobre a região central do México, Guatemala, Honduras, Haiti, Nicarágua, bem como em diversas áreas na América do Sul, nos países: Venezuela, Colômbia, Bolívia, Chile e Brasil. Na Oceania e Sudeste Asiático, sobressaem-se com altos valores de IVSC Indonésia, Filipinas e Papua-Nova Guiné devido principalmente a altos valores de densidade populacional e baixo desenvolvimento humano.

Segundo Fussel 2010 e Gall 2007 a construção de Índices de vulnerabilidade eficazes deve levar em consideração o balanço entre simplicidade, robustez e abrangência. Em virtude disso nem sempre fatores específicos (como a dimensão

específica da capacidade adaptativa em EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014) relacionados a vulnerabilidade podem ser incluídos diretamente no cálculo de Índices como o IVSC, desta maneira uma certa quantidade de incerteza é gerada, pois fatores que dão origem a vulnerabilidades específicas em uma dada região não são acessadas. Fatores que dão origem a vulnerabilidade são entendidos aqui como componentes de um sistema que interagem gerando condições de suscetibilidade a mudanças sistêmicas profundas devidas a alguma perturbação. Além disso, incertezas relação as mudanças climáticas são inseridas no IVSC através do IRMC. Essas incertezas são originadas nos modelos que geram as variáveis utilizadas no cálculo do IRMC (TORRES E MARENGO 2014). Todas essas fontes de incertezas devem ser levadas em consideração em estudos futuros com o IVSC visando uma melhor qualidade da informação gerada.

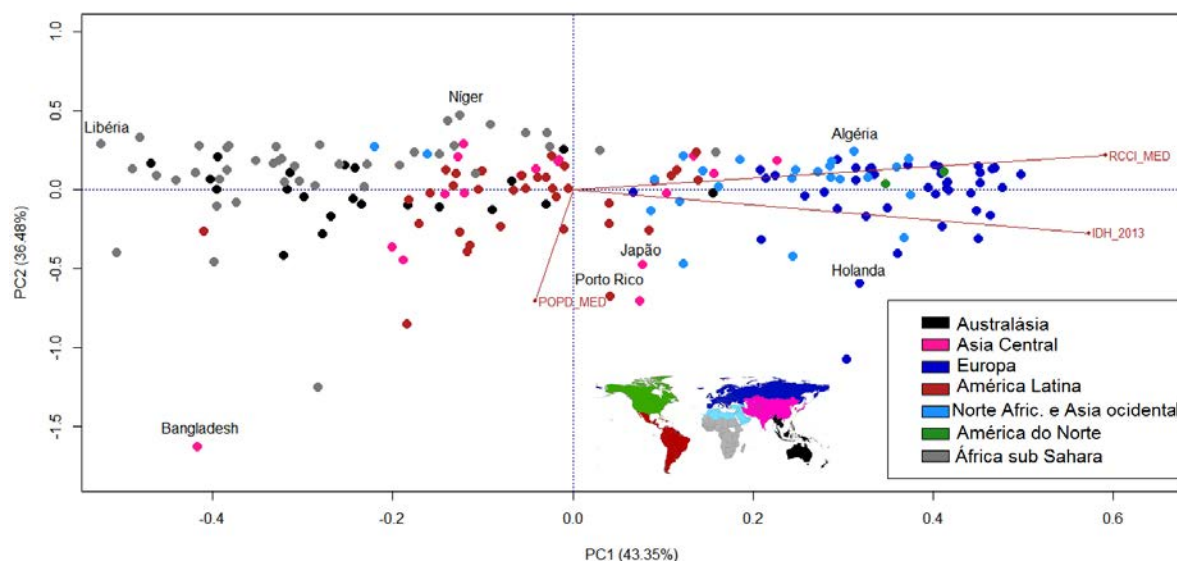
O IVSC demonstra uma baixa concordância com outros Índices que buscam identificar a vulnerabilidade dos países do globo frente a fenômenos climáticos climáticas. Dois destes Índices são: ND-GAIN (*The Notre Dame Global Adaptation Index*) (ND-GAIN, 2014) e *Global Climate Risk Index* (HARMELING & ECKSTEIN, 2014). O primeiro é resultado da agregação de 45 variáveis (indicadores) divididas em duas dimensões: vulnerabilidade e prontidão (*Readiness*). O Segundo associa a situação socioeconômica dos países a desastres ocorridos (perdas humanas e econômicas). Ambos os Índices não levam em consideração projeções climáticas futuras. Baixa concordância, aqui, significa que apenas alguns dos países mais vulneráveis segundo os dois índices supracitados coincidem com os países mais vulneráveis segundo o IVSC. A baixa concordância entre diferentes Índices de vulnerabilidade as mudanças climáticas de fato, tem sido um padrão recorrente na construção destes índices, o que é devido a diversos problemas relacionados com a escolha de indicadores, métodos de cálculo e diferentes interpretações de conceitos relacionados a vulnerabilidade socioclimática (FÜSSEL, 2010; ERIKSEN & KELLY, 2007)

