



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Cenários de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia através de Estudos Numéricos e Estatísticos

Gildarte Barbosa Silva<sup>1</sup>, Werônica Meira de Souza<sup>2</sup>; Pedro Vieira de Azevedo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prof. Dr. Faculdade Tecnologia e Ciências e da Secretaria de Educação da Bahia. Email: [gildartes@gmail.com](mailto:gildartes@gmail.com)

<sup>2</sup>Prof. Dr.<sup>a</sup>. Unidade Acadêmica de Garanhuns, UFRPE. E-mail: [weronicameira@gmail.com](mailto:weronicameira@gmail.com)

<sup>3</sup>Prof. Dr. Departamento de Ciências Atmosféricas, UFCG. E-mail: [pvieira@dca.ufcg.br](mailto:pvieira@dca.ufcg.br)

Artigo recebido em 18/11/2012 e aceito em 19/11/2012

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo investigar a ocorrência ou ausência de mudanças climáticas no período de 1970 a 2006, em algumas microrregiões do estado da Bahia: Irecê, Oeste, Sudoeste e Baixo Médio São Francisco, através de índices de tendências de mudanças climáticas obtidos da precipitação pluviométrica e das temperaturas máxima e mínima diárias das estações climatológicas das respectivas regiões e de cenários de mudanças climáticas. Utilizou-se os índices de detecção de mudanças climáticas sugeridos pela OMM calculados a partir dos dados de precipitação e das temperaturas máxima e mínima diárias através do software RCLimdex 1.9.0. No estudo numérico foi utilizado o modelo BRAMS. Observou-se que na região de Irecê houve tendência de diminuição da precipitação total anual e aumento da intensidade das chuvas diárias. Na região Oeste houve aumento no número de dias com temperaturas elevadas, aumento nas temperaturas mínimas diárias e aumento na intensidade das chuvas. Na região Sudoeste houve uma tendência de um pequeno aumento dos totais anuais de chuvas. Na região do Baixo Médio São Francisco houve aumento no número de dias com temperatura máxima diária, diminuição das chuvas diárias e da precipitação total anual. Essa variação na precipitação na região pode ser atribuída à circulação de grande escala, enquanto a intensidade das chuvas pode ter influência na variabilidade climática. Cabe aos gestores desse país encarar essa realidade com muita responsabilidade e, sugira ações e medidas eficazes para combatê-la, capacitando a sociedade como um todo para conviver com essa nova realidade.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; estudos numéricos; índices de tendências climáticas.

## Climate Change Scenarios in Bahia through Numerical and Statistical Studies

### ABSTRACT

This work had as objective to investigate the occurrence or absence of climatic changes in the period of 1970 the 2006, in some microregions of the state of the Bahia: Irecê, Oeste, Sudoeste and Baixo Médio São Francisco, through indexes of trends of climatic changes with data of daily total precipitation and the daily temperatures maximum and minimum of the climatological stations of the respective regions and climate change scenarios. One used the indexes of detection of climatic changes suggested by WMO calculated from the data of daily precipitation and the daily temperature through software RCLimdex 1.9.0. The study used numerical model BRAMS. It was observed that in the region of Irecê it had trend of reduction of the annual total precipitation and increase in the intensity of daily rains. In the region Oeste it had increase in the number of days with raised temperatures, increase in the daily minimum temperatures and increase in the intensity of rains. In the Sudeste region it had a trend of a small increase of the annual rain totals. In the region of the Baixo Médio São Francisco it had increase the number of days with daily maximum temperature, reduction of daily rains and the annual total precipitation. This variation in the precipitation in the region can be attributed to the circulation of great scale, while the intensity of rains can have influence in the climatic variability. It is the managers of this country face that reality as something that must be faced with great responsibility, and suggest actions and effective measures to combat it enabling the society as a whole to deal with this new reality.

Keywords: Climatic changes; numerical studies; climate trends.

\* E-mail para correspondência: [weronicameira@gmail.com](mailto:weronicameira@gmail.com) (Souza, W. M.).

## 1. Introdução

No ano de 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) publicou o quarto relatório a respeito dos avanços da ciência referente às mudanças climáticas globais. Apresentando além dos resultados científicos, características importantes: níveis de certeza para as principais conclusões e resultados de modelos de simulação de cenários climáticos futuros.

Alguns estudos simulando os impactos sobre algumas culturas mais importantes para o Brasil através de modelagem foram apresentados por Siqueira (2001) para trigo, milho e soja, por Marengo (2001), Pinto et al. (2002) e Assad et al. (2004) para café, e por Nobre et al. (2005), Assad et al. (2001) para milho, feijão, arroz, soja e café. Estes autores apresentam ainda as perdas econômicas anuais provocadas pelo aumento da temperatura, mantendo-se as características tecnológicas e genéticas das culturas.

Apesar de existirem inúmeros estudos relacionando a variabilidade climática, as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) dos Oceanos Pacífico e Atlântico tropicais, Cardoso e Silva Dias (2000) e França et al. (2000) constataram condições no verão de 1999/2000 totalmente anômalas no clima de várias regiões do Hemisfério Sul, incluindo um inesperado verão ameno no Rio de Janeiro. A variabilidade e a mudança do clima global e regional exercem grande influência nas atividades humanas e

econômicas (Souza e Azevedo, 2012). É de extrema importância determinar o quanto essa variação climática afeta a relação homem-meio, pois o clima afeta diretamente a produção em todos os setores da sociedade, e particularmente, aqueles que dependem exclusivamente dos processos naturais (a agricultura, a pesca, a produção de energia elétrica, etc).

