

# EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E O BIOMA CAATINGA

Lidiane Costa<sup>1</sup>

Paloma Angelina Simões<sup>2</sup>

Ana Paula Martins do Amaral Cunha<sup>3</sup>

Valesca Fernandes<sup>4</sup>

Javier Tomasella<sup>5</sup>

## 1 Introdução

A problemática referente às mudanças climáticas, as consequências provenientes delas e como elas podem afetar ao longo dos anos a qualidade de vida dos seres vivos, o meio ambiente e a economia é conhecida e discutida em todo o mundo. A discussão ganhou força após a criação da organização científico-política denominada Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). O órgão reúne estudos de vários pesquisadores ao redor do mundo sobre a temática e tem como intuito avaliar as alterações climáticas, fornecendo visões científicas sobre o conhecimento atual do problema e seus possíveis impactos socioeconômicos e ambientais (IPCC, 2007).

A maior preocupação proveniente de ações antropogênicas nos últimos anos é referente ao aumento das concentrações dos gases do efeito estufa na atmosfera terrestre, sendo os principais: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozônio troposférico ( $\text{O}_3$ ), hidrofluorcarbonetos (HFCs) e o vapor d'água, que ocorre desde a revolução industrial. Esses gases absorvem e reemitem energia proveniente da radiação solar, introduzindo uma força positiva de energia na atmosfera terrestre. Os dois últimos relatórios do IPCC, Assessment Report Fourth - AR4-(IPCC, 2007) e Assessment Report Fifth - AR5 (IPCC, 2013), apresentaram novas e contundentes evidências de possíveis mudanças nos padrões de temperatura e conseqüentemente nos de precipitação decorrentes dessa maior inserção de gases do efeito estufa na atmosfera, principalmente do  $\text{CO}_2$ , que ocorreu principalmente devido ao aumento da queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2007, 2013).

A precipitação e temperatura são as principais variáveis utilizadas para a caracterização de alterações tanto na atmosfera, quanto nos oceanos, visto que quase todas as outras variáveis (umidade, evaporação, ventos) são dependentes das mesmas, sendo assim, de extrema importância para a caracterização do clima no passado, presente e para as projeções futuras de alterações climáticas. Como decorrência de mudanças no padrão dessas duas variáveis, a projeção para o próximo século é de, entre outras coisas, haja uma alteração significativa na disponibilidade de água para o consumo

---

1 Mestre em Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. E-mail: lidycristina@gmail.com.

2 Graduanda em Ciências Atmosféricas - Universidade Federal de Itajubá. E-mail: palomaangelina85@gmail.com.

3 Doutora em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. E-mail: ana.cunha@cemaden.gov.br.

4 Doutora em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. E-mail: fernandesvalesca06@gmail.com.

5 Doutor em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: javier.tomasella@cemaden.gov.br.

humano, agricultura e geração de energia (IPCC, 2007; SANTOS *et al.*, 2009). Alterações na variabilidade desses padrões geram desvios das médias observadas anteriormente, o que pode vir a aumentar a probabilidade da ocorrência de eventos extremos, o que já será discorrido pelos estudos que serão citados posteriormente neste capítulo.

“Os eventos climáticos extremos são aqueles que extrapolam os eventos habituais e também causam danos ao meio ou com potencial para danos” (BORSATO; MASSOQUIM, 2018). “Eles ocorrem de muitas formas, como enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tufões e tornados” (MARENGO, 2015 apud BORSATO; MASSOQUIM, 2018).

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) (2016) denota que as principais informações sobre alterações climáticas correlacionadas com eventos extremos nas cidades brasileiras para o final desse século seriam de um aumento no número e intensidade desses eventos, com destaque para os que envolvem a variável precipitação, ocasionando possíveis problemas, tais como: o aumento no risco de alagamento de estações de tratamento de efluentes; problemas nas infraestruturas das cidades; inundações, principalmente em cidades próximas a zona costeira; redução na qualidade da água devido a interações entre altas temperaturas; e variações de precipitação, secas mais severas e longas em alguns locais.

