

## ÍNDICE DE ARIDEZ E TENDÊNCIA A DESERTIFICAÇÃO PARA ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NOS ESTADOS DA BAHIA E PERNAMBUCO

LOPES, Iug – iuglopes@hotmail.com  
Universidade Federal do Vale do São Francisco

LEAL, Brauliro Gonçalves – brauliro.leal@univasf.edu.br  
Professor . Universidade Federal do Vale do São Francisco

---

**RESUMO:** As alterações climáticas no mundo estão se acentuando nos últimos anos e o Brasil já vivencia mudanças associadas ao aumento da temperatura, principalmente no Nordeste. O objetivo deste trabalho foi a verificação das variações do Índice de Aridez (IA), classificação e a tendência à desertificação ao longo de 1961 a 2014, para 6 estações da Bahia e Pernambuco. Foi realizado o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico, o do IA, a classificação climática e a tendência à desertificação, com as séries históricas obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia. Também foi realizada a análise estatística para verificação das equações geradas pela regressão, índice de correlação e o Teste *t*. Em todas as estações estudadas pôde-se observar uma redução do IA, para a de Recife, a de Salvador, a de Bom Jesus da Lapa, para a de Cabrobó a redução do IA e a tendência a desertificação foram relativamente pequenas, porém a de Lençóis e a de Garanhuns os IA reduziram mais e a tendência foi maior, causando algumas reclassificações climática e maior elevação das condições de aridez para as projeções nas próximas décadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade climática; Mudanças climáticas; INMET.

*VARIATION AND CLASSIFICAÇÃO OF ARIDITY AND TREND DESERTIFICATION FOR WEATHER STATIONS IN STATE OF BAHIA AND PERNAMBUCO*

**ABSTRACT:** Weather changes worldwide are accentuated in recent years and Brazil already experiencing changes associated with the increase in temperature, especially in the Northeast. The objective of this study was to verify the variations of aridity index (AI), classification and trend of desertification over 1961-2014, for 6 seasons of Bahia and Pernambuco. It was calculated from the Water Balance Climatological, the AI, climate classification and the trend of desertification, with historical data obtained from the National Institute of Meteorology. It was also performed statistical analysis to verify the equations generated by the regression, correlation coefficient and *t* test. In all studied stations it was observed a reduction in AI, for the Recife, the Savior, the Bom Jesus da Lapa and Cabrobó reducing the AI and the desertification trend were relatively small, but the sheets and the Garanhuns AI reduced more and the trend was higher, causing some reclassifications climate and higher elevation of arid conditions for projections in the coming decades.

**KEYWORDS:** Climatic conditions; Climate changes; INMET.

---

### 1. INTRODUÇÃO

As alterações dos fenômenos climáticos no mundo têm sido intensamente discutidas nos últimos anos. E estas discussões podem ser divididas em estudos de mudanças nos ciclos naturais do planeta (Silva e Ribeiro 2012; Cruz et al., 2014) e em modificações provocadas pelas resultantes da ação antrópica (Solomon, 2010). Apesar de não existir uma única fonte que cause estas alterações, já é constatado o aumento da temperatura em diversas partes do planeta.

Segundo Christensen et al. (2007), avaliando dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as regiões entre os trópicos serão afetadas de forma muito intensa por aumentos de temperaturas médias anuais durante o período de 2071 a 2100. As previsões que são realizadas através dos vários modelos climáticos indicam, de uma maneira geral, elevação da temperatura e má distribuição espacial e temporal da precipitação para os próximos anos na Terra.

Para o Brasil, alguns impactos/mudanças no comportamento hidrológico já podem ser associados as mudanças do clima, tendendo principalmente ao aumento da temperatura. Sendo alguns exemplos, os períodos de dessecamento e cheias da Amazônia, as altas frequências de incêndios florestais e a acentuação da pressão na biodiversidade dos ecossistemas tropicais (MARENGO E SOARES, 2003).

Já pode ser encontrado vários estudos que relatam a acentuação da aridez na região Nordeste, a exemplo de Almeida et al. (2014) que apresentam uma tendência significativa de aumento de temperatura média para o Nordeste do Brasil para o período de 2071 a 2100. Em estudos de dados do IPCC, Marengo e Soares (2007) observaram que modelos de previsão, por eles estudados, apresentaram um resultado de aquecimento para a Região Nordeste, chegando a um aumento de 3,0 a 5.5 °C até 2100.

As áreas semiáridas do Brasil, com 980.711 km<sup>2</sup> e a aproximadamente 60% da região Nordeste, estão mais susceptíveis as consequências da elevação da temperatura. Segundo a ONU, são as áreas mais susceptíveis para desertificação e em termos de Estados, pode-se listar o do Ceará, do Piauí, do Rio Grande do Norte, da Paraíba, de Pernambuco, de Alagoas, de Sergipe, da Bahia e de Minas Gerais (DOMINGUES et al., 2008).

Neste contexto, a tendência seria uma acentuação do clima mais seco, reduções da precipitação e, por consequência, elevação da deficiência hídrica, ambos associados com os aumentos da temperatura do ar. As mudanças climáticas que causam redução da disponibilidade hídrica possuem consequências danosas nos âmbitos sociais e econômicos, ocasionando aumento do desemprego, desestruturação do setor agrícola, problemas de saúde e aumento de emigração das áreas mais afetadas (MARENGO et al., 2011; SILVA et al., 2010).

Para as consequências que poderão ocorrer nas características do clima atual, as mais graves seriam a elevação dos IA e das áreas de desertificação devido à elevação da deficiência hídrica. Além de eventos extremos que estaria associado prioritariamente nas regiões que hoje já são áridas ou semiáridas, a exemplo do semiárido brasileiro (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007).

Desde 1991, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) adotou uma conceituação de classificação climática associada ao valor do Índice de Aridez (IA). O cálculo deste índice utiliza-se da evapotranspiração potencial e precipitação. Quando foi determinada a classificação, com três faixas, sendo, Subúmido Úmido; Subúmido Seco; Semiárido (UNEP, 1992). Esse índice foi utilizado inicialmente para verificação dos efeitos antropogênicos nas condições climáticas e hoje é, também utilizada para conhecimento de zoneamento agrícola e das mudanças climáticas de modo geral.