As modificações na superfície do solo, geralmente, alteram os fluxos à superfície, o que pode afetar o tempo e clima com reflexos na vegetação. As características da superfície e por essas mudanças incluem albedo, área foliar, rugosidade e distribuição de biomassa na raiz Asner & Heidrecht (2005). Estas mudanças também podem potencialmente alterar os fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H) influenciando nas variáveis biofísicas (Beltrain, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo a detecção de índices de mudanças climáticas e os efeitos de cenários climáticos, com incremento de 1, 2 e 3°C na temperatura do ar, na produção agrícola do estado da Bahia.

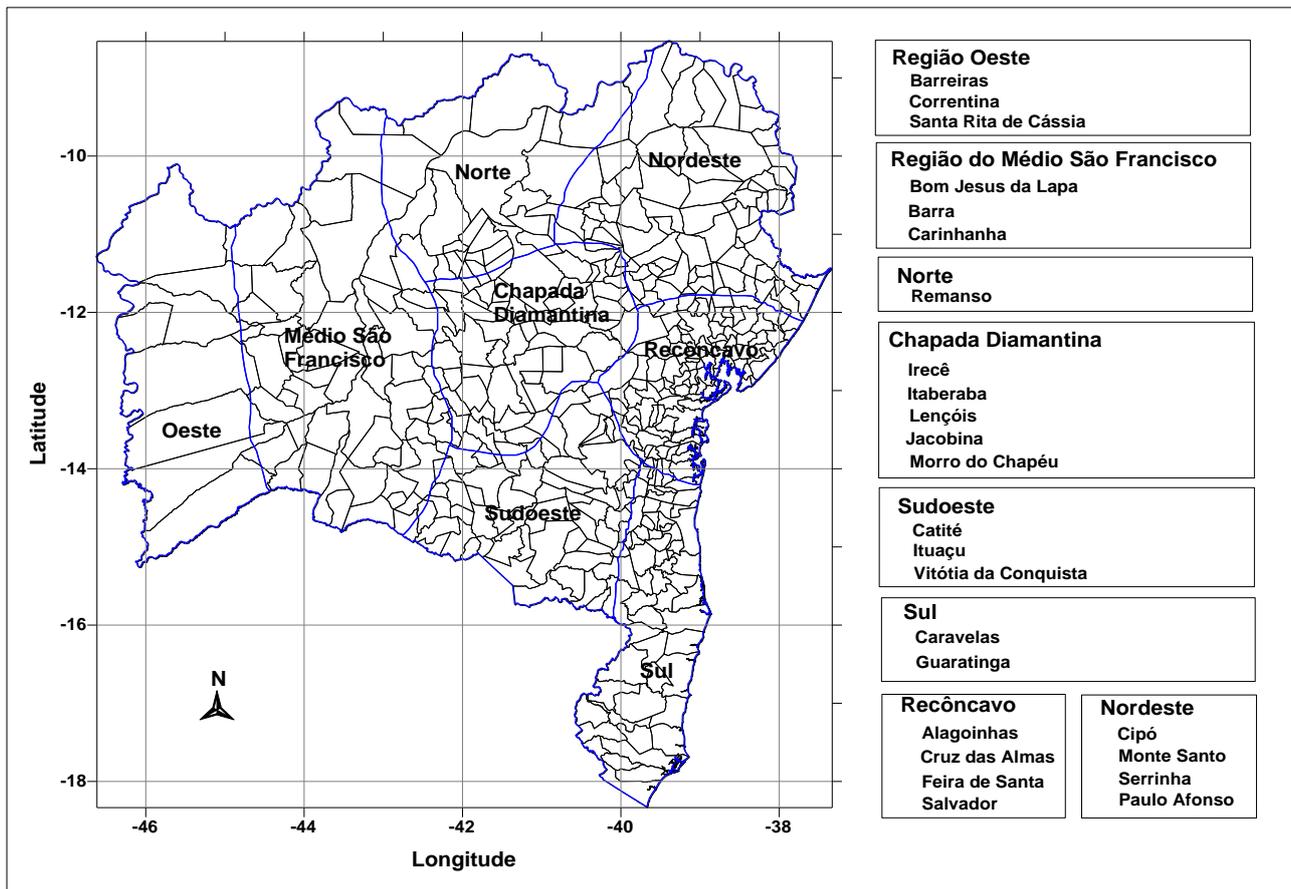
## 2. Material e Métodos

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estado da Bahia possui uma área de aproximadamente 600.000km<sup>2</sup> localizada entre os paralelos 09°S e 18°S e os meridianos 37°W e 46°W. Apresenta um relevo constituído por planícies, vales, serras e montanhas com altitude entre 800 e 1200m. A

Bahia apresenta como principal característica a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação, determinada principalmente por padrões de grande escala da circulação geral da atmosfera, como também por características locais como topografia, vegetação e efeitos de brisas (SEI, 1998). Localizado na Região Nordeste do Brasil sua população total é de 13.070.250, densidade demográfica de 223,2 hab/km<sup>2</sup>. 67,12% da população residem em áreas urbanas e 32,88% em áreas rurais.

Devido à sua extensão geográfica e a diversificação de sua produção, apresenta diversos aglomerados produtivos. A economia baseia-se na indústria, agropecuária, mineração, turismo e nos serviços. O Estado possui 417 municípios, agrupados em 32 microrregiões (Figura 1). Segundo dados da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI, 2011), no ano de 2010 o PIB do estado era de 128.169 bilhões, aproximadamente 4% do PIB do Brasil.



**Figura 1.** Divisão Regional do Estado da Bahia, adaptado de Braga et al. (1999).

## 2.2 Dados e Metodologia

Para realização deste trabalho foram utilizados dados diários da precipitação pluviométrica no período de 1970 a 2006,

referente a oito estações distribuídas ao longo das seguintes Regiões: Chapada da Diamantina ou Central (1 estação), Oeste (3 estações), Sudoeste (1 estação) e Baixo Médio

São Francisco (3 estações). Os dados foram oriundos da extinta Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA).

