



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Projeção da suscetibilidade a desertificação em Pernambuco utilizando o modelo HADGEM-ES

Thalyta Soares dos Santos¹, Aline Anderson de Castro², Allan Rodrigues Silva³, Daniel Évora de Queiroz⁴, Thieres George Freire da Silva⁵

¹Drª em Ciências Climáticas, Pesquisadora DCR/FACEPE/CNPq, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. (87) 3929-3208. thalyta@ufpe.br (autor correspondente). ²Drª Pesquisadora, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1158, CEP 12227-010, São José dos Campos, São Paulo. acaline@gmail.com ³Dr Pesquisador, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. Allansilva.r@gmail.com ⁴Doutorando em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal, Rio Grande do Norte. Daniel.geofisica@gmail.com. ⁵Professor Dr. Adjunto III, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. thigeoprofissional@hotmail.com.

Artigo recebido em 25/05/2017 e aceito em 10/07/2017

RESUMO

A suscetibilidade da região Nordeste do Brasil ao processo de desertificação está associada à variabilidade do clima e a fatores antropogênicos. Nesse contexto, extremos climáticos intensos associados à degradação do solo podem levar à aceleração do processo de desertificação no semiárido. O objetivo do trabalho é avaliar processo de desertificação no estado de Pernambuco e suas projeções para o século XXI. O estudo foi realizado com dados mensais de simulações de precipitação e temperatura do *Climatic Research Unit (CRU)* e projeções do modelo HADGEM2-ES derivado do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)*, utilizados no quinto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC-AR5* no cenário RCP 8.5. Para análise, a evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de Thornthwaite, que serviu para o cálculo do índice de aridez. O índice de aridez é bastante utilizado nos estudos para a determinação de áreas secas e principalmente nos estudos do processo de desertificação. Os resultados indicaram que, considerando a variabilidade do climática atual e futura no Nordeste do Brasil, associada a ações antrópicas, o estado de Pernambuco tem uma alta suscetibilidade a desertificação.

Palavras-Chaves: CMIP5; Índice de Aridez; Semiárido

Projection of susceptibility to desertification in Pernambuco using the HADGEM-ES model

ABSTRACT

The Brazilian Northeast region susceptibility to desertification process is associated with climate variability and anthropogenic factors. Intense climatic extremes associated with soil degradation may accelerate the desertification process in the semiarid region. The main objective of this study is to evaluate the desertification process in Pernambuco state and its projections for the 21st century. The study was carried out with monthly precipitation and temperature datasets from Climatic Research Unit (CRU) and HADGEM2-ES projections, derived from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5, used in the fifth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC -AR5) in the RCP 8.5 scenario. The potential evapotranspiration was calculated by the Thornthwaite method, which was used to calculate the aridity index. The aridity index is widely used in to determine dry areas, especially in desertification process studies. The results shows that, considering the current and future climate variability in Brazilian Northeast, associated with anthropic actions, Pernambuco has a high susceptibility to desertification.

Keywords: CMIP5; Aridity Index; Semi-arid.

Introdução

Os desastres naturais fazem parte do mundo atual afetando a vida de um grande número de pessoas em todo o mundo. Em geral, suas principais implicações estão relacionadas a prejuízos materiais, econômicos e perdas de vidas humanas. O reconhecimento e classificação de

regiões susceptíveis a ocorrência de eventos severos e extremos tornou-se uma necessidade constante no cenário atual das mudanças climáticas.

Dentre todos os desastres naturais, aproximadamente 85% estão diretamente relacionados ou associados com adversidades

climáticas, sendo a seca o fenômeno ambiental mais impactante (Kogan, 1997). Atualmente, o monitoramento dos diversos tipos de seca é feito com base em índices que os padronizam em escala temporal e regional permitindo, a comparação das condições hídricas de diferentes áreas, como: SPI (*Standardized Precipitation Index*, em inglês), PDSI (*Palmer Drought Severity Index*, em inglês), dentre outros. Existe ainda o índice de aridez que possui uma aplicação nos estudos não só de áreas secas, como também mais especificamente nos estudos sobre desertificação, visto que a suscetibilidade a este processo está diretamente associada ao nível de aridez do local (Duarte, 2003; Matallo Júnior, 2003; Freitas, 2005).

Segundo Oliveira et al. (2009) a desertificação um processo associado ao desastre seca. A degradação dos solos associada com a desertificação tem relevância mundial, implicando nas estruturas sociais e econômicas. Marengo (2008) afirma que o aumento da temperatura e a presença de menos água no solo devem, de fato, transformar parte da Amazônia em savanas, e que áreas reconhecidas hoje como semiáridas sofrerão processo de desertificação - fenômeno também previsto para áreas agricultáveis.

Estudos recentes indicam que as mudanças climáticas poderão afetar a produção agrícola e causar aumento das áreas de risco na região Nordeste do Brasil (Assad e Pinto, 2008). Nesse contexto, as variações de chuva e temperatura e a elevação da evapotranspiração, bem como seus impactos no balanço hídrico, tendem a ser especialmente danosos às atividades agrícolas, uma vez que reduzem a água disponível para as raízes das plantas no solo, agravando-se nos casos das culturas com raízes pouco profundas (Lacerda et al. 2016). Dessa maneira, o objetivo principal do presente trabalho é estudar o índice de aridez e sua projeção para os próximos anos no estado de Pernambuco, identificando as áreas mais susceptíveis à desertificação no estado.