Quando há uma redução no valor IA, têm-se uma elevação tendência a desertificação. Este termo foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU), desde a década de 1980, como sendo a "a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores,

entre eles as variações climáticas e as atividades humanas". Essa situação conduz a redução e destruição do potencial biótico das terras (BESERRA, 2011).

A tendência à desertificação possui várias metodologias e classificações, algumas sendo mais completas, que abrange aspectos sociais e econômicos, e outras mais simples, que são oriundas de estudos climatológicos. Uma das metodologias mais simples e aplicadas é o uso nível de susceptibilidade à desertificação com base em faixas dos IA, proposta por Matallo Júnior e Schenkel (2003). Essa classificação é utilizada como padrão no Plano Nacional de Combate à Desertificação e possui três categorias de susceptibilidade, sendo Muito Alta, Alta e Moderada, e variam conforme cada faixa de escala do IA.

A fim de prever os cenários futuros com maior acerto para o clima e as suas modificações, uma vez que estes estão associados a qualidade de vida e aos fenômenos sociais e econômicos das populações que possivelmente são afetados direta e indiretamente por alterações que está ocorrendo no clima da Terra.

Existem vários modelos de previsões e projeções climáticas (COSTA et al., 2012; SOUSA, 2007), porém não se encontra na literatura nenhum que contemplasse o estudo histórico do IA. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar o estudo de dados de séries históricas para precipitação e temperatura de estações, nos estados da Bahia e Pernambuco, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a fim de subsidiar o conhecimento das variações do IA ao longo dos anos. Também enquadrar o IA pela classificação da aridez e a tendência à desertificação, além de propor uma projeção do IA.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo foi uma secção latitudinal para Bahia e outra para Pernambuco. Em termos de latitude, no estado da Bahia variou de -12,56 a -13,26° e para longitude foi de -38,53 a -43,41°. Para o estado de Pernambuco variou de -8,05 a -8,51° e de -34,95 a -39,33°, para latitude e longitude, respectivamente.

### **2.1. Dados utilizados**

Como pode-se observar na Figura 1, as estações meteorológicas da secção da Bahia, estão situadas nos municípios de Salvador, Lençóis e Bom Jesus da Lapa. Para a de Pernambuco estão em Recife, Garanhuns e Cabrobó. A localização das estações e algumas referências estão na Tabela 1.

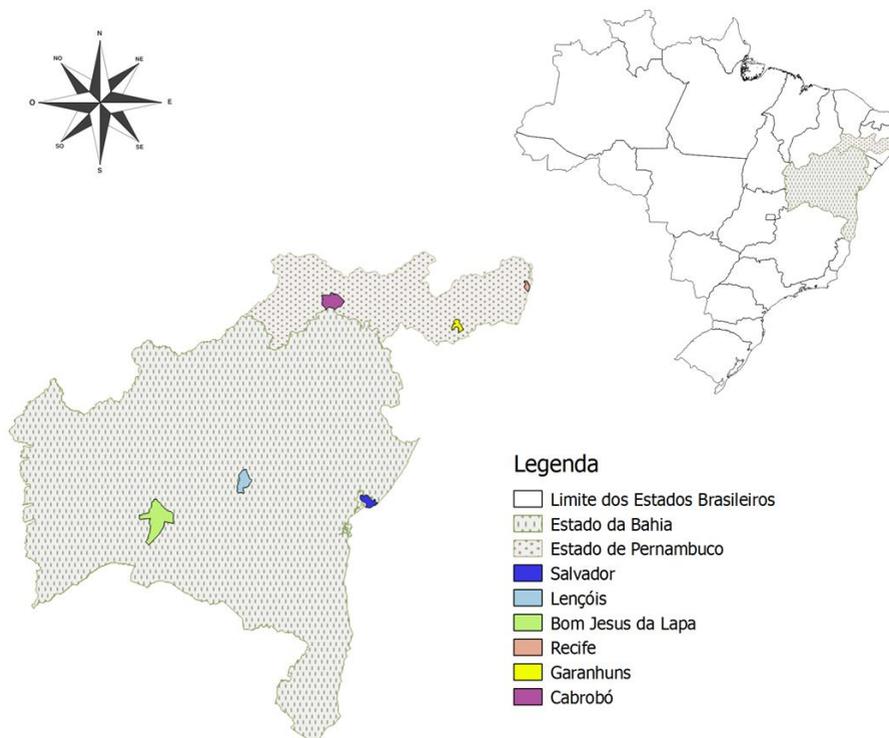


Figura 1. Localização das cidades que estão localizadas as estações meteorológica.

Os dados normais de temperatura média condensada e precipitação foram obtidos junto ao INMET, referentes às estações e o período de 1961 a 2014. No período considerado, foram identificados 25 séries de 30 anos consecutivos, conforme recomenda a *World Meteorological Organization* (WMO, 1989), que é um tempo longo o suficiente para filtrar as variações interanual ou anomalias, mas também curto o suficiente para ser capaz de mostrar mais as tendências climáticas. As séries foram identificadas com um S antes do ano superior. A primeira série, de 1961 a 1990, denominada S1990, a segunda, de 1962 a 1991, denominada S1991, e assim por diante, até a vigésima quinta, de 1985 a 2014, denominada S2014.

Tabela 1. Identificação das estações e suas características. Sendo: e: identificação pelo INMET; Long.: longitude; Lat.: latitude; Alt.: altitude.

Secção do estado da Bahia				
e	Localidade	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)
83229	Salvador	-13,01	-38,53	51,41
83242	Lençóis	-12,56	-41,38	438,74
83288	Bom Jesus da Lapa	-13,26	-43,41	439,96
Secção do estado de Pernambuco				
e	Localidade,	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)
82900	Recife	-8,05	-34,95	10,00
82890	Garanhuns	-8,41	-37,08	680,70
82886	Cabrobó	-8,51	-39,33	341,46

## 2.2. Balanço Hídrico Climatológico

Os dados de temperatura média e precipitação foram utilizados de forma direta no cálculo de precipitação e de evapotranspiração potencial, ambos mensais. Segundo a metodologia proposta por Thornthwaite e Matter (1955) foram calculados 150 Balanços Hídrico Climatológico (BHC), 25 para cada estação, no período de 1961 a 2014.

O cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) (mensal) é realizado através da Equação 1:

$$ETP = 16,2 [10.T/ I]^a \quad \text{Eq. 1}$$

Onde T corresponde a temperatura média condensada mensal do ar (°C) e I o índice de calor. O valor de a é determinado em função do I, de acordo com a Equação 2:

$$a = 6,750 \times 10^{-3}I - 7,711 \times 10^{-5}I + 1,792 \times 10^{-2}I + 0,492 \quad \text{Eq. 2}$$

Esse cálculo foi realizado com o auxílio da planilha eletrônica "BHnorm61", elaborada por Rolim et al. (1998), e a Capacidade de Água Disponível (CAD) utilizada foi 100 mm.

Obteve-se o valor da precipitação e da evapotranspiração no formato anual, para o cálculo do índice de aridez.

## 2.3. Calculo de Índice de Aridez e da tendência à desertificação

O Índice de Aridez foi desenvolvido por Thornthwaite (1948) e complementado por Penman (1953), pôde ser calculado pela Equação 3:

$$IA = Pr/ETP \quad \text{Eq. 3}$$

O mesmo número de cálculos do BHC foi aplicado para o IA. Para as seis estações selecionadas foram determinadas a classificação climática (Tabela 2) segundo a metodologia do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP,1992).

Tabela 2. Classificação climática com o auxílio do uso do IA, adaptada da metodologia da UNEP (1992).

Classes Climáticas	Índice de Aridez
Úmido	$IA \geq 1,00$
Subúmido Úmido	$0,65 < IA < 1,00$
Subúmido Seco	$0,50 < IA \leq 0,65$
Semiárido	$0,20 < IA \leq 0,50$
Árido	$0,05 < IA \leq 0,20$
Hiperárido	$IA \leq 0,05$

Com o IA calculado pôde-se classificar o nível de susceptibilidade à desertificação, adaptado da classificação (Tabela 3) proposta por Matallo Júnior e Schenkel (2003).

Tabela 3. Classificação quanto ao nível de susceptibilidade à desertificação com o auxílio do uso do Índice de Aridez, adaptada da metodologia de Matallo Júnior (2001).

Nível de susceptibilidade à desertificação	Índice de Aridez
Superior a moderada	IA > 0,65
Moderada	0,51 < IA < 0,65
Alta	0,21 < IA < 0,50
Muito alta	0,05 < IA < 0,20
Inferior a muito alta	IA < 0,05

Conhecendo-se as séries históricas meteorológicas e o IA, pode-se caracterizar a disponibilidade da água e o planejamento para o uso. Pode também destacar os períodos anuais que serão críticos, com perdas ou excedentes hídricos (SOUZA et al., 2014).

#### 2.4. Análise Estatística

Realizou-se análise de regressão, a fim de identificar a tendência do IA na série histórica, e por meio do teste de significância do coeficiente de correlação ( $r^2$ ), Equação 4 (TABARI et al., 2011; WANDERLEY et al., 2013).

$$y = a + bx \quad \text{Eq. 4}$$

Sendo:

y - Índice de Aridez;

x - Série histórica;

a e b - Coeficientes da regressão calculados pelo método dos mínimos quadrados.

Considerando a regressão linear, têm-se "y" como IA e "x" como tempo. Foi aplicada a todas estações o Teste t para verificar se existe uma tendência de correlação (com n-2 graus de liberdade), Equação 5.

$$EPb = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a \sum y - b \sum xy}{(n-2) \left( \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right)}} \quad \text{Eq. 5}$$

Sendo:

y - Índice de Aridez;

x - Série histórica;

a e b - coeficientes da regressão calculados pelo método dos mínimos quadrados;

n - número do espaço amostral, n=25.

A hipótese de que não há a tendência de correlação pode ser rejeitada se o valor de x calculado é maior, em valor absoluto, do que o valor crítico, a um nível de significância  $\alpha$ . Para os cálculos dos testes de tendências foram adotados os níveis de significância de 5% e 1%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos por estado de localização das estações meteorológica, dispostos em tabelas e em gráficos.

#### 3.1. Bahia

Com os resultados do IA foi construído um gráfico, disposto na Figura 2.

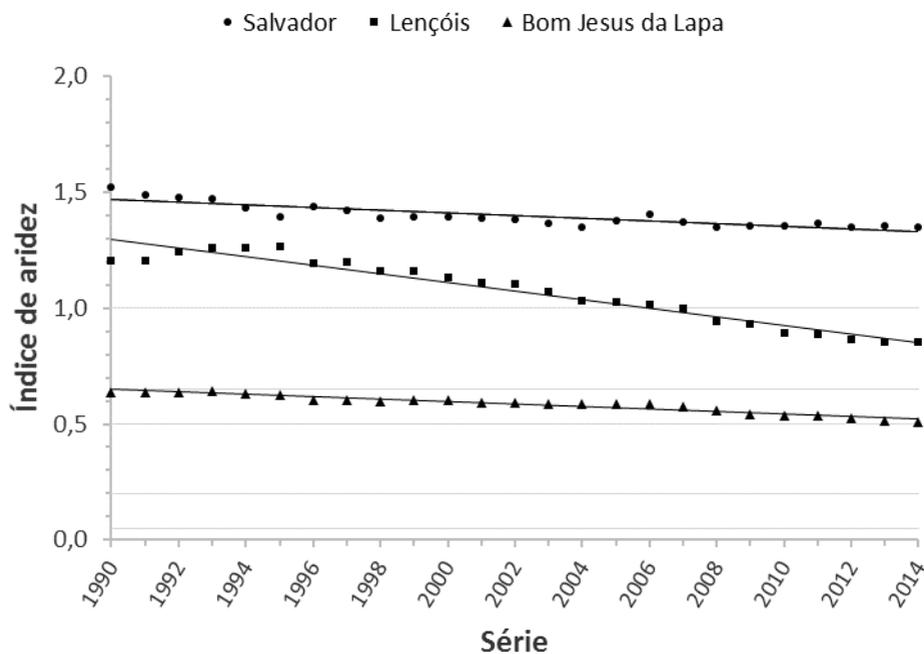


Figura 2. Dispersão do IA ao longo das séries e suas respectivas equações da regressão linear. As linhas em cinza (paralelas ao eixo da série) representam as faixas de classificação climática pela aridez, adaptada da metodologia da UNEP (1992), sendo  $IA < 0,05$  Hiperárido,  $0,05 < IA < 0,2$  Árido,  $0,20 < IA < 0,5$  Semiárido,  $0,5 < IA < 0,65$  Subúmido Seco,  $0,65 < IA < 1$  Subúmido Úmido,  $1,00 < IA$  Úmido.