Os dados de reanálises das temperaturas máxima e mínima foram obtidos no INMET e no National Centers for Environmental Prediction (NCEP) também correspondem ao período de 1970 a 2006. Foi elaborado um programa em FORTRAN para organizar e ler os dados de precipitação pluviométrica, já que se trata de uma composição de diferentes instituições. Para os dados de temperatura utilizou-se o método de interpolação bi cúbica.

O Software RCLimindex 1.9.0 foi utilizado para o processamento dos dados e obtenção dos índices climáticos. A homogeneização dos dados foi realizada através dos seguintes passos: (1) preparação de um arquivo de texto ASCII, composto de seis colunas correspondentes ao ano, mês, dia, precipitação (PRCP); (2) o formato deve ser delimitado por espaços, em geral, cada elemento separado por um ou mais espaços e; (3) os dados faltosos foram codificados como -99.9, enquanto que os registros dos dados foram apresentados em ordem cronológica.

Os índices climáticos utilizados foram; su25 = Número de dias em 1 ano que a temperatura máxima  $>25^{\circ}\text{C}$ ; tr20 = Número de dias em 1 ano quando a temperatura mínima diária é  $>20^{\circ}\text{C}$ ; txx = Valor mensal máximo de temperatura máxima diária  $^{\circ}\text{C}$ ; txn

= Valor mensal máximo de temperatura mínima diária  $^{\circ}\text{C}$ ; txn = Valor mensal mínimo de temperatura máxima diária  $^{\circ}\text{C}$ ; tnn = Valor mensal mínimo de temperatura mínima diária  $^{\circ}\text{C}$ ; rx1day = Quantidade máxima de precipitação em 1 dia consecutivos; rx5day = Quantidade máxima de precipitação em 5 dia consecutivos; R10 = Número de dias em 1 ano com a precipitação  $\geq 10\text{mm}$ ; R20 = Número de dias em 1 ano com a precipitação  $\geq 20\text{mm}$ ; Rnn = número de dias em 1 ano com a precipitação maior que nn  $\geq 50$  (parâmetro definido como a maior precipitação diária; cdd = Número máximo de dias consecutivos com precipitação  $<1\text{mm}$  (dias consecutivos secos); cwd = Número máximo de dias com precipitação  $\geq 1\text{mm}$ ; r95p = precipitação anual total  $>95$  percentil (dias extremamente úmidos); r99p = precipitação anual total  $>99$  percentil (dias extremamente secos); precptot = precipitação total anual em dias úmidos.

No estudo numérico foi usado o modelo BRAMS (Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System), desenvolvido a partir de um conjunto de equações não-hidrostáticas de conservação de massa, momentum e energia. Essas equações são suplementadas com uma seleção de parametrizações para difusão turbulenta, radiação terrestre e solar, e processos úmidos incluindo a formação de nuvens.

O esquema de vegetação utilizado foi o LEAF-3 (Land Ecosystem Atmosphere Feedback Model, vesion 3; Walko et al.,

2000). Neste esquema as superfícies são representadas por quatro componentes, o solo, a vegetação, o ar do dossel e a cobertura de neve. Para cada componente, equações prognósticas são resolvidas para energia e umidade. O solo e a neve consistem de múltiplas camadas. A superfície de grade da célula pode conter múltiplas parcelas, cada uma com seu próprio tipo de vegetação, tipo de solo e ar do dossel. Uma cobertura fracional de terra é especificada para cada parcela. Durante cada passo de tempo o submodelo LEAF-3 é executado para cada parcela separadamente. A diferença entre os tipos de vegetação pode ser expressa por um número de variáveis, incluindo o albedo, calor e capacidade de umidade, resistência da superfície, rugosidade e deslocamento da altura, índice de área foliar, tipo de solo, emissividade de onda longa e fração da vegetação. Nas simulações apenas uma superfície de terra é ativada por célula de grade.

O BRAMS possui 21 classes de

vegetação representadas no modelo por números de 0 a 20. Os parâmetros biofísicos destas foram determinados a partir dos esquemas de vegetação do LEAF2, BATS e SIB2, o Global Ecosystem Framework de Olson foi utilizado como um guia para combinar as classes de uso da terra e os esquemas de classificação do LEAF2, BATS, LDAS e SIB2. A equivalência entre as classes de vegetação é fornecida por Walko e Tremback (2005).

Para inicialização das características da superfície foi utilizado o conjunto de dados de vegetação Olson Global Ecosystem (OGE) e textura de solo do FAO disponível no modelo.

Quatro simulações foram realizadas com as seguintes características: 70x70 grades na horizontal, 55 níveis na vertical com o primeiro nível em 30m. As camadas foram aumentadas em um fator de 1,1 até chegar a 1km permanecendo constante até o topo do modelo. A microfísica foi utilizada no nível 3. A configuração padrão do experimento pode ser observada no Quadro 1.

**Quadro 1.** Definição das características principais para a integração do modelo BRAMS para os experimentos Controle, com incremento de 1°C, 2°C e 3°C na temperatura.

Variável	Atributo
Pólo da grade	(13,43S, 41.98W)
Centro da grade	(13,43S, 41.98W)
Tipo de Radiação	Mahrer & Pielke
Parametrização de convecção	Kain-Fritsch
Tipo de esquema de vegetação	LEAF-3
Microfísica	Nível 3
Limites Laterais	Klemp/Wilhelmson

### 3. Resultados e Discussão

A elaboração de índices de tendências de mudanças climáticas de uma determinada região funciona como ferramenta imprescindível para a compreensão do fenômeno das mudanças climáticas globais. Assim, o IPCC (2001 e 2007) indicaram que, as mudanças nos padrões de precipitação e o desaparecimento das geleiras afetam de forma significativa a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia. Todavia, para melhor compreender a contribuição dos índices de tendências climáticas no clima do estado da Bahia, foram apresentados todos os índices nas tabelas seguintes. Os valores das tendências (Slope), o desvio do Slope (STD do Slope), significância estatística (P-Value) (dos índices

de extremos climáticos) estão apresentados nas tabelas para os municípios e suas respectivas regiões.