Neste contexto, o nordeste brasileiro (NEB) vem sendo estudado por muito tempo por se tratar de uma grande área com climas semiáridos e subúmidos, sujeita à intensas variações pluviométricas anuais e conseqüentemente, recorrentes secas. Para uma melhor caracterização dos eventos de secas na região é importante um conhecimento prévio sobre os processos físicos e dinâmicos que contribuem para a precipitação. Devido a sua localização geográfica, o NEB está sujeito a atuação de diversos sistemas atmosféricos que interagem entre si e contribuem para as variações de temperatura e precipitação na região, sendo os principais: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCIT), Sistemas Frontais, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as Linhas de Instabilidade (Lis), Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), Ondas de Leste, além da influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região (FERREIRA; MELLO, 2005). O semiárido brasileiro está entre as regiões com a maior influência de teleconexões climáticas do mundo, presentes no Pacífico e Atlântico, como por exemplo, os eventos de El-niño Oscilação Sul (HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, 2019), que será mencionado posteriormente nesse trabalho e a oscilação intrasazonal Madden e Julian (MJO), que causam impactos na região em diferentes magnitude e dependem da fase da oscilação (VALADÃO *et al.*, 2016). “Quando a fase positiva está passando sobre a AS, observa-se um aumento da convecção continental, onde pode haver uma conexão com os vários tipos de sistemas atmosféricos atuantes no NEB” (ALVES *et al.*, 2018, p. 193-206).

Devido às diversas interações que podem contribuir para a variabilidade intra-anual do clima na região, as causas da variabilidade e as razões que determinam o clima semiárido da região não são completamente entendidas. Contudo, análises da distribuição da precipitação sobre o Nordeste e regiões vizinhas sugerem que uma possível explicação para a causa da semiaridez seria decorrente dos mecanismos da circulação geral da atmosfera, principalmente pela circulação de Hadley-Walker, o que indicaria que o clima semiárido ocorre devido a fatores climáticos externos a região (CLIMANÁLISE, 1986 apud BARBOSA, 1999).

Toda a complexidade envolvendo o regime de precipitação na região e o clima contribuíram para que a região apresentasse períodos observados de alternância de secas severas em alguns anos (1941/1944, 1992/1993, 1997/1998, 2012/2018), e de chuvas intensas, em outros (1974/1975, 1985/1986) (NASCIMENTO; BRITO, 2007).

Diante o exposto, este estudo teve como objetivo avaliar os eventos extremos de secas em diferentes municípios de: Água Branca (AL); Balsas (MA); Barreiras (BA); Bom Jesus do Piauí (PI); Iguatu (CE); Itabaianinha (SE); Palmeira dos Índios (AL); e Petrolina (PE), todos localizados na região Nordeste do Brasil. Os eventos extremos de secas ocorrem em diferentes regiões do Brasil, no entanto, são mais recorrentes na região

semiárida. A região Nordeste possui uma área de aproximadamente 1.561.177,8 km<sup>2</sup>, dos quais 1.006.654 km<sup>2</sup> compreendem o semiárido nordestino (SUDENE, 2017).

Diversos métodos têm sido desenvolvidos para a identificação e caracterização dos eventos de secas, considerando diferentes variáveis de causa e resposta da seca, tais como precipitação, evapotranspiração, condição da vegetação, etc (PALMER, 1965; GIBBS; MAHER, 1967; SHAFER; DEZMAN, 1982; KOGAN, 2002; MCKEE; DOESKEN; KLEIST, 1993; KEYANTASH; DRACUP, 2004; BHUIYAN; SINGH; KOGAN, 2016; ABBAS *et al.*, 2014). No presente estudo optou-se por utilizar o Índice Normalizado de Precipitação (SPI) para a identificação dos eventos de seca nos municípios estudados. Por meio do SPI é possível identificar eventos extremos de secas em diferentes escalas de tempo (3, 6, 12 meses, etc), o que permite monitorar a dinâmica temporal desses eventos, isto é, o desenvolvimento e declínio (SANTOS *et al.*, 2019).

Após a caracterização dos eventos de secas pelo SPI, foi realizada a análise de tendência nas séries temporais de temperatura e SPI para os municípios selecionados. Além disso, também foi avaliada a dinâmica dos usos e cobertura da terra nos últimos 30 anos para os mesmos municípios.

## 2 Materiais e métodos

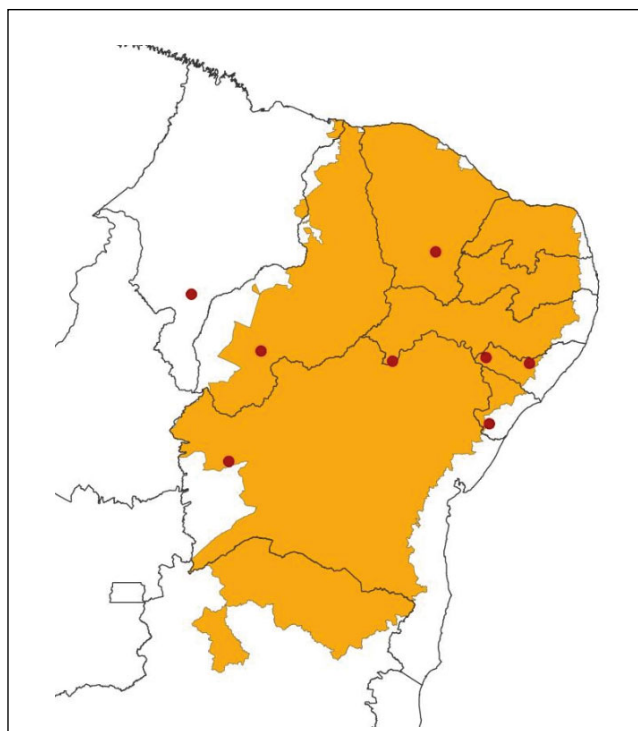
### 2.1 Dados de precipitação e temperatura