Nos valores de IA observou-se a redução de forma seguida e gradual, consequência de uma modificação nos valores de ETP e/ou Pr.

Para a estação localizada em Salvador, verificou-se que os valores de IA reduziram de 1,52 a 1,35 entre S1990 e S2014. Essa redução pode estar associada a uma condição climática próximo a estabilidade, ou seja, com poucas variações nos dados utilizados para o estudo. Valores do IA calculados por Souza et al. (2014) foram da ordem de 1,81 para o período de 1998 à 2012 e difere dos dados de IA calculados para as séries. A diferença pode estar relacionada ao período de 15 anos em que os autores utilizaram e que não classifica-se como Normal Climatológica. Apesar dos resultados diferirem, a classificação climática pelo IA é igual, Úmida.

Para a estação locada em Lençóis, a redução nos dados de IA foi de 1,2 na S1990 para 0,86 na S2014. Esta redução fez com que esta estação passasse por uma reclassificação climática a partir da S2008, em que foi Úmido para

Subúmido Úmido. Resultados para IA encontrados por Silva e Azevedo (2000) no período de 1950 a 1994, foram semelhantes na S1994 e de mesma classificação, como Úmido.

Na estação de Bom Jesus da Lapa pode-se observar que não ocorreu mudanças na faixa de classificação climática. Para o período equivalente a S1990, o valor calculado foi de 0,64 e para S2014 foi de 0,51. Apesar dos dados da série inicial e final de IA apresentarem uma diferença de apenas 0,13, pode representar um clima em que já se encontra em condições extremas de ETP e Pr. Santos (2008) calculou o IA para a S1990 e obteve 0,42, que diferiu na a classificação climática, onde 0,42 é Semiárido e 0,64 é Subúmido Seco, próximo ao limite de Subúmido Úmido. Essa diferença pode estar associada a dados climáticos de origens diferentes, apesar das fontes serem da mesma cidade. Quanto a redução dos dados de IA pode ser explicado por Silva e Azevedo (2008), que constataram em seus resultados para a Região do Baixo Médio São Francisco onde ocorreu um aumento da temperatura, principalmente a máxima, e uma redução da precipitação, principalmente a mínima.

Para verificação da representatividade das regressões linear geradas, elaborou-se a Tabela 4 como resumo estatístico.

Tabela 4. Equações que representam o comportamento da variação do Índice de Aridez e as suas respectivas significâncias para as localizadas no estado da Bahia. Sendo: x: série histórica de S1990 a S2014; Y: IA ajustado pela equação.

Localidade da estação	Equação	r <sup>2</sup>	Teste t
Salvador	Y= -0,0058x + 12,987	0,7674	Significativo a 1%
Lençóis	Y= -0,0186x + 38,248	0,9415	Significativo a 1%
Bom Jesus da Lapa	Y= -0,0053x + 11,246	0,9467	Significativo a 1%

Observando a redução dos valores de IA das três estações, constatados pelo coeficiente angular das equações, pôde-se verificar que foram semelhantes para a de Salvador e a de Bom Jesus da Lapa. Para a estação de Lençóis foram menores em valor absoluto o coeficiente. Quando correlacionado com os dois possíveis fatores de modificação climática mais estudados hoje, tende a estar pouco relacionado com alterações naturais devido as estações estarem em latitude semelhantes e assim deveriam estar proporcionando reduções semelhantes para todas. Os valores de IA para as estações também são influenciados pela continentalidade, reduzindo a disponibilidade hídrica de maneira proporcional com o afastamento da influência do mar.

Quanto aos valores encontrados para o r<sup>2</sup> das equações, foram relativamente altos, em valores, devido se tratar de dados climatológicos que nem sempre são disponibilizados em quantidade e qualidade. O menor coeficiente de correlação (r<sup>2</sup>) foi de aproximadamente 77%, para Salvador e as outras duas ficaram superior a 94%. E apesar das diversas metodologias que existem, não tem uma que seja a mais precisa, assim para este estudo estatístico de variação de séries de 30 anos, observou resultados representativos e assim pode ser utilizada para compreensão de vários fenômenos climáticos.

Para todas as estações do estado da Bahia, pode-se verificar a representatividade da dependência da variável IA em relação ao tempo, para a equação linear, através do Teste t. Sendo todas significativas a 1%.

Os resultados de classificação da tendência à desertificação para as estações localizadas em Salvador, em Lençóis e em Bom Jesus da Lapa estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Valores da classificação da tendência a desertificação, das estações localizadas no estado da Bahia. Sendo: 1: Superior a Moderada; 2: Moderada; 3: Alta.

Série	Tendência a desertificação		
	Salvador	Lençóis	Bom Jesus da Lapa
1990	1	1	2
1991	1	1	2
1992	1	1	2
1993	1	1	2
1994	1	1	2
1995	1	1	2
1996	1	1	2
1997	1	1	2
1998	1	1	2
1999	1	1	2
2000	1	1	2
2001	1	1	2
2002	1	1	2
2003	1	1	2
2004	1	1	2
2005	1	1	2
2006	1	1	2
2007	1	1	2
2008	1	1	2
2009	1	1	2
2010	1	1	2
2011	1	1	2
2012	1	1	2
2013	1	1	2
2014	1	1	3

Foi observado apenas uma reclassificação na tendência a desertificação para as estações localizadas na Bahia, sendo para Bom Jesus da Lapa e na S2014. Essa pequena alteração pode ser explicada pelo fato das estações estarem localizadas em três microrregiões diferentes e delimitadas por aspectos climáticos (SILVA et al., 2012), sendo a de Salvador no Recôncavo, a de Lençóis na Chapada Diamantina e a de Bom Jesus da Lapa no Médio São Francisco.

Ainda tratando da mudança na tendência a desertificação para a de Bom Jesus da Lapa, a mesma pode ser melhor compreendida com os resultados de Fernandes et al. (2009) que relata a influência do processo de estiagem vivenciado na última década.