#### 3.1 Região Chapada Diamantina ou Central

Essa região é representada pela região de Irecê (Tabela 1). Os índices tr, txx, tnn, r10mm, r20mm, Rnnmm, cwd, rp5p, precptot, apresentaram tendências negativas de mudanças climáticas, porém, os índices su, txn, r10mm, cwd, precptot, apresentaram boa significância estatística. Isso significa que houve aumento no número de dias com precipitação  $\geq 20$  mm; diminuição do número de dias com precipitação  $\geq 1$  mm; diminuição na precipitação total anual. O desvio padrão apresentou-se positivo para todos os índices.

**Tabela 1.** Índices de tendência climática na região de Irecê, no estado da Bahia

Índices	Slope	STD_of_Slope	P_Value
su	1,661	0,711	0,027*
tr	-0,754	1,268	0,557
txx	-0,264	0,25	0,301
txn	0,047	0,024	0,066*
tnx	0,268	0,391	0,498
tnn	-0,074	0,061	0,237
rx1day	0,43	0,422	0,316
rx5day	0,075	0,898	0,934
r10mm	-0,21	0,101	0,046*
r20mm	-0,078	0,069	0,27
Rnnmm	-0,04	0,026	0,128
cdd	0,394	0,259	0,139
cwd	-0,057	0,028	0,051*
r95p	-1,949	2,077	0,356
r99p	0,528	1,221	0,668
precptot	-5,823	3,331	0,091*

\* - Os valores destacados apresentaram alta significância estatística ( $p < 0,1$ ).

Apesar de estar inserida no semi-árido, essa região faz parte do complexo da Chapada Diamantina (região central da Bahia) que atualmente tem na produção de feijão e mamona, a mola propulsora do desenvolvimento da região. A cultura da mamona desempenha um importante papel social, visto que é desenvolvida praticamente por pequenos produtores, além de ser fomentada na perspectiva da expansão do agronegócio baiano com base na agricultura familiar.

### 3.2 Região Oeste

Essa região é representada pelos

municípios de Barreiras, Correntina e Santa Rita de Cássia, Tabela 2. Em Barreiras, os índices rx1d, rx5d, r10mm, r20mm, Rnnmm, cdd, cwd, r95p, r99p e prcptot, apresentaram tendências negativas de mudanças climáticas, mas os índices que mostraram significância estatística foram tr, txx, txn, tnx, rx1d e r20mm. Houve aumento do número de dias no ano em que a temperatura mínima diária é  $>20^{\circ}\text{C}$ ; aumento do valor mensal máximo da temperatura máxima diária; aumento do valor mensal da temperatura mínima diária; diminuição do máximo mensal de precipitação em 1 dia; diminuição de dias do ano em que a precipitação é  $\geq 20\text{mm}$ .

**Tabela 2.** Índices de tendências climáticas para a região Oeste do estado da Bahia

Índices	Barreiras			Correntina			Santa Rita de Cássia		
	Slope	S.Slope	P_Value	Slope	S.Slope	P_Value	Slope	S.Slope	P_Value
su	0,275	0,136	0,053*	2,266	0,609	0,001*	0,645	0,469	0,181
tr	5,818	1,154	0*	-4,826	1,673	0,009*	-0,51	0,286	0,086*
txx	0,003	0,002	0,08*	0,595	0,264	0,034*	0,016	0,013	0,246
txn	0,064	0,028	0,03*	0,08	0,02	0,001*	0,017	0,015	0,259
tnx	0,023	0,007	0,002*	0,86	0,662	0,207	0,004	0,008	0,6
tnn	0,034	0,046	0,468	-0,372	0,099	0,001*	-0,016	0,011	0,162
rx1day	-0,633	0,311	0,051*	0,82	0,445	0,081*	-0,444	0,538	0,419
rx5day	-0,2	0,642	0,758	-0,135	1,039	0,898	0,25	0,761	0,746
r10mm	-0,119	0,107	0,273	-0,021	0,159	0,896	0,019	0,145	0,895
r20mm	-0,128	0,074	0,095*	0,045	0,146	0,76	-0,069	0,099	0,492
Rnnmm	-0,047	0,035	0,19	0,084	0,05	0,109	-0,027	0,043	0,534
cdd	-0,262	0,525	0,622	-0,25	0,886	0,781	-0,07	0,58	0,905
cwd	-0,004	0,056	0,948	-0,012	0,08	0,879	-0,021	0,085	0,811
r95p	-2,948	2,504	0,249	6,78	3,825	0,092*	-2,84	3,122	0,374
r99p	-1,475	1,312	0,27	-0,601	1,142	0,604	-1,063	2,326	0,653
prcptot	-5,192	3,574	0,157	5,194	6,926	0,462	-3,009	5,222	0,571

S.Slope: STD of Slope; \* - \* - os valores destacados apresentaram alta significância estatística ( $p < 0,1$ ).

Em Correntina, os índices *tr*, *tnn*, *rx5d*, *r10mm*, *cdd*, *cwd* e *r99p*, apresentaram tendências negativas de mudanças climáticas, porém, os índices que mostraram significância estatísticas foram *su*, *tr*, *txx*, *txn*, *tnn*, *rx1d*, *Rnnmm* e *r95p*. Demonstra-se que houve um aumento do número de dias do ano com a temperatura  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ; uma diminuição do número de dias no ano em que a temperatura mínima diária é  $>20^{\circ}\text{C}$ ; um aumento do valor mensal máximo da temperatura máxima diária; um aumento do valor mensal mínimo de temperatura máxima diária; uma diminuição do valor mensal mínimo de temperatura mínima diária; um aumento do máximo mensal de precipitação em 1 dia; um aumento do número de dias em 1 ano em que a precipitação  $\geq 50\text{ mm}$ ; e um aumento do número de dias extremamente úmidos.