Material e métodos

Dados

Foram utilizadas simulações de precipitação e temperatura do CRU TS 3.0 (HARRIS et al., 2014), produzido pelo *Climatic Research Unit (CRU) - University of East Anglia (UEA)*. Estes dados foram utilizados para o período de 1961 a 2005 e tem resolução espacial de 0.5° 0.5° . Foram usadas ainda, projeções mensais de precipitação e temperatura do ar próximo a superfície gerados pelo modelo HadGEM2_ES do projeto CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project 5th Phase*), obtido a partir do *Program for*

Climate Model Diagnosis and Intercomparison (<http://pcmdi3.llnl.gov>). O modelo HadGEM2_ES é descrito em detalhes por Collins et al. (2011), é um AOGCMs significa *atmosphere - ocean general circulation models*, ou seja, um modelo de circulação geral oceano-atmosfera com resolução espacial de $1,875^\circ$ x $1,25^\circ$. Sorribas et al. (2016) concluiu que o modelo HadGEM2-ES representa realisticamente as principais características da precipitação sazonal, temperatura e variabilidade da circulação atmosférica sobre a América do Sul. Rocha et al. (2014) mostraram que o modelo HadGEM2-ES é capaz de simular as frequências dos eventos El Niño e La Niña em concordância com as observações.

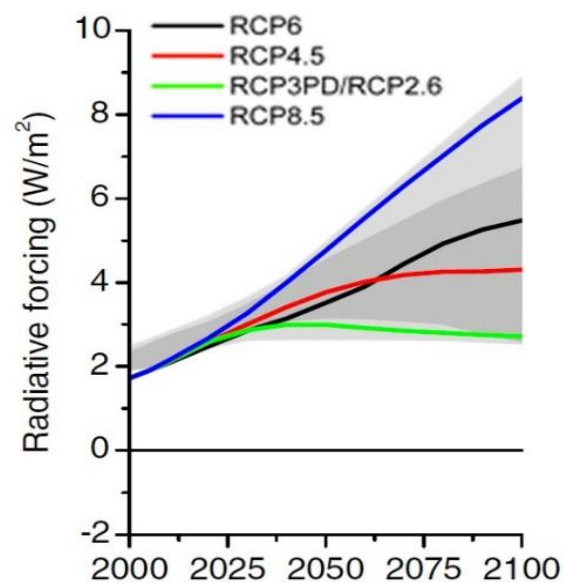


Figura 1. Forçamento radiativo dos *Representative Concentration Pathways*. Fonte: Van Vuuren et al. (2011).

As emissões futuras de gases de efeito estufa são resultantes de sistemas dinâmicos complexos, determinados por forçantes como crescimento demográfico, desenvolvimento socioeconômico e mudança tecnológica (Chou et al., 2016). Os novos cenários conhecidos como RCPs (*Representative Concentration Pathways*) representam diferentes trajetórias de concentração dos gases de efeito estufa no clima futuro (Van Vuuren et al., 2011) (Figura 1). Neste trabalho foram utilizadas projeções do RCP 8.5, no período de 2010 a 2099. Os *Representative Concentration Pathways* (RCPs) formam um conjunto de concentrações de gases com efeito de estufa e vias de potenciais respostas políticas às alterações climáticas (Moss et al., 2010; Van Vuuren et al., 2011). O RCP 8.5 corresponde a uma via de emissões de gases de efeito estufa alta comparada à literatura de cenários (IPCC, 2013) e, portanto,

também corresponde ao limite superior dos RCPs. Segundo Riahi et al. (2011) as emissões e concentrações de gases do efeito de estufa neste cenário aumentam consideravelmente ao longo do tempo, levando a um forçamento radiativo de 8,5 W.m⁻² no final do século.

Área de Estudo

Atualmente, uma grande área no Nordeste Brasileiro foi atingida pela desertificação de forma grave ou muito grave. São 200 mil km² de terras degradadas no Semiárido Brasileiro. Literalmente, essas áreas em muitos locais estão imprestáveis

para a agricultura. Somando a área supracitada com a área onde a desertificação ocorre ainda de forma moderada, o total de área atingida pelo fenômeno alcança, aproximadamente, 600.000 km² - cerca de 1/3 de todo o território nordestino (MMA, 2007).

Nesse contexto de desertificação, o foco do trabalho é o estado de Pernambuco (Figura 2), localizado na Região Nordeste do Brasil, situa-se entre 7°18'17" e 9°28'43" de latitude sul e 34°48'15" e 41°21'22" de longitude a oeste. Segundo o Perez-Marin (2012) o estado de Pernambuco, juntamente com o Ceará estão entre os mais castigados pelo processo de desertificação.