Analisando os dados de tendência para a estação de Lençóis, que apesar do decréscimo do IA não provocar mudança, deve-se salientar que possivelmente ocorrerá uma modificação nos próximos anos e tornar-se alta a sua tendência a

desertificação. Essa situação pode estar relacionada com as consequências das ações antrópicas.

Quanto a verificação da projeção do IA para os próximos 50 anos nas estações da Bahia, foi construído um gráfico utilizando a equação gerada pela regressão linear e está disposto na Figura 3.

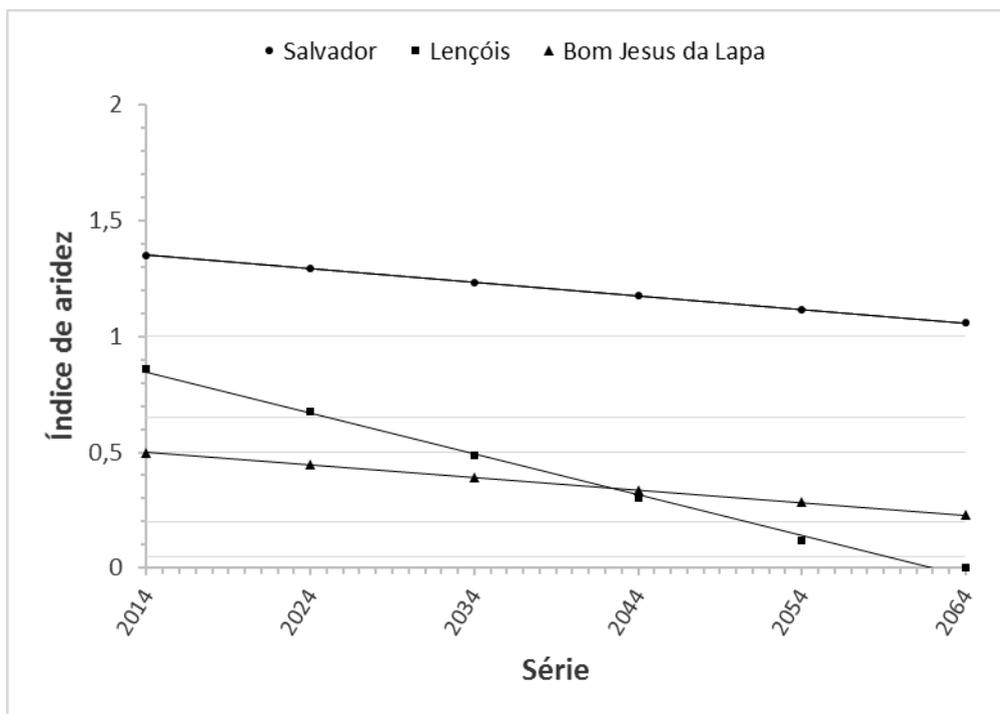


Figura 3. Projeções do IA para os próximos 50 anos, utilizando a equação que ajusta a dispersão da variação do IA para as estações meteorológicas localizadas estado da Bahia. As linhas em cinza (paralelas ao eixo da série) representam as faixas de classificação climática pela aridez, adaptada da metodologia da UNEP, sendo  $IA < 0,05$  Hiperárido,  $0,05 < IA < 0,2$  Árido,  $0,20 < IA < 0,5$  Semiárido,  $0,5 < IA < 0,65$  Subúmido Seco,  $0,65 < IA < 1$  Subúmido Úmido,  $1,00 < IA$  Úmido.

Em observação da projeção do IA para os próximos 50, das três estações, verifica-se valores muito diferentes do que foi encontrado para a S1990.

Para a estação de Lençóis pôde-se verificar que as condições climáticas serão mais agravadas, onde tem-se uma sequência de redução muito grande. Nesta, o clima possuía uma classificação como Úmido na S1990 e tenderá a Hiperárido dentro dos próximos 50 anos. Assim, como Lençóis localiza-se em uma zona de transição, observa-se que a fronteira de transição está mudando e o que contribui são as consequências das ações antrópicas.

Os dados da estação de Bom Jesus da Lapa, que tende a uma classificação Semiárida nos próximos 50 anos, podem ser compreendidos através dos resultados obtidos por Grande et al. (2014), em que indicam, para microrregiões mais secas e para o período de 2070 a 2099, uma elevação de temperatura em aproximadamente 2,5 °C e 3,0 °C e uma redução da precipitação média mensal, em relação aos observados atualmente.

Quando observado para a estação de Salvador, não se observa reduções que possibilitem mudanças na classificação. O que pode estar associado principalmente a sua localização geográfica privilegiada de índice pluviométrico.

De uma maneira geral essas reduções do IA vai representar uma redução da disponibilidade hídrica, uma vez que é a razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial.

Sabendo que cada estação da Bahia possui sua caracterização climática originária da localização (situadas no litoral, na zona de transição e na mais agreste/seca), visualizou-se que as influencias das condições climáticas, principalmente o efeito da continentalidade, estão reduzindo temporal e espacialmente quando vai se adentrando no continente.

### 3.2. Pernambuco

Com os resultados do IA, também, foi construído um gráfico, disposto na Figura 4.