Em Santa Rita de Cássia, os índices *tr*, *tnn*, *rx1d*, *r20mm*, *Rnnmm*, *cdd*, *cwd*, *r95p*, *r99p*, *prcptot*, apresentaram tendências negativas de mudanças climáticas, porém, apenas *tr* mostrou significância estatística. Houve, apenas, diminuição do número de dias em 1 ano, quando a temperatura mínima era  $>20^{\circ}\text{C}$ . Observa-se que nessa região houve variação principalmente nas temperaturas, isso levou ao aumento do número de dias sem chuva e diminuição da precipitação.

### 3.3 Região Sudoeste

Essa região é representada pelo município de Vitória da Conquista (Tabela 3). Em Vitória da Conquista, os índices *txx*, *tnn*, *r10mm*, *r20mm*, *cdd* e *prcptot*, apresentaram tendências negativas de mudanças climáticas, porém *su*, *tr*, *txx* e *tnn*, apresentaram significância estatística. Houve aumento no número de dias em 1 ano quando a temperatura máxima era  $>25^{\circ}\text{C}$ ; aumento do número de dias com temperatura mínima  $>20^{\circ}\text{C}$ ; diminuição do valor mensal máximo de temperatura máxima diária; diminuição do valor mensal mínimo de temperatura mínima diária. Vale ressaltar que esse município se localiza no planalto da Conquista, numa altitude acima de 800m e está sob o sistema climático das ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). Nessa região houve uma variação principalmente nas temperaturas, levando ao aumento do número de dias sem chuva e conseqüentemente diminuição da precipitação pluviométrica. O clima dessa região é de Subúmido a Seco, e está concentrada nas bordas dos Chapadões Ocidentais, a precipitação média anual varia de 800 a 1.200mm, decrescendo em direção ao centro do Estado. Assim, o déficit hídrico e a evapotranspiração potencial (EP) tendem a aumentar no mesmo sentido (BAHIA, 1998).

**Tabela 3.** Índices de tendências climáticas: região Sudoeste do Estado da Bahia

Índices	Slope	STD_of_Slope	P_Value
<i>su</i>	1.223	0.498	<b>0.02</b>
<i>tr</i>	0.461	0.205	<b>0.032</b>

continuação			
txx	-0.581	0.288	<b>0.053</b>
txn	0.018	0.017	0.29
tnx	0	0.228	0.998
tnn	-0.127	0.035	<b>0.001</b>
rx1day	0.606	0.445	0.186
rx5day	1.15	0.934	0.23
r10mm	-0.162	0.149	0.286
r20mm	-0.048	0.089	0.594
Rnnmm	0.03	0.022	0.172
cdd	-0.994	1.088	0.369
cwd	0.053	0.048	0.279
r95p	1.719	2.143	0.43
r99p	1.837	1.383	0.196
prcptot	-0.063	5.049	0.99

### 3.4 Região do Baixo Médio São Francisco

Essa região é representada pelos municípios de Barra, Bom Jesus da Lapa e Carinhanha, Tabela 4. Em Barra, os índices tr, txx, tn timer, tnn, r10mm, r20mm, cwd e prcptot, apresentaram tendências negativas de mudanças climáticas, porém, os índices su, txn, rx1d, r10mm, r20mm, cwd e prcptot apresentaram boa significância estatística. Isso significa que houve aumento no número de dias com temperatura máxima diária >25 °C; redução no valor mensal de temperatura

máxima diária; diminuição das chuvas máximas em 1 dia; diminuição do número de dias com precipitação máxima de  $\geq 10$  e  $\geq 20$ mm; diminuição do número de dias consecutivos com precipitação  $\geq 1$ mm; diminuição da precipitação anual total em dias úmidos com precipitação  $\geq 1$ mm; diminuição total de dias muito úmidos e diminuição total de dias extremamente secos. O desvio padrão apresentou-se positivo para os demais índices, porém sem significância estatística.

**Tabela 4.** Índices de tendências climáticas para a região do Baixo Médio São Francisco no estado da Bahia.

Índices	Barra			Bom Jesus da Lapa			Carinhanha		
	Slope	S.Slope	P_Value	Slope	S.Slope	P_Value	Slope	S.Slope	P_Value
su	0.942	0.304	0.004*	0.076	0.033	0.029*	2.752	0.588	0*
tr	-0.28	0.54	0.608	-1.434	0.642	0.032*	-4.029	1.052	0*
txx	-0.001	0.01	0.959	-0.009	0.015	0.542	0.73	0.305	0.023*

continuação									
txn	0.138	0.038	0.001*	0.056	0.025	0.032*	0.106	0.022	0*
tnx	-0.011	0.009	0.265	-0.21	0.043	0*	0.906	0.379	0.023*
tnn	-0.053	0.05	0.3	0.032	0.057	0.586	-0.309	0.074	0*
rx1day	0.865	0.489	0.088*	0.087	0.41	0.832	0.694	0.331	0.044*
rx5day	0.607	0.845	0.478	0.689	0.693	0.328	0.26	0.631	0.684
r10mm	-0.508	0.132	0.001*	-0.06	0.105	0.575	0.007	0.118	0.95
r20mm	-0.163	0.078	0.047*	0.025	0.075	0.744	0.036	0.071	0.618
Rnnmm	0	0.033	0.988	0.027	0.026	0.313	0.034	0.024	0.156
cdd	0.679	0.6	0.267	0.175	0.576	0.763	0.386	0.493	0.439
cwd	-0.101	0.055	0.076*	0.018	0.043	0.67	-0.081	0.053	0.138
r95p	1.438	2.321	0.54	1.862	1.651	0.268	2.657	1.802	0.15
r99p	1.744	1.497	0.254	0.169	1.071	0.876	0.401	0.603	0.51
prcptot	-7.303	3.787	0.064*	-0.262	3.532	0.941	1.982	3.858	0.611

S.Slope: STD of Slope; \* - \* - os valores destacados apresentaram alta significância estatística ( $p < 0,1$ ).