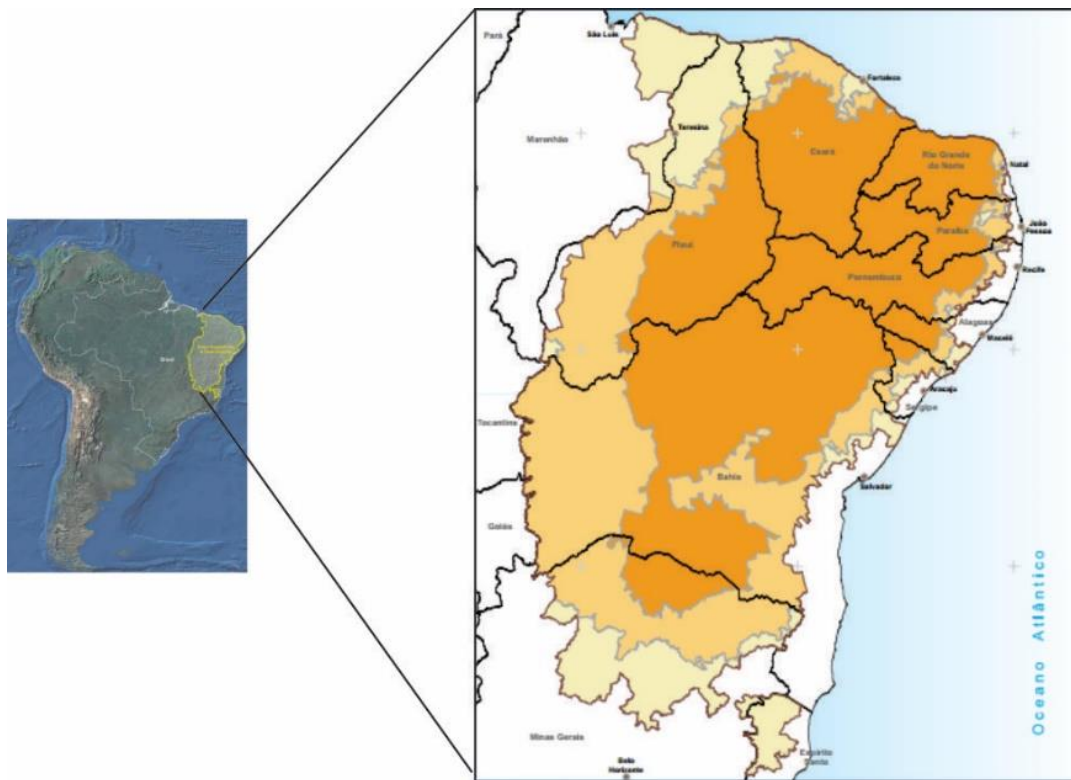


Figura 2. Áreas susceptíveis à desertificação. Fonte: MMA (2007).

Evapotranspiração Potencial

A evapotranspiração potencial (ET_o) foi calculada por meio do método de Thornthwaite (1948), que depende apenas da temperatura média mensal (°C). Segundo Martins e Santos e Silva (2015) o cálculo da ET_o, determina-se primeiramente o índice de eficiência de

temperatura anual *I*, representado na Equação (1) definido pela soma dos 12 valores mensais da temperatura média e o expoente *a* da Equação (2), que depende de *I*. Dessa maneira, a evapotranspiração é calculada pela Equação 3, cuja unidade é dada em mm mês⁻¹.

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0.2T_{med})^{1.514} \quad (1)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.7912 \times 10^{-2} I + 0.49239 \quad (2)$$

$$ET_o = 16 \left(10 \frac{T_{med}}{I} \right)^a \quad (3)$$

Índice de Aridez

O índice de aridez, indicador de susceptibilidade à desertificação, segue critérios estabelecidos pela UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, 1979), consistindo da razão entre a quantidade anual de água precipitada em uma região e a correspondente perda máxima possível de água para a atmosfera (Evapotranspiração Potencial). Este índice é apontado como o melhor indicador de áreas vulneráveis à desertificação, uma vez que trabalha com variáveis quantitativas (Sampaio et al., 2003; Freitas, 2005), sendo adotado no *World Atlas of Desertification* da UNEP (1992) e em outros estudos (Matallo Junior, 2003).

Segundo Barros (2010) a importância da determinação deste índice para a desertificação está no fato de a ocorrência deste processo se limitar a áreas secas, e o cálculo deste índice indica exatamente esta condição climática. O índice de aridez é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis à desertificação, visto que é o único que utiliza variáveis quantitativas para tal análise (Sampaio, 2003).

Existem várias metodologias utilizadas para a determinação da aridez de uma região. A

definição elaborada pelas Nações Unidas (UNESCO, 1979) baseia-se na metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1948), segundo a qual o índice de aridez (IA) de uma região consiste na razão entre a quantidade de água advinda da chuva (Precipitação) e as potenciais perdas de água para a atmosfera (Evapotranspiração Potencial).

$$I_a = \frac{P_r}{ET_o}$$

Em que: I_a representa o índice de aridez, P_r corresponde à precipitação hídrica anual (em mm) e ETP à evapotranspiração potencial anual (em mm). A classificação climática seguiu os critérios estabelecidos por Thornthwaite (1941).