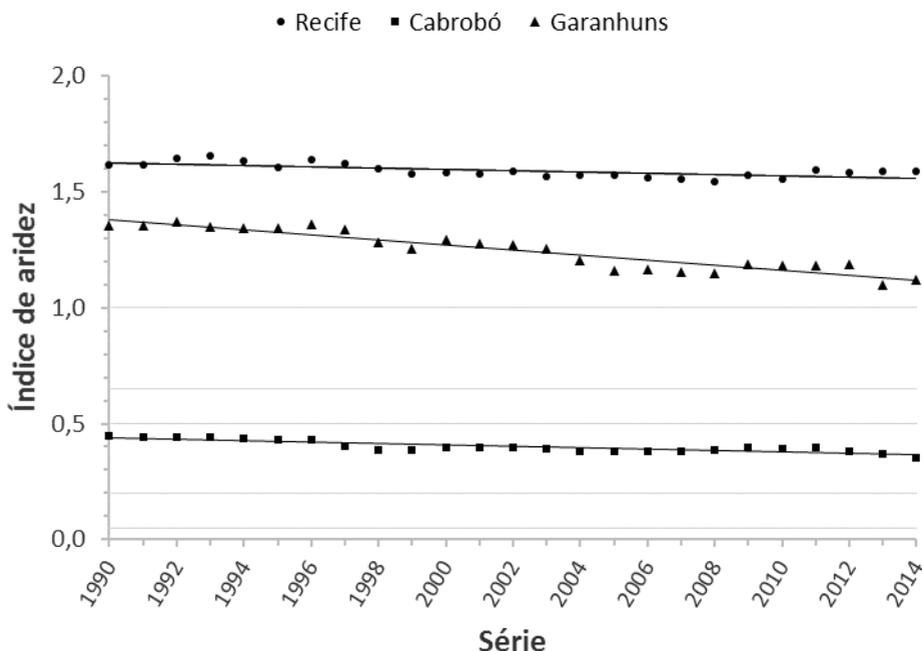


Figura 4. Dispersão do IA ao longo dos anos e suas respectivas curvas de tendência, para as estações meteorológicas do estado de Pernambuco. As linhas em cinza (paralelas ao eixo do tempo) representam as faixas de classificação do UNEP (1992), sendo  $IA < 0,05$  Hiperárido,  $0,05 < IA < 0,2$  Árido,  $0,20 < IA < 0,5$  Semiárido,  $0,5 < IA < 0,65$  Subúmido Seco,  $0,65 < IA < 1$  Subúmido Úmido,  $1,00 < IA$  Úmido.

Para os dados calculados de IA nas três estações do estado de Pernambuco, observou uma redução contínua e em uma graduação pequena.

Para a estação localizada em Recife, foi observado através dos dados do IA que na S1990 foi 1,62 e na S2014 foi 1,59. Assim a diferença entre as séries é de 0,03 e pode ser compreendido que a estação apresenta a característica Úmida bem consolidada, que não variou no período de 1961 a 2014. Esses dados podem ser melhores compreendidos quando observados os resultados de Dantas et al. (2008), onde relatam que para a área da estação de Recife, existem BHC positivo durante cerca de 8 a 11 meses. Além de ter contabilizado uma redução da precipitação da ordem de 2,3 mm, no período de 1961 a 2000, considerada pouco significativos devido os dados de tal grandeza não causarem

mudanças, em grandes proporções. O fator de continentalidade pode estar contribuindo para a estabilidade das características climáticas.

Para a estação de Cabrobó, observa-se uma redução de 0,45 para 0,35 da S1990 para S2014. Essa é uma localidade que se encontra em déficit hídrico observando o BHC. A redução no IA, em regiões que já são limitadas climaticamente e possuem uma classificação Semiárida, são casos de serem estudadas as interferências humanas nessas características. Para Silva et al. (2011) observou em estudo que a desertificação não está associada apenas com o IA, é também relacionado com o mau uso do solo, com a retirada da vegetação nativa, tornando o processo de degradação acelerado.

Quando observado os resultados para a estação de Garanhuns, pôde-se constatar uma redução no IA da ordem de 0,24 da S1990 a S2014. Esta variação pode ser melhor compreendida com as repostas das ações antrópicas. Santos et al. (2010), em estudo do IA para Garanhuns verificou que há uma tendência de redução do IA nas séries históricas, porém não significativa e de forma espacial para sua microrregião. Porém com uma redução do IA muito acentuada, é pouco provável que realmente não tenha acontecido uma redução pluviométrica e/ou elevação da evapotranspiração de forma significativa, dados que podem ser estudados de forma específica através do BHC.

Analisando os dados dos IA em conjunto para as estações do estado de Pernambuco, principalmente para as das microrregiões do Agreste e do Sertão, pode ser compreendido essa redução na má distribuição das chuvas entre as microrregiões de Pernambuco, que foi relatada ainda na década de 70 por Nimer (1979). Na mesma perspectiva que todas estão em latitude semelhante e apresentaram redução diferenciadas, os fatores que causaram essas reduções são de âmbitos, inicialmente, locais.

A análise estatística foi realizada como descrito na metodologia e na Tabela 6 consta o resumo estatístico.

Tabela 6. Equações que representam o comportamento da variação do Índice de Aridez e as suas respectivas significâncias para as estações localizadas no estado de Pernambuco. Sendo: x: série histórica de S1990 a S2014; Y: IA ajustado pela equação.

Localidade da estação	Equação	r <sup>2</sup>	Teste t
Recife	Y=-0,0029x + 7,4042	0,5243	Significativo a 5%
Cabrobó	Y=-0,0031x + 6,5493	0,7596	Significativo a 1%
Garanhuns	Y=-0,0111x + 23,529	0,893	Significativo a 1%

As equações geradas por regressão no modelo linear para Pernambuco apresentaram uma variação na qualidade do r<sup>2</sup> de 52% a 89%, e tendo esses dados como os mais concretos, pode-se considerar uma possível variação cíclica na temperatura e precipitação ou até mesmo regiões com poucas influências das altas de temperatura.

Com a análise estatística realizada para IA, observou-se que as equações geradas foram semelhantes em termos de coeficientes angulares para as estações de Recife e Cabrobó. Essa situação deve ser estudada de forma aprofundada uma vez que a de Cabrobó é classificada como Semiárida e reduz da mesma forma que uma Úmida. O coeficiente angular para a de Garanhuns foi o maior entres as três e também deve ser estudada as causas desta redução e as suas consequências ao longo tempo.

Apesar dos resultados obtidos com os dados do estado de Pernambuco não serem simples de compreensão, a metodologia torna-se mais uma opção para estudos dos parâmetros climáticos tendo em vista a representatividade da

dependência da variável IA em relação as séries, para a equação linear, através do Teste *t*. Sendo todas significativas a 1%, com exceção de Recife que foi de 5%.

Os resultados de classificação da tendência a desertificação para as estações localizadas em Recife, Garanhuns e Cabrobó estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7. Classificação da tendência a desertificação, sendo que os números 1 e 3, abreviam Superior a Moderada e Alta, respectivamente. Sendo: 1: Superior a Moderada; 3: Alta.