Em Bom Jesus da Lapa, os índices tr, txx, tnx, tnn, r10mm e prcptot, apresentaram tendências negativas de mudanças climáticas, porém, os índices su, tr, txn e tnx foram estatisticamente significantes. Tal fato evidencia um aumento no número de dias com temperatura máxima diária  $>25$  °C; diminuição do número de dias em um ano com temperatura mínima diária  $>20$  °C; diminuição do valor mensal mínimo de temperatura máxima diária e diminuição do valor mensal máximo de temperatura mínima diária.

Já o município de Carinhanha apresentou tendências negativas nos índices tr, tnn e cwd. Os índices que apresentaram significância estatística foram su, tr, txx, tnx, tnx, tnn e rx1d. Tal comportamento significa um aumento no número de dias com

temperatura máxima diária  $>25$  °C; diminuição do número de dias em um ano com temperatura mínima diária  $>20$  °C; diminuição do valor mensal mínimo de temperatura máxima diária; diminuição do valor mensal máximo de temperatura mínima diária.

Essa região está sob o domínio do clima semi-árido, na depressão do vale do São Francisco, a qual se caracteriza por apresentar temperaturas elevadas acima dos 26 °C durante a maior parte do ano, ao longo do rio São Francisco. As precipitações são inferiores a 800 mm, diminuindo em direção ao nordeste do Estado, com valores abaixo dos 600 mm. Devido à semiaridização da região, a atividade agrícola é incipiente, apesar da tentativa do governo do Estado em promover e estimular a agricultura familiar através de

projetos básicos de irrigação, a exemplo do Projeto Brejo da Barra, no município de Barra, que abrange uma área de 4.300 hectares. A implantação da cultura da mamona em Bom Jesus da Lapa é vista como a atividade econômica e social que irá inserir a região no processo de desenvolvimento da economia agrícola do estado da Bahia.

### 3.5 Cenários de Mudanças Climáticas através da Modelagem Numérica

Para avaliar o impacto do aumento da temperatura na evapotranspiração e na temperatura do ar, no Estado da Bahia, foram criados três cenários com o aumento de temperatura: Cenário 1 (1°C), Cenário 2 (2°C) e Cenário 3 (3°C). Estes cenários foram criados com base no IPCC (2007) que prever aumento nas temperaturas globais de 1 a 5,6°C, e segundo este com esse aumento haverá impactos nas atividades humanas e no meio ambiente. Os cenários foram comparados com o cenário controle, que representa as condições atuais de temperatura no globo.

#### *Cenário 1: Aumento de 1 °C na temperatura*

O incremento de 1°C na temperatura média do ar não apresentou diferença significativa em relação ao experimento de controle, figura não mostrada devido ao campo resultante da diferença ser igual a zero, ou seja, o campo não mostrou alteração nas variáveis meteorológicas a nível local. Isso significa que esse aumento na temperatura

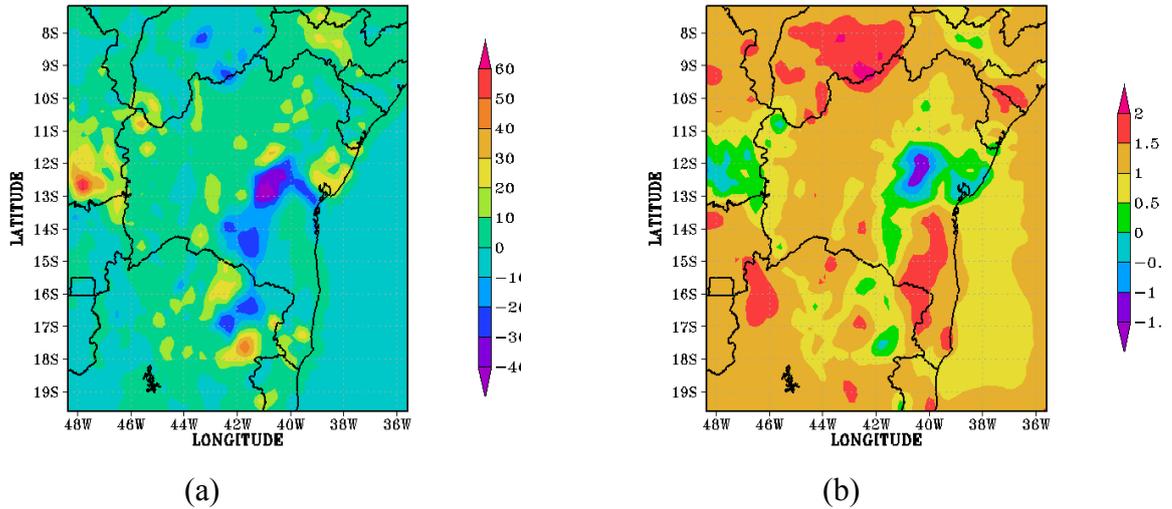
não influenciou os processos meteorológicos, nem tampouco no balanço de radiação, dessa maneira, não afetando os processos fisiológicos da vegetação.