A partir do índice de aridez foram estabelecidas a classificação climática que delimitam as zonas climáticas calculadas segundo a metodologia do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP,1992) e adaptada por Matallo Junior (2003), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 1. Classificação Climática em função do Índice de Aridez (IA)

Classes Climáticas	Índice de Aridez
Hiperárido	$I_a < 0,05$
Árido	$0,05 < I_a < 0,20$
Semiárido	$0,21 < I_a < 0,50$
Subúmido Seco	$0,51 < I_a < 0,65$
Subúmido Úmido	$I_a > 0,65$

Fonte: Matallo Júnior (2003)

Tabela 2. Níveis de suscetibilidade à desertificação a partir do índice de aridez (IA)

Nível de suscetibilidade à desertificação	Índice de Aridez
Muito Alta	0,05 até 0,20
Alta	$0,21 < I_a < 0,50$
Moderado	$0,51 < I_a < 0,65$

Fonte: (UNEP, 1992; Matallo Júnior, 2003)

Resultados e discussão

Simulações do Século XX

Na Figura 3 são analisadas as evoluções anuais da precipitação (mm dia^{-1}) e temperatura no estado de Pernambuco no período de 1961 a 2005. É possível notar a variabilidade em ambas as séries, indicando períodos de anomalias negativas e positivas nas variáveis estudadas.

Como relação a precipitação pode-se observar que em 1974 a 1976, 1985, 1990, 1997, 2000 a 2001 e 2005 houveram anomalias positivas da precipitação normalizada acima de 1 mm dia^{-1} , sendo considerados anos chuvosos para a média histórica da região. Já os anos de 1964, 1984, 1988 e 1991 a 1993 apresentaram anomalias negativas de 1 mm dia^{-1} . Destaca-se anomalias positivas de

precipitação são destaques nos anos de 1974 a 1976 e anomalias negativas principalmente em 1991 a 1993. Segundo Souza et al. (1998) e Andreoli e Kayano (2007) essas anomalias, isto é, as variabilidades anuais e interanuais podem ser explicadas no ponto de vista da climatologia como estando associados à influência dos eventos El Niño e La Niña, que influenciam na temperatura da superfície do mar.

Deve-se ressaltar que a maioria desses anos com anomalias negativas da precipitação média anual está associada a eventos de El Niño e anomalias positivas a eventos La Niña com destaque 1988 e 1990/1993, 1973/1976 e 2000/2001, respectivamente. Segundo Minuzzi et

al. (2005), durante eventos do El Niño há a ocorrência de irregularidades na distribuição de chuvas, visto que estas tendem a ficar abaixo da média para a porção compreendida entre o nordeste do Estado de Minas Gerais até a porção leste da Região Nordeste.

Além disso, percebe-se ainda que anomalias de temperatura, em geral, possuem um comportamento inversamente proporcional a precipitação. Corroborando com Araújo (2012) que estudando a precipitação e temperatura para o Nordeste em anos de El Niño, La Niña e de neutralidade, observou que em anos de El Niño a precipitação reduziu em todas as estações do ano, enquanto houve aumento da temperatura.

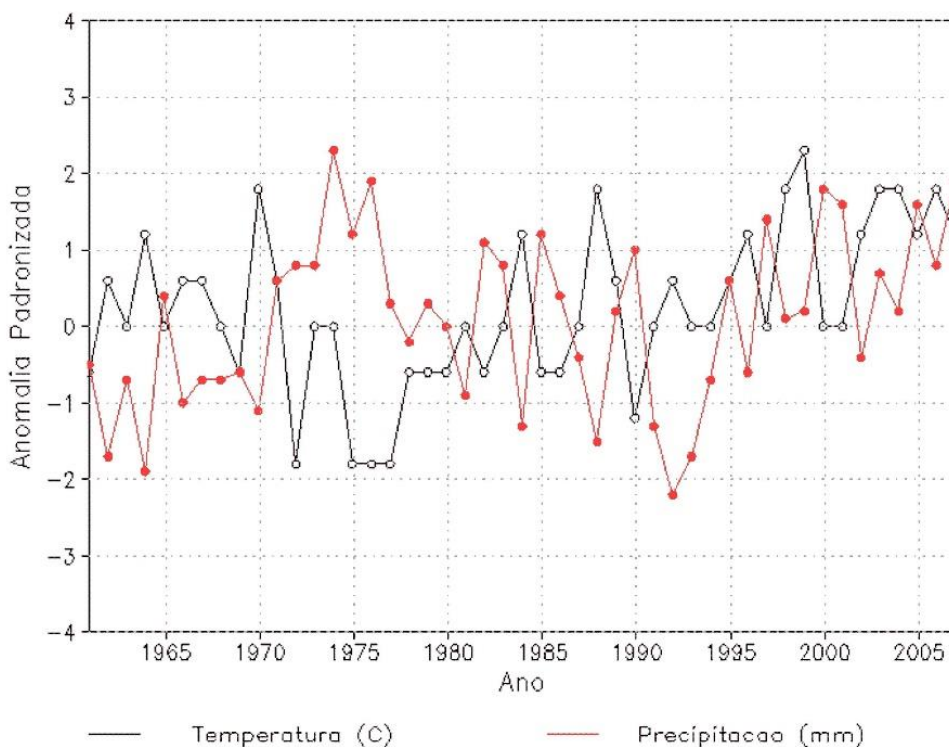


Figura 3. Evolução temporal da anomalia de precipitação (mm dia^{-1}) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) média anual no estado de Pernambuco no período de 1961 a 2005.