Apesar dos pontos relacionados a incerteza e discordância com índices semelhantes de vulnerabilidade às mudanças climáticas o IVSC é suportado por um método simples e claro de identificação da vulnerabilidade socioclimática e pode vir a ser uma importante ferramenta no auxílio ao direcionamento de esforços por partes de instituições internacionais que fomentam a adaptação às mudanças climáticas (e.g. ONU, ONGs) e também como fornecedor de informações que guiam medidas

corretivas nas políticas e intervenções que visam a diminuição dos impactos humanos gerados pelas mudanças climáticas (RANGER, 2013; WALKER; HAASNOOT; KWAKKEL, 2013). De maneira geral o IVSC pode ser utilizado para ranquear países e cidades, ou outras divisões geográficas mais pertinentes em análises regionais, devido a sua apresentação (Em formato de grade retangular com pixel de 1 grau de Latitude/Longitude) como será demonstrado nos próximos parágrafos. Em futuros estudos com o IVSC devem ser consideradas com mais clareza, as fontes de incertezas no resultado final, tanto para estudos comparando os países do globo quanto para estudos dentro de regiões geográficas limitadas (e.g. Continente Africano).

Como explicitado na Seção 3.5, uma Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada com o intuito de ordenar os países conforme seus valores médios de densidade populacional, média de IRMC, e valores de IDH. Esta análise forneceu uma descrição geral da influência fatores que compõe o IVSC em nível de país. A partir da Figura 15, que é o biplot da PCA realizada, é possível notar que para a maioria dos países do Hemisfério Norte, o fator que mais contribui para o IVSC é o IRMC.

Figura 15- Biplot da Análise de Componentes Principais para 182 países com as variáveis: IRMC médio, densidade populacional média, e valor de IDH- 2013 (RCCI_MED, POPD_MED, IDH_2013, respectivamente). A posição dos países (pontos) em relação aos vetores (setas vermelhas) indica a influência destas variáveis sobre o respectivo país. A dissimilaridade entre dois países quaisquer é dada por suas posições no gráfico, quanto mais diferentes entre si, em relação às três variáveis, maior a distância entre estes países no gráfico. As escalas nos eixos PC1 e PC2 foram modificadas com a finalidade de dar clareza ao gráfico. No detalhe o mapa mundial indicando a cor para cada região geográfica. Alguns países representativos são nomeados.



Por outro lado, para a maioria dos países da África subsaariana e Australásia (Sudeste Asiático e Oceania) o fator mais influente é o baixo nível de desenvolvimento humano (Com exceção de Austrália e Nova Zelândia). O gráfico apresentado na Figura 15 é apenas descritivo e não se presta qualquer tipo de teste de hipóteses. As regiões geográficas foram divididas e nomeadas arbitrariamente, unicamente por sua proximidade geográfica. Os valores de IVSC médio, IRMC médio e densidade populacional média foram extraídos para cerca de 1700 áreas urbanas por todo o globo. Na Tabela 3 apresentamos as 30 áreas urbanas que apresentam maiores valores de IVSC.

Tabela 3- Valores de IVSC (adimensional), HDI-2013 (adimensional), média de IRMC (adimensional), HDI 2013 (adimensional), Demografia (densidade populacional em habitantes por quilômetro quadrado por célula de grade) para 30 zonas urbanas com maiores valores dentre as 1700 acessadas.