#### *Cenário 2: Aumento de 2°C na temperatura*

O incremento de 2°C na temperatura acarretou um aumento da Evapotranspiração (EP) na maior parte do Estado, com predomínio de valores de 10 mm (Figura 2a), todavia, na região central e sudoeste do Estado da Bahia houve uma redução de EP em até 40 mm, que pode estar associada à presença de precipitação nesta área.

Com relação à temperatura (Figura 2b), verificou-se um aumento em quase todo o Estado, exceto na borda oriental da Chapada Diamantina, que fica localizada na região central, onde houve uma redução da temperatura de 1 a 1,5 °C. Os maiores valores (1,5 e 2 °C) ocorreram no sul da Bahia, esse aumento da temperatura pode estar associado à advecção de temperatura provinda do litoral.

Além disso, os processos estomáticos da floresta atlântica que desempenha um importante papel para esse efeito. Em decorrência do aumento da temperatura a Mata Atlântica, que se estende ao longo da faixa Atlântica, a vegetação é levada ao fechamento dos estômatos. Daí com a diminuição do albedo há um aumento da do armazenamento de energia, dessa forma, isso contribui para a elevação da temperatura do ar acima da média global.

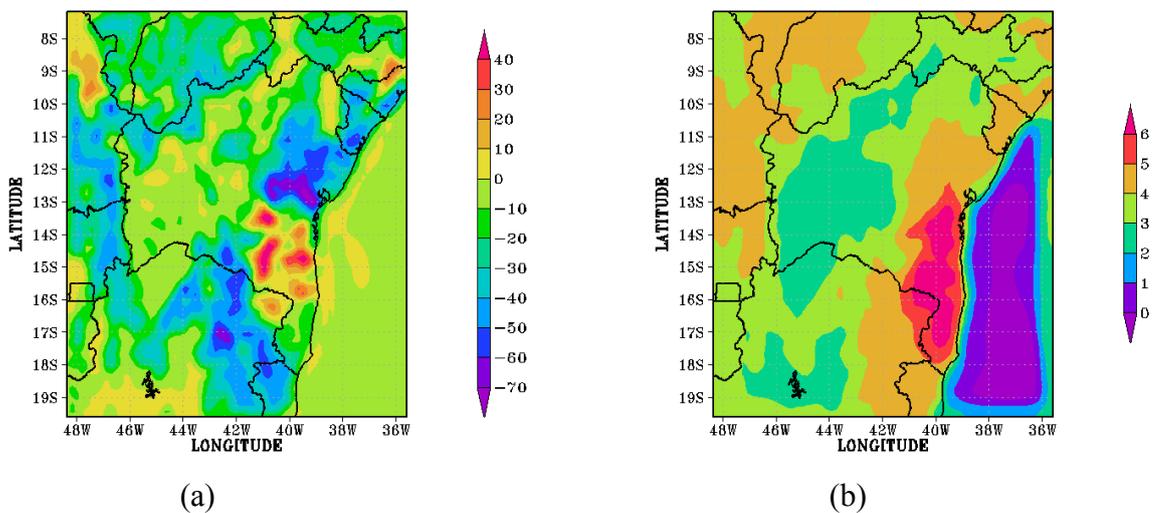


**Figura 2.** Diferença entre o Cenário 2 e o controle para: (a) Evapotranspiração (mm) e (b) temperatura (°C).

*Cenário 3: Aumento de 3°C na temperatura*

Com o incremento de 3°C na temperatura observou-se uma redução substancial em EP em quase todas as microrregiões do Estado (Figura 3a). Entretanto, houve um aumento de 10 a 40 mm no Recôncavo e no Sul (Figura 3a). Esse aumento pode estar associado à ocorrência de precipitação nessa área, de acordo com a

configuração utilizada pelo modelo. Quanto à temperatura (Figura 3b), ocorreu aumento em todo o Estado, com valores entre 2 e 6°C, com destaque para a região Sul, que apresentou os maiores valores (5 e 6°C). Enquanto que, nas demais áreas o aumento foi de 2 a 4 °C, em decorrência da resposta da vegetação ao aumento de temperatura, já comentado anteriormente.



**Figura 3.** Diferença entre o Cenário 3 e o controle para: (a) Evapotranspiração (mm) e (b) temperatura (°C).

Os resultados corroboram com o estudo estatístico realizado, em praticamente todas as regiões estudadas, que foi verificado um aumento nas temperaturas máximas e mínimas nas microrregiões: Oeste, Sudoeste, Baixo Médio São Francisco. Apenas a microrregião de Irecê não mostrou tendência de aumento das temperaturas, possivelmente em decorrência do efeito da topografia da Chapada Diamantina, que pode contribuir com ao aumento de EP, que reduz a umidade do solo e aumenta o fluxo de calor armazenado. Isso contribui com o teor de energia a ser liberada pela superfície, promovendo aumento na temperatura mínima. Concordando com o IPCC (2007), Zchou et al. (2007, 2008) que preconizam em seus estudos aumento do número de dias com temperaturas mais elevadas, e dias e noites estarão mais quentes nesse século.

Na perspectiva de que as mudanças climáticas é uma realidade, porém não se apresenta da mesma forma ao longo do planeta Terra, assim a evolução do comportamento atmosférico nunca é igual de um ano para outro ou mesmo de uma década para outra, podendo-se verificar flutuações a curto, médio e longo prazos. Conti (2000) postula: “Existe uma série de dificuldades para separar os efeitos das atividades humanas no clima e a sua variabilidade natural, sobretudo, porque o sistema climático é extremamente complexo e sua dinâmica ainda não é completamente compreendida, por mais que se tenha avançado no conhecimento sobre

o sistema Terra-Atmosfera”.