O índice de aridez do estado de Pernambuco é apresentado na Figura 4. É possível notar que as mesorregiões do estado denominadas Mesorregião do São Francisco (sudoeste do estado), Mesorregião Sertão (noroeste do estado) e Mesorregião Agreste (região centro-leste do estado) apresentaram o índice de aridez entre maior que 0,2 e menor que 0,5, indicando que o estado possui, em sua grande maioria, um clima semiárido. Apenas as regiões na porção leste do estado (Mesorregião Zona da Mata e Mesorregião Metropolitana de Recife) indicaram o IA maior que 0,65 caracterizando-se como regiões tipicamente subúmida e úmida. A Convenção das Nações Santos, T.S., Castro, A.A., Silva, A.R., Queiroz, D.E.; Silva, T.G.F.

Unidas de Combate à Desertificação - UNCCD (áridas, semiáridas e subúmidas secas), o Brasil não possui áreas com clima árido, apenas semiárido e subúmido seco (IA entre 0,20 e 0,65).

Lacerda et al. (2016) afirmam que o estado de Pernambuco é predominantemente semiárido em cerca de 80 % do seu espaço geográfico. No extremo oeste, a precipitação acumulada, em média, é inferior a 700 mm/ano, setor que abrange as mesorregiões do Sertão do São Francisco, de Petrolina, até Araripina, tendo como principal período chuvoso os meses de janeiro a abril sempre afetado por secas e enchentes. Relatos de secas em Pernambuco podem ser encontrados a partir do

século dezoito, apresentando ocorrências de anos muito secos, sempre objeto de preocupação da sociedade e dos órgãos de governo.

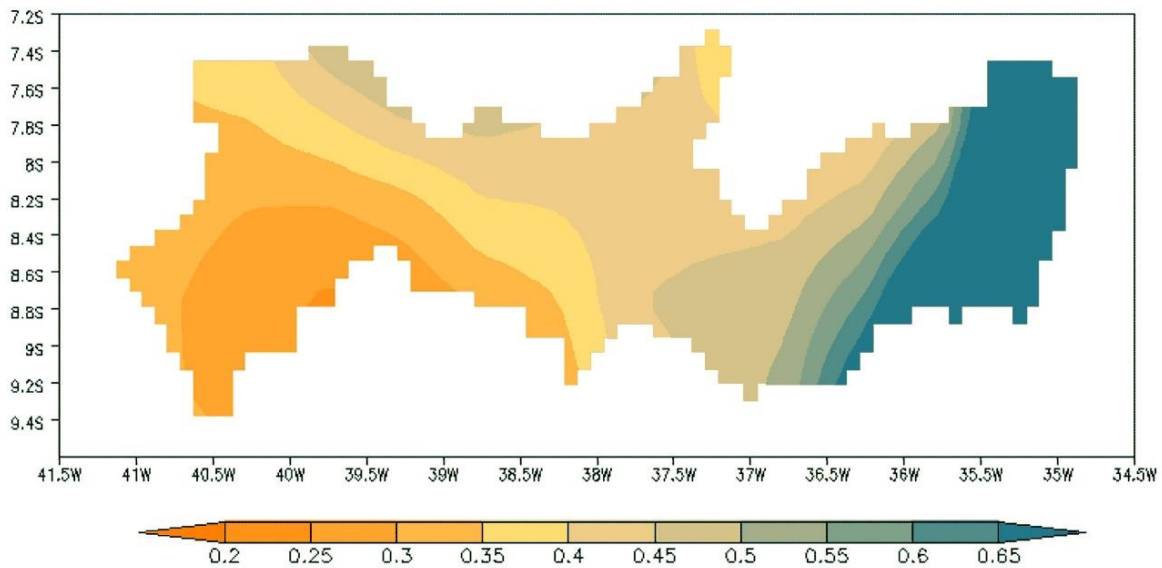


Figura 4. Índice de aridez para o estado de Pernambuco no período de 1961 a 2005.

Projeção Século XXI

A série temporal das anomalias de precipitação (mm dia^{-1}) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) para o período de 2010 a 2099 no estado de Pernambuco pode ser observada na Figura 5. É possível notar um gradual aumento da temperatura no estado, e um decréscimo progressivo médias anuais de precipitação. Destaca-se para o final do século (2071-2100) projeções de anomalias positivas de 2°C , bem como a diminuição até 3 mm dia^{-1} na precipitação pluviométrica, podendo agravar ainda mais o déficit hídrico regional. Este comportamento sugere um padrão característico de regiões em processo de desertificação, onde ocorre um aumento da temperatura e a diminuição da precipitação. Comprovando os resultados do IPCC (2013) que indicam reduções de volumes de chuvas na maioria dos modelos globais do Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR5), até segunda metade do século XXI, com áreas mais secas e aumento do déficit hídrico.

Lacerda et al. (2016) afirma que a região Nordeste do Brasil, em geral, e o Estado de Pernambuco, em especial, estão vulneráveis aos processos de desertificação, à ocorrência de eventos extremos do clima tais como secas e enchentes e a avanços do mar. Segundo o “Relatório do Painel Brasileiro de Mudanças

Climáticas” (PBMC, 2013), provavelmente o semiárido nordestino tenha precipitação reduzida em até 20% por volta de 2040, com aumento de temperatura até 1°C .