Série	Tendência a desertificação		
	Cabrobó	Recife	Garanhuns
1990	3	1	1
1991	3	1	1
1992	3	1	1
1993	3	1	1
1994	3	1	1
1995	3	1	1
1996	3	1	1
1997	3	1	1
1998	3	1	1
1999	3	1	1
2000	3	1	1
2001	3	1	1
2002	3	1	1
2003	3	1	1
2004	3	1	1
2005	3	1	1
2006	3	1	1
2007	3	1	1
2008	3	1	1
2009	3	1	1
2010	3	1	1
2011	3	1	1
2012	3	1	1
2013	3	1	1
2014	3	1	1

Observando a tendência a desertificação das três estações localizadas em Pernambuco, pôde-se constatar que não ocorreu alterações para nenhuma, porém a de Cabrobó apresenta a maior tendência a desertificação e a sua classificação é Alta. Deve-se salientar que as estações de Cabrobó e de Garanhuns estão próximas a uma zona de mudança e com uma perspectiva de redução do IA, assim podem ser reclassificadas nos próximos anos para uma elevação do nível de desertificação. Além da tendência de desertificação da

última década está mais alta e pode estar associada ao rigor do período de estiagens.

Para projeção do IA nos próximos 50 anos, foi construído um gráfico utilizando a equação gerada pela regressão linear e está disposto na Figura 5.

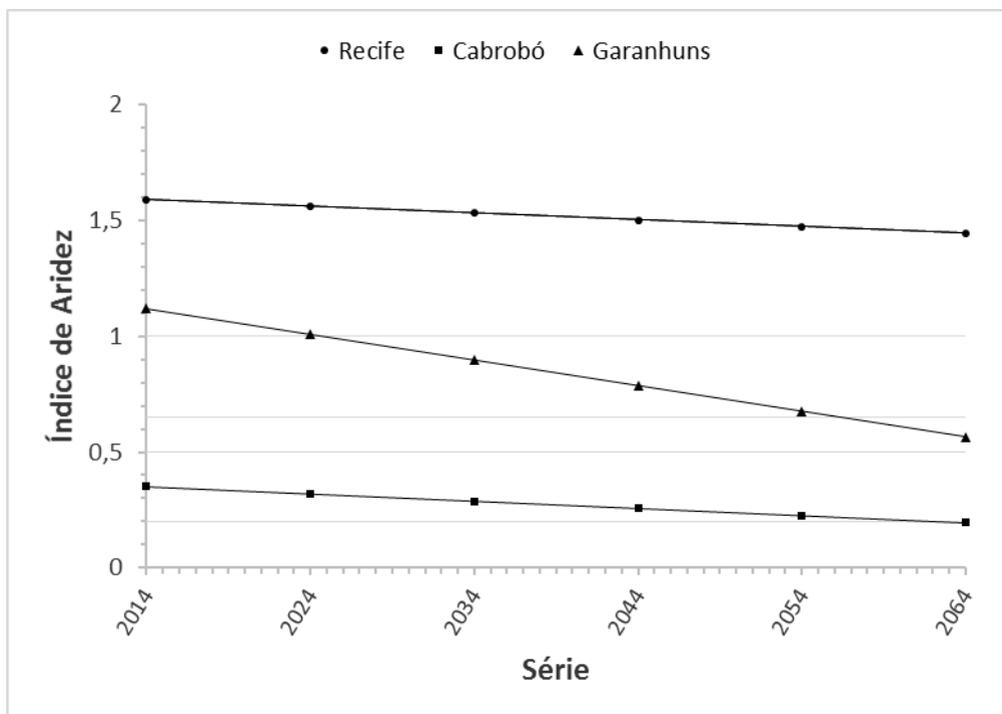


Figura 5. Projeções do Índice de Aridez para os próximos 50 anos, utilizando a equação que ajusta a dispersão a variação IA para as estações meteorológicas do estado de Pernambuco. As linhas em cinza (paralelas ao eixo do tempo) representam as faixas de classificação do UNEP (1992), sendo  $IA < 0,05$  Hiperárido,  $0,05 < IA < 0,2$  Árido,  $0,20 < IA < 0,5$  Semiárido,  $0,5 < IA < 0,65$  Subúmido Seco,  $0,65 < IA < 1$  Subúmido Úmido,  $1,00 < IA$  Úmido.

Observa-se uma discreta redução na projeção do IA para a estação de Recife. Essa situação pode estar associada aos elevados índices de precipitação para as regiões litorâneas.

A situação da redução do IA para a estação de Garanhuns é acentuada e passará por mudanças de classificação climática quanto a aridez. Essa situação pode contribuir na indisponibilidade hídrica que já é reduzida nos dias atuais para a microrregião ao qual está situado o município.

O aumento das condições de aridez de forma precoce para Cabrobó pode estar associado a uma antecipação de alguns fenômenos que ocorreriam próximo ao ano de 2070, sendo que a classificação ficará Hiperárida em 2064. Sendo estes, aumento da temperatura do ar, redução das chuvas e da umidade atmosférica, aumentando o saldo negativo das regiões mais áridas (SANTOS et al., 2010).

Em uma observação geral para as estações locais em Pernambuco, verifica-se que as estações não apresentaram variação qualquer para a classificação climática quanto a aridez e susceptibilidade a desertificação. Estes podem estar relacionados com uma maior estabilidade, advinda de fenômenos climáticos que não se comportam da mesma maneira em todas. Uma outra situação que

influencia e permite resultados diferenciados é a posição latitudinal em que se localizam os estados, através da receptação diferenciada de radiação solar e consequentemente fenômenos climáticos.

#### **4. CONCLUSÃO**

Em todas as estações estudadas pôde-se observar uma redução do Índice de Aridez para o período de 1961 a 2015. Nas estações de Recife e Salvador os coeficientes angulares das equações foram menores e assim a redução do IA e a tendência a desertificação nos próximos 50 anos é pouco significativa. Para Lençóis, Bom Jesus da Lapa, Cabrobó e Garanhuns a severidade da aridez foi maior ao longo dos períodos e assim tornando mais susceptíveis a desertificação. Além da elevação da gravidade para as projeções nas próximas décadas.

O estudo da tendência das condições de aridez foi possível após a confirmação da dependência da variável IA em relação ao tempo, no Teste *t*. A metodologia utilizada para os valores sugeridos de IA no futuro, permite a aplicação geral, desde que não haja uma projeção temporal muito grande. Como o estudo ocorreu de 1961 a 2014 (50 anos), a cada 10 anos projetados vão se utilizando 20% dos dados estudados e assim, com o aumento do tempo vai reduzindo a sua eficácia de previsibilidade.