#### 4. Conclusões

Os resultados demonstram que há tendência positiva de mudanças climáticas, já previstas pelo último relatório do IPCC (2007), podendo-se chegar às seguintes conclusões:

- 1) As temperaturas diárias máximas e mínimas e a precipitação total anual têm se modificado nos últimos anos;
- 2) A mesorregião de Irecê evidencia uma variabilidade interanual do clima, com destaque para o aumento na intensidade das chuvas diárias e a redução da precipitação total anual;
- 3) Na mesorregião Oeste do Estado houve um aumento na temperatura mínima diária e aumento das máximas e redução da intensidade das chuvas. Nessa região houve um aumento do número de dias sem chuva e redução da precipitação pluviométrica. Na região Baixo Médio São Francisco ocorreu também aumento nas temperaturas máxima e mínima e diminuição das chuvas.
- 4) A aplicação das técnicas e o uso das ferramentas utilizadas geram resultados bastante realísticos, uma vez que os dados obtidos através dos métodos estatísticos e dos estudos numéricos por meio de modelagem numérica se adequaram perfeitamente.

Sendo assim, conclui-se que no estado da Bahia já se verifica índices de tendências climáticas representativos, corroboradas por vários estudos em outras partes do globo

terrestre. Isso demonstra que as mudanças climáticas apontadas é uma realidade incontestável na região Nordeste do Brasil. Cabe aos gestores desse país encarar essa realidade com muita responsabilidade e, sugira ações e medidas eficazes para combatê-la, capacitando a sociedade como um todo para conviver com essa nova realidade imposta pelas mudanças climáticas globais, dotando as populações regionais, independentemente de nível social e econômico, de instrumentos eficazes para convivência com as transformações em decorrência das mudanças climáticas futuras.

## 5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Centro Nacional de Pesquisa - CNPq pela concessão de bolsa para o desenvolvimento dessa pesquisa. Ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET pelo fornecimento dos dados meteorológicos (temperatura e precipitação). Ao Grupo de Detecção e Monitoramento de Índices de Mudanças Climáticas - ETCCDMI, por disponibilizarem o software RCLimdex 1.9.0. À Agência de Estudo das Águas do Estado da Paraíba - AESA, pela disponibilização do Cluster para utilização do BRAMS.

## 6. Referências

Asner, G.P.; Heidbrecht, K.B. (2005). Desertification Alters Regional Ecosystem-Climatê Interactions. *Global Change Biology*, v. 11, 182-194.

Assad, E. D., Pinto H. S., Zullo Jr., J., Ávila, A. M. H. de. (2004). Impacto das Mudanças Climáticas no Zoneamento Agroclimático do Café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 39, n. 11, 2004.

Assad, E.D.; Evangelista, B.; Silva, F.A.M.; Cunha, S.A.R.; Alves, E.R., Lopes, T.S.S.; Pinto, H.S.; Zullo Junior, J. (2001). Zoneamento agroclimático para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Estado de Goiás e sudoeste do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, p.510-518.

BAHIA. (2006). Secretaria da Agricultura, Irrigação e reforma Agrária. O Desempenho do Agronegócio 2003-2006. Salvador: SEAGRI.

BAHIA. (1998). Superintendência de Estudos e Informações Econômicos e Sociais da Bahia. Análise dos atributos climáticos do estado da Bahia. Salvador: SEI.

Bahia em Números 2010. (2011). Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. v. 10. P. 1-108. Salvador: SEI.

Beltran, A. B. (2005). Ph.D. Dissertation: Using a coupled atmospheric-biospheric modeling system (GEMRAMS) to model the effects of land-use/land-cover changes on the near-surface atmosphere. Department of Atmospheric Science, Colorado State

University, 186 pp. 2005.

Cardoso, A. O., & Silva Dias, P. L. (2000). A influência da temperatura da superfície do mar no clima de inverno na cidade de São Paulo. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. SBMET. Rio de Janeiro, RJ, 3685-3693.

Conti, J. B. (2000). Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: Variabilidade e Mudanças Climáticas. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, p. 17-28.

França, J.R.A., Li, L.Z., Silva, F.N.R. e Junior, A.R.T. (2000). Sensibilidade do Modelo de Circulação Geral do LMD as Variações na Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico Tropical. Anais do XI Cong. Brasileiro de Meteorologia, RJ, 3685-3693.

IPCC Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – AR4. (2007). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 21/09/2008.

IPCC Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change and Vulnerability. (2001). Cambridge 2001. Impacts, Adaptation: Cambridge University Press. Contribution of Working Group II to the Third assessment.

Marengo, J. A. (2001). Impactos das Condições Climáticas e da Variabilidade e

Mudanças do Clima sobre a Produção e os Preços Agrícolas: Ondas de Frio e seu Impacto sobre a Cafeicultura nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. In: Lima, M. A. de, Cabral, O. M. R., Miguez, J. D. G. (Eds.). Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, pp. 97-123.

Nobre, C. A., Assad, E. D., Oyama, M. D. (Set-2005). Mudança Ambiental no Brasil – O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. In: Scientific American Brasil. Nº 12.

Nobre C.A., Oyama, M.D., Oliveira, G. S., Marengo, J.A., Salati, E. (June 2004). Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. First International CLIVAR Conference, Baltimore, USA, 21-25.

Pinto, H. S. Assad, E. D., Zullo Jr., Brunini, O. (2002). O Aquecimento Global e a Agricultura. Revista Eletrônica do Jornalismo Científico, Comciência – SBPC, v. 35, p. 1-6, 2002.

Siqueira, O. J. (2001). Efeitos Potenciais das Mudanças Climáticas na Agricultura Brasileira e Estratégias Adaptativas para Algumas Culturas. In: Lima, M. A. de, Cabral, O. M. R., Miguez, J. D. G. (Eds.). Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Souza, W. M.; Azevedo, P. V. (2012). Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e

das Temperaturas em Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física, 01 (2012) 143-159, Recife.