A Figura 6 apresenta a projeção do índice de aridez para o estado de Pernambuco no período de 2010 a 2099. Percebe-se que de maneira análoga as simulações do século XX o menor valor do índice observado para no estado o século XXI é de 0,2, porém as projeções indicam que o valor máximo 0,6. Este resultado indica que no século XXI todo o estado de Pernambuco pode ser semiárido. Marengo et al. (2011) estudando a variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro aponta que segundo as simulações do modelo MRI G20, no futuro, como consequência de um clima mais quente e mais seco, a área de semiárido tende a se estender em cobertura geográfica nos estados de Pernambuco, Piauí, Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte.

A associação das modificações climáticas, na configuração de diminuição da precipitação acompanhada por aumento de temperatura e elevação da taxa de evaporação, acrescido da busca incansável por recursos hídricos, cada vez mais escassos, podem gerar um desequilíbrio sem precedentes. E neste contexto, a população do semiárido no nordestino e os agricultores serão extremamente afetados.

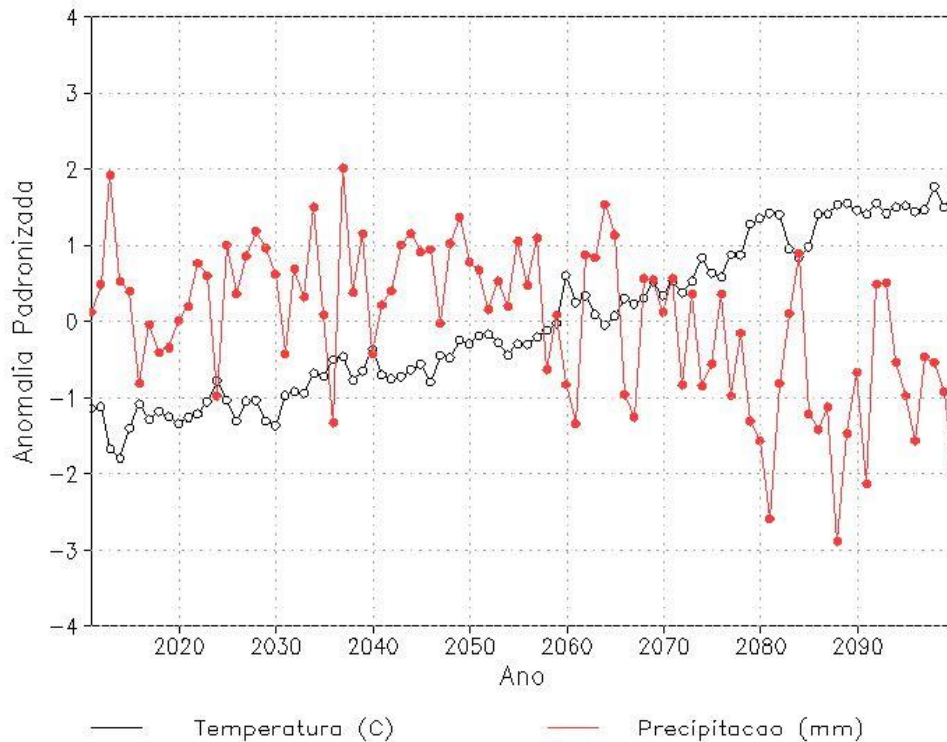


Figura 5. Evolução temporal da anomalia de precipitação e temperatura média anual no estado de Pernambuco no período de 2010 a 2099.

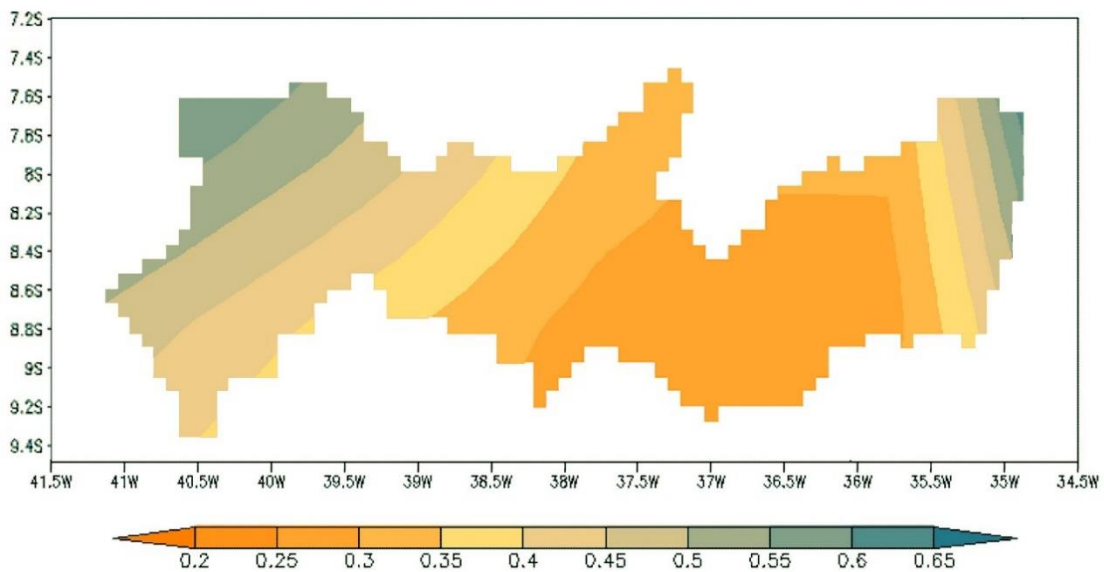


Figura 6. Projeção do índice de aridez para o estado de Pernambuco no período de 2010 a 2099.