Deve-se realizar estudos com mais estações para verificar a aplicação da metodologia adotada e as respostas para espacialização dos resultados.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia por disponibilizar os dados climáticos das estações estudadas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de mestrado do discente Iug Lopes.

#### **6. REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, H. A.; AGUIAR, D. B.; SILVA, J. N.; DAMASECENO, J. Indicadores hídricos do núcleo de desertificação da Microrregião do Seridó Ocidental da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Vol. 7, No 5 (2014)

BESERRA, E. A. Projeções de Aridez no Nordeste do Brasil para o Século XXI em um Cenário de Aquecimento Global. 2011. 93f. *Dissertação Mestrado (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)*. São José dos Campos-SP.

CHRISTENSEN, J.H., B. HEWITSON, A. BUSUIOC, A. CHEN, X. GAO, I. HELD, R. JONES, R.K. KOLLI, W.-T. KWON, R. LAPRISE, V. MAGAÑA RUEDA, L. MEARNES, C.G. MENÉNDEZ, J. RÄISÄNEN, A. RINKE, A. SARR AND P. WHETTON. Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

COSTA, R. L.; SILVA, F. D. S.; SARMANHO, G. F.; LUCIO, P. S. Imputação Multivariada de dados Diários de Precipitação e Análise de Índices de Extremos Climáticos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 661-675, 2012.

CRUZ, F. R. M. ; SILVA, L. A. ; PEREIRA, E. M. ; LUCENA, R. L. Discussões sobre as mudanças climáticas globais: os alarmistas, os céticos e os modelos de previsão do clima. *GeoTextos*, Vol. 10, N. 1. p. 243-258, 2014.

DANTAS, R. T.; OLIVEIRA, F. M.; LIRA, V. M.; SOUZA, W.M. . Avaliação das alterações de elementos meteorológicos em Recife-PE no período de 1961 a 2000. *Sociedade & Natureza (UFU. Online)*, v. 20, p. 67-74, 2008.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S., RICARDORUIZ, R. M. *Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste*. Belo Horizonte: CEDEPLAR-UFMG, Texto para discussão 340, 2008.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. Índices para a quantificação da seca. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 48 p. *Documentos/Embrapa Arroz e Feijão*, ISSN 1678-9644; 244.

GRANDE, M. H.; GENZ, F.; GALVAO, C. O. Análise da temperatura e da precipitação projetadas para a região metropolitana de Salvador, Bahia, no cenário de mudança climática A2 do período 2070 a 2099. *Revista PINDORAMA*, v. 2, p. 14, 2012.

MARENGO, J.; ALVES, L.; ESERRA, E.; LACERDA, F. Variabilidade e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. *Livro Recursos Hídricos e, Regiões Áridas e Semiáridas*, INSA-MCT. 2011.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC. *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade*. Brasília: SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS - SBF, 2007 (Relatório Técnico (Ministério do Meio Ambiente)).

MARENGO, J.A.; SOARES, W.R. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC. In: TUCCI, C.E.M.; BRAGA, B. (Ed.). *Clima e recursos hídricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.209-242.

MATALLO JÚNIOR, H e SCHENKEL, C. S. (Org). *Desertificação*. Brasília: UNESCO, 2003.

MATALLO JÚNIOR, H. *Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas*. – Brasília: UNESCO, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil*. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília: MMA, 2007.

NIMER, E. *Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba*. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1979.

PENMAN, H.L. *The physical bases of irrigation control*. Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society, 1953, p.913-924. 11p.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. (1998) Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade

real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137.

SANTOS, A. S. Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semiárido da Bahia. *Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável)*. Universidade de Brasília. 2008. 153 p.

SANTOS, N.D.; SILVA, V. de P. R.; SOUSA F. de A. S.; SILVA R. A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.14, n.5, p.492-500, 2010.

SILVA, E. G.; SANTOS, A. S. S. ; BARROS, M. F. M. . *Processo de desertificação em Cabrobó*. In: 63 reunião anual de SBPC, 2011, Goiânia. Cerrado: água, alimento e energia, 2011.

SILVA, G. B.; AZEVEDO, P. V. Índices de Tendências de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 5, p. 141-151, 2008.

SILVA, G. B.; AZEVEDO, P. V. Potencial edafoclimático da "Chapada Diamantina" no Estado da Bahia para o cultivo de citrus. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.8, n.1, p.133-139, 2000.

SILVA, G. B.; SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Cenários de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia através de Estudos Numéricos e Estatísticos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 05, 1019-1034, 2012.

SILVA, M. A.; RIBEIRO V. A. Aquecimento ou resfriamento global? Um único problema de várias respostas. *Revista POLÊMICA*. ISSN 1676-0727, v. 11, n. 3. 2012.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010.

SOLOMON, S.; DANIEL, J. S.; SANFORD, T. J.; MURPHY, D. M.; PLATTNER, G.-K.; KNUTTI, R.; FRIEDLINGSTEIN, P. Persistence of climate changes due to a range of greenhouse gases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, issue 43, pp. 18354-18359. 2010.

SOUSA, R. F. Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semiárido paraibano. *Tese (Doutorado Engenharia Agrícola)* – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 180p. 2007.

SOUZA, S. O.; CÔRREA, W.; FILETI, R.; VALE, C. C. Balanço Hídrico da Bacia do Rio Caravelas (BA) como Subsídio ao Planejamento Agrícola. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Vol. 7, No 1 (2014).

TABARI, H.; MAROFI, S.; AEINI, A.; TALAEE, P. H.; MOHAMMADI, K. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.151, p.128-136, 2011.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v.38, p.55-94, 1948.

THORTHWAITE, C.W.; MATTER, J.R. *The water balance*. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Institute of Thecnology, 104p. 1955.

UNEP. United Nations Environment Programme. *World Atlas of Desertification*. Londres: UNEP/Edward Arnold, 1992. 69 p.

WANDERLEY, H. S. SEDIYAMA, G. C.; JUSTINO, F. B.; ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C. Variabilidade da precipitação no Sertão do São Francisco, estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.17, n.7, p.790-795, jul. 2013.

WMO. *Calculation of monthly and annual 30-year standard normals*, WCDP No. 10, WMOTD No. 341. World Meteorological Organization, Geneva. 1989.

Texto submetido à RBCLima na data de 04/08/2015