	CIDADE	PAIS	IVSC-GLOBAL	HDI-2013	IRMC	DEMOGRAFIA
1	Casablanca	Marrocos	7.88	0.617	14.50	16747.40
2	Cairo	Egito	2.94	0.682	14.50	15352.10
3	El Giza	Egito	2.94	0.682	14.50	47810.80
4	Delhi	Índia	2.54	0.586	10.07	18192.00
5	Ghaziabad	Índia	2.54	0.586	10.07	2335.95
6	Panipat	Índia	2.54	0.586	10.07	4432.61
7	Lahore	Paquistão	2.41	0.537	11.51	23222.50
8	Baghdad	Iraque	2.37	0.642	17.25	10988.20
9	Bhayandar	Índia	2.29	0.586	8.04	8653.23
10	Bhiwandi	Índia	2.29	0.586	8.04	17268.40
11	Bombay	Índia	2.29	0.586	8.04	24154.60
12	Gebze	Turquia	2.26	0.759	14.16	711.35
13	Istanbul	Turquia	2.26	0.759	14.16	15162.60
14	Mardan	Paquistão	2.26	0.537	12.88	6276.46
15	Amritsar	Índia	2.22	0.586	14.10	6973.69
16	Muzaffarpur	Índia	2.16	0.586	10.00	4765.01
17	Patna	Índia	2.16	0.586	10.00	14422.80
18	Meerut	Índia	2.15	0.586	12.01	9063.87
19	Muzaffarnagar	Índia	2.15	0.586	12.01	4091.34
20	Faisalabad	Paquistão	2.11	0.537	11.22	9191.71
21	Islamabad	Paquistão	2.09	0.537	13.35	2450.18
22	Rawalpindi	Paquistão	2.09	0.537	13.35	5859.08
23	Algiers	Argélia	2.08	0.717	16.18	4382.30
24	Ahmadabad	Índia	2.00	0.586	11.57	9967.23
25	Niamey	Níger	1.87	0.337	14.18	18661.60
26	Aligarh	Índia	1.87	0.586	11.33	4632.40
27	Budaun	Índia	1.87	0.586	11.90	2861.35
28	Kano	Nigéria	1.83	0.504	12.60	16445.80
29	Kasur	Paquistão	1.81	0.537	11.02	6228.32
30	Etawah	Índia	1.80	0.586	11.98	4410.06

Para o cálculo das médias para áreas urbanas utilizamos um shapefile que contém os polígonos representativos das áreas urbanas. O cálculo das médias foi realizado da seguinte maneira: (1) O valor da variável (IVSC, IRMC e densidade populacional) sobre a qual repousa a área urbana é extraído, (2) se a área do polígono (área urbana) abrange mais de um pixel, a média dos pixels é calculada. Para ranquear os países procedemos de maneira semelhante ao método de extração das médias para zonas urbanas (tabela 4). O procedimento está descrito na seção 4.

Tabela 4- Valores de IVSC (adimensional), HDI-2013 (adimensional), média de IRMC (adimensional), HDI 2013 (adimensional), Demografia (densidade populacional em habitantes por quilômetro quadrado por célula de grade). Valores para os 25 países que apresentam maior média de IVSC.

N	PAÍS	REGIÃO	IVSC	IDH-2013	DEMOGRAFIA	IRMC
1	Bangladesh	Ásia	1.05	0.558	1204.95	5.74
2	Líbano	Ásia	1.00	0.765	417.31	11.79
3	Palestina	Ásia	0.93	0.686	236.04	12.74
4	Malawi	África	0.85	0.414	132.40	11.56
5	Nepal	Ásia	0.84	0.540	206.09	11.65
6	Rwanda	África	0.84	0.506	452.02	6.15
7	Índia	Ásia	0.81	0.586	384.87	8.70
8	El Salvador	América	0.79	0.662	304.98	11.15
9	Hong Kong	Ásia	0.79	0.891	7502.83	3.82
10	Haiti	América	0.74	0.471	339.96	6.59
11	Paquistão	Ásia	0.71	0.537	204.38	11.19
12	Gambia	África	0.69	0.441	123.89	11.56
13	Burkina Faso	África	0.69	0.388	59.33	11.60
14	Nigéria	África	0.67	0.504	173.60	9.81
15	Moldova	Europa	0.66	0.663	108.00	16.17
16	Burundi	África	0.64	0.389	330.73	4.85
17	Uganda	África	0.62	0.484	143.20	8.10
18	Grenada	América	0.62	0.744	238.06	9.96
19	Republica da Servia	Europa	0.59	0.745	102.49	17.02
20	Albânia	Europa	0.57	0.716	105.95	14.83
21	Macedônia	Europa	0.55	0.732	82.49	17.26
22	Afeganistão	Ásia	0.52	0.468	46.01	13.32
23	Guiné Bissau	África	0.52	0.396	50.83	10.16
24	Ucrânia	Europa	0.51	0.734	78.29	16.75
25	Romênia	Europa	0.50	0.785	90.37	17.72

O país que possui o maior valor de IVSC é Bangladesh, devido principalmente a alta densidade populacional e baixo desenvolvimento humano. Ao todo foram ranqueados 183 dos 187 países com IDH- 2013. Três dos quatro países excluídos da lista não possuem dados demográficos em formato de grid. Malta foi excluída por se tratar de uma pequena ilha com apenas uma área urbana; a área urbana de Malta (Valletta, IVSC = 1.33) é apresentada junto as zonas urbanas ranqueadas na Tabela 3.