Segundo Marengo et al (2011) na década de 1980 a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu desertificação como sendo a diminuição ou destruição do potencial biológico das terras, podendo levá-las a condições semelhantes às dos desertos. Entretanto, em 1991 o Programa UNEP adotou, como conceito, a degradação das terras em áreas áridas, semiáridas e subúmida seca, devido principalmente aos efeitos antropogênicos. A projeção a suscetibilidade a desertificação entre 2010 a 2099 em Pernambuco é

mostrada na Figura 7, e percebe-se que a maior parte do estado apresenta uma suscetibilidade alta a desertificação. Este fato pode estar associado ao desmatamento e a alteração da vegetação natural por outro cultivo. Nesse contexto, esses elementos acrescidos das projeções das mudanças climáticas tornam Pernambuco uma região propícia a sofrer o processo de desertificação. Oyama et al. (2004) afirma que de fato, há essa tendência de desertificação da porção semiárida, até final do século XXI.

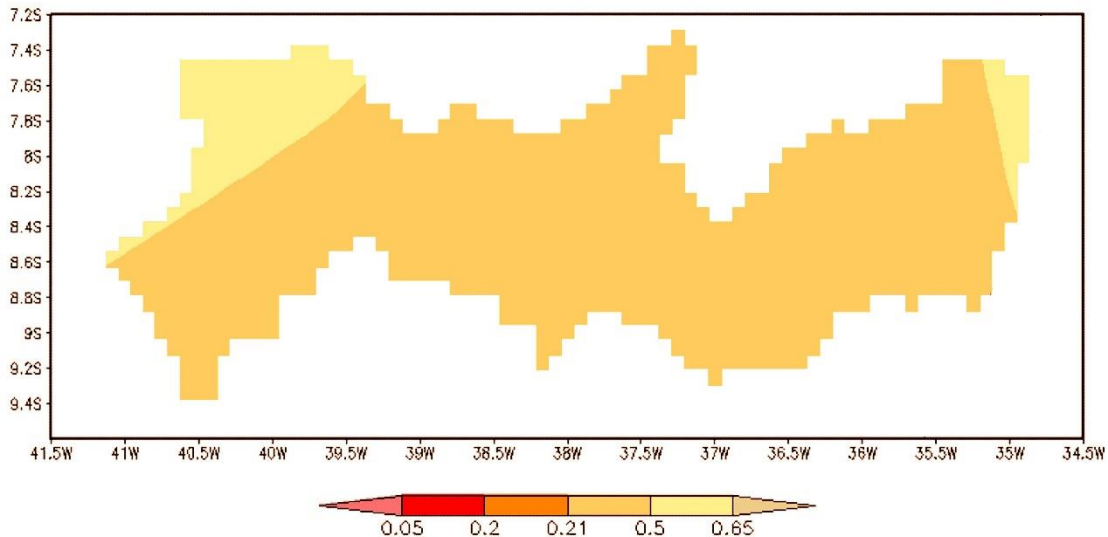


Figura 7. Projeção de suscetibilidade a desertificação para o estado de Pernambuco no período de 2010 a 2099.

Conclusões

Considerando a variabilidade climáticas do Nordeste do Brasil, no contexto das mudanças climáticas atuais e futuras, as projeções indicam que o estado de Pernambuco é uma região altamente vulnerável em termos de reduções de precipitação e aumento das temperaturas. Essas variações são principalmente resultados de ações antrópicas, que são as que mais contribuem para a intensa degradação, de maneira geral, com a alteração da vegetação natural da Caatinga por práticas agrícolas impróprias, pela pecuária e desmatamento aceleram o processo de desertificação. Neste contexto, a projeção do século XXI aponta que aproximadamente 90% do estado de Pernambuco tem uma alta suscetibilidade a desertificação.

Dessa maneira, é necessário desenvolver estudos sobre a vulnerabilidade do semiárido às mudanças climáticas, mudanças de uso no solo e utilização dos recursos hídricos e, nesse sentido, desenvolver ações de adaptação e mitigação à essa nova realidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FACEPE/CNPQ através do projeto de pesquisa APQ-0324-1.07/16-DCR, e ao GAS (Grupo de Agrometeorologia do Semiárido) pelo apoio.

Referências

Andreoli, R.V.; Kayano, M.T. 2007. A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 22, 63-74. Disponível:

<http://dx.doi.org/10.1590/S010277862007000100007>. Acesso: 05 de mai 2017.

Araújo, P.H.C. 2012 Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola nas regiões Nordeste e Sul do Brasil. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Assad, E.D., Pinto, H.S. 2008. Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção agrícola no Brasil. EMBRAPA-CEPAGRI, São Paulo. Disponível:

http://proclima.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2008/05/clima_agricultura_brasil.pdf. Acesso: 07 de mai 2017.

Barros, K.O. 2010. Índice de aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesoregião norte de Minas. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

Chou, S.C., Da Silva, A.J.; Lyra, A.A., Mourao, C.F., Dereczynski, C.P., Rodrigues, D., Campos, D.A., Chagas, D.J., Siqueira, G. C., Sueiro, G., Pilotto, I., Gomes, J. L., Bustamante, J., Tavares, P., 2016 Simulações em alta resolução das mudanças climáticas sobre a América do Sul. Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais às Mudanças do Clima no Brasil, in: Teixeira, B.S., Orsini, J.A.M, Cruz, M.J. (Eds.), Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil. Editora Biblioteca de Política em C&T do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação Biblioteca de Política em C&T do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília, pp. 49-90.

Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T.,

- Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A., Woodward, S., (2011) Development and evaluation of an Earth-System model-HadGEM2. Geoscientific Model Development [online], 4. Disponível: doi:10.5194/gmd-4-1051-2011. Acesso: 22 de jul 2015.
- da Rocha, R.P, Reboita, M.S., Dutra, M.M., Ilopart, M.P., Coppola, E. 2014. Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain. Climatic change [online] 1, Disponível em DOI 10.1007/s10584-014-1119-y. Acesso: 07 de mai 2017.
- De Oliveira, E.M., dos Santos, M.J., de Araújo, L.E.; da Silva, D.F. 2009. Desertificação e seus impactos na região semi-árida do Estado da Paraíba. *Ambiência* 5, 67-79.
- Duarte, J.J. 2003. Desertificação do Semi-árido Paraibano. *Revista Conceitos* 9, 53-60.
- Freitas, M.A.S. 2005. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. *Revista Tecnologia* 19, 84-95.
- Harris, I.P.D.J., Jones, P.D., Osborn, T.J., Lister, D.H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34 [online]. Disponível: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3711>. Acesso em 11 de mai 2017.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. Summary for Policymakers. In: *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kogan, F.N. 1997. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society* 4 [online]. Disponível: [https://doi.org/10.1175/15200477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2). Acesso: 09 de maio de 2017.
- Lacerda, F.F, Nobre, P., do Carmo Sobral, M., Lopes, G.M.B., (2016) Alterações climáticas globais; uma realidade em Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica* 11, 121-154.
- Marengo, J.A. 2008. Água e mudanças climáticas. *Estudos avançados* 22 [online]. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103442008000200006>. Acesso: 04 de mai 2017.
- Marengo J.A., Alves, Lincoln M; Beserra, E. ; Lacerda, F. 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, in: Medeiros, S.S, Gheyi, H.R, Galvão, C.O, Paz, V.P.S. (Org). *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande, pp. 384-422.
- Martins, G., Santos e Silva, C.M. 2015. Balanço de água na floresta amazônica no final da primeira metade do século XXI utilizando as simulações do CMIP5. *Boletim de Geografia* 33, 1-16.
- Matallo Junior, H. 2003. A desertificação no mundo e no Brasil. *Desertificação*. Brasília: UNESCO.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. 2007. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil / MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Santana, M.O. (Org), 1-134.
- Mínuzzi, R.B., Sedyama, G.C., Ribeiro, A., Costa, J.M.N. 2005. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(3) [online]. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S141543662005000300011>. Acesso: 08 de mai 2017.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Willbanks, T.J., (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463 [online]. Disponível: doi:10.1038/nature08823 Acesso: 06 de mai 2017.
- Oyama, M.D., Nobre, C.A. 2004. Climatic consequences of a large-scale Desertification in Northeast Brazil: A GCM Simulation Study. *J. Climate* 17 [online]. Disponível: [https://doi.org/10.1175/15200442\(2004\)017<3203:CCOALD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(2004)017<3203:CCOALD>2.0.CO;2). Acesso: 08 de mai 2017.
- PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas., (2013), Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, 24 p.
- Perez-Marin, A.M., de Mendonça Barreto Cavalcante, A., de Medeiros, S.S., de Melo Tinôco, L.B., Salcedo, I.H. 2012. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?. *Parcerias Estratégicas* 34.

- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., Rafaj, P. 2011. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change* [online]. Disponível: 10.1007/s10584-011-0149-y. Acesso: 10 de mai. 2017.
- Sampaio, E.V.S.B., Sampaio, Y., Araújo, T.V. S.B.; Sampaio, G.R. 2003. Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife: Editora Universitária da UFPE, 202 p.
- Sorribas, M.V., Paiva, R.C., Melack, J.M., Bravo, J.M., Jones, C., Carvalho, L., Beighley, E., Forsberg, B. Costa, M. H. 2016. Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. *Climatic Change* [online]. Disponível: DOI 10.1007/s10584-016-1640-2. Acesso: 11 mai 2017.
- Souza, E. B.; Alves, J. M. B.; Nobre, P. 1998. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia* 13, 45-55.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38. Disponível: 10.2307/210739. Acesso: 10 mai 2017.
- UNEP. United nations environment programme., 1992. World atlas of desertification. Barrow, C.J., Middleton, N., Thomas, D.S.G. (Eds). Edward Arnold, London, Land Degradation and Development, 4, 249 p.
- UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1979. Map of the world distribution of arid regions: Map at scale 1:25000,000 with explanatory note. MAB Technical Notes 7, Paris, 54 p.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5 - 31. Disponível: 10.1007/s10584-011-0148-z. Acesso: 09 mai 2017.