Finalizando o conjunto de análises propostas, o resultado do teste de Procrustes buscando quantificar a correlação entre a matriz das variáveis utilizadas no cálculo do IVSC e a matriz contendo diversos indicadores de vulnerabilidade e desenvolvimento (ambas descritas na seção 3,5) demonstrou uma correlação de 0.49 com $p < 0.05$. Este resultado foi interpretado como uma demonstração do fato de que as variáveis utilizadas no cálculo do IVSC apresentam uma correlação significativa com variáveis empíricas (não modeladas) e que são boas indicadores da capacidade adaptativa e sensibilidade as mudanças climáticas das populações humanas. Justificando o uso do IDH e densidade populacional em índices que, como o IVSC, buscam acessar a vulnerabilidade de populações humanas.

5 CONCLUSÕES

O IVSC Global mostrou grande potencialidade para servir como ferramenta de identificação de hotspots socioclimáticos. Juntamente com o IRMC ele pode constituir um importante meio de suporte para tomadas de decisão visando adaptação as mudanças climáticas. Os indicadores sociais utilizados na formulação do IVSC fazem com que ele seja um índice simples, mas que ao mesmo tempo tenha a capacidade de captar satisfatoriamente vulnerabilidades das populações humanas originadas na relação entre mudanças climáticas e condições para adaptação a estas mudanças, como demonstrado no teste de Procrustes.

As dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foram basicamente relacionadas a coleta e tratamento de dados do IDH. Os dados para os países são fragmentados em diversas fontes e na maioria dos casos não estão localizados em bancos de dados ou formatos de arquivo de fácil manuseio. Outra dificuldade encontrada tem a ver com a falta de padronização do método de cálculo de IDH para escalas intranacionais. Isso impede o acesso a informação sobre o desenvolvimento em escalas mais refinadas e dessa maneira impede a construção de um mapa global multiescala que realmente seja mais preciso na identificação da vulnerabilidade socioclimática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADGER, N. Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. **World Development**, v. 27, n. 2, p. 249–269, 1999.

CARDONA, O. et al. Determinants of Risk : Exposure and Vulnerability. In: **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation - A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2012. p. 65–108

EAKIN, H. C.; LEMOS, M. C.; NELSON, D. R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change**, v. 27, n. 1, p. 1–8, 2014.

ERIKSEN, S. H.; KELLY, P. M. Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, n. 4, p. 495–524, 2007.

FÜSSEL, H. M. How inequitable is the global distribution of responsibility, capability, and vulnerability to climate change: A comprehensive indicator-based assessment. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 4, p. 597–611, 2010.

GALL, M. **Indices of Social Vulnerability to Natural Hazards: A Comparative Evaluation**. South Carolina- USA, University of South Carolina, 2007.

GIORGI, F. Climate change hot spots. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 8, p. 1–4, 2006.

HARMELING, S.; ECKSTEIN, D. **Global climate risk index 2013: Who suffers most from Extreme weather events? Weather-related loss events in 2011 and 1992 to 2011**. Berlin: Germanwatch e.V., 2014.

KLEIN GOLDEWIJK, K.; BEUSEN, A.; JANSSEN, P. Long-term dynamic modeling of global population and built-up area in a spatially explicit way: HYDE 3.1. **The Holocene**, v. 20, n. 4, p. 565–573, 2010.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA Cambridge University Press, 2007.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013.

ND-GAIN. Notre Dame Global Adaptation Index. University of Notre Dame, 2014. Disponível em: <http://www.nd-gain.org/>.

PATZ, J. A et al. Impact of regional climate change on human health. **Nature**, v. 438, n. 7066, p. 310–317, 2005.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

RANGER, N. **TOPIC GUIDE : Adaptation : Decision Making under Uncertainty.** Evidence on Demand. Disponível em: http://dx.doi.org/10.12774/eod_tg02.june.2013.ranger.

TRANSPARENCY INTERNATIONAL. Corruption Perceptions Index 2014 : Technical Methodology. Disponível em: http://files.transparency.org/content/download/1857/12438/file/CPI2014_DataBundle.zip.

TORRES, R. R. et al. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, n. 3-4, p. 597–609, 2012.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: From CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 117, n. 3-4, p. 579–587, 2014.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human Development Report 2011: Sustainability and Equity: A Better Future for All.** New York, USA: Palgrave Macmillan, 2011.

WALKER, W.; HAASNOOT, M.; KWAKKEL, J. Adapt or Perish: A Review of Planning Approaches for Adaptation under Deep Uncertainty. **Sustainability**, v. 5, n. 3, p. 955–979, 2013.

WORLD BANK. **World Development Indicators**, 2015. Disponível em: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>