Os dados observados mensais de precipitação (mm) e temperatura do ar (°) foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos Para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa>). O período dos dados utilizados no presente estudo compreende os anos de 1961 a 2018 (57 anos) e apenas estações com pelo menos metade dos dados compreendendo esse período foram utilizadas. A Tabela 1 e a Figura 1 apresentam a descrição e localização das 8 estações consideradas, é importante ressaltar que nem todas as estações tiveram o período de 57 anos em sua série temporal e o período de dados disponível para cada série será explicitado nas imagens e tabelas.

A partir dos dados mensais de precipitação, séries temporais de SPI na escala de 12 meses foram calculadas. O SPI utilizado no presente trabalho é baseado na formulação proposta por Mckee, Doesken e Kleist (1993). Para a caracterização dos eventos seca considerou-se a metodologia descrita por Spinoni *et al.* (2014) que estabelece o início da seca quando o SPI indica valores menores do que -1 e permanece negativo por pelo menos dois meses consecutivos. O término do evento de seca é estabelecido quando o SPI retorna a valores positivos (BRITO *et al.*, 2018).

**Tabela 1.** Descrição das estações meteorológicas.

UF	NOME	Long	Lat	Elevação
AL	ÁGUA BRANCA	-37,9	-9,28	605,34
MA	BALSAS	-46,03	-7,53	259,38
BA	BARREIRAS	-45	-12,15	439,29
PI	BOM JESUS DO PIAUÍ	-44,11	-9,1	331,74
CE	IGUATU	-39,29	-6,36	217,67
SE	ITABAIANINHA	-37,81	-11,11	208
AL	PALMEIRA DOS ÍNDIOS	-36,7	-9,44	274,9
PE	PETROLINA	-40,48	-9,38	370,46



**Figura 1.** Localização das estações meteorológicas.

## 2.2 Análise de tendência climática (série de temperatura e precipitação)

Uma tendência climática é entendida como uma alteração do clima, aumento ou diminuição lenta dos valores médios da série de dados analisadas no período de registro.

O teste de tendência utilizado nas séries climatológicas de temperatura e precipitação foi o de Mann-Kendall (MK), que é um teste não paramétrico utilizado para identificar mudanças climáticas em séries temporais de dados que, na hipótese da estabilidade de uma série temporal, os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples) (ELY; DUBREUIL, 2017). “Quando a variável independente é algo diferente do tempo, a estatística é conhecida como Tau de Kendall” (ELY; DUBREUIL, 2015, p. 553-569), o que não se aplica ao presente estudo que visa analisar a tendência das séries de temperatura e precipitação no tempo. “O teste tem como vantagem não ser influenciado pela variância ou por outliers” (SALVADOR, 2017), o que para o presente estudo é relevante, visto que podemos inferir a partir do teste se houve uma tendência de aumento ou diminuição nas variáveis de estudo, “o que faz com que o teste seja apropriado para detectar alterações de ordem climática em séries meteorológicas” (GOMES *et al.*, 2015).

A metodologia do teste é explicada conforme o estudo de Moreira e Naghettini (2016). De acordo com o descrito por Yue, Pilon e Cavadas (2002), Wagesho, Goel e Jain (2012) e Moreira e Naghettini (2016), dada uma série de  $n$  variáveis independentes e igualmente distribuídas ( $X_1, X_2 \dots, X_n$ ), o teste de MK é dado pelas seguintes equações:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_j - X_i) \quad (1)$$

Onde:  $X_i$  representa os valores da série,  $i$  e  $j$  indicam os índices de tempo, no caso da presente pesquisa na escala de tempo mensal e  $n$  é o número de elementos da amostra.

O termo que indica o sinal ( $X_j - X_i$ ) é dado por:

$$\text{Sinal } (X_j - X_i) = \begin{cases} + 1 & \text{se } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (X_j - X_i) = 0 \\ - 1 & \text{se } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Moreira e Naghettini (2016) denotam que Mann (1945) e Kendall (1975) explicitam que a estatística  $S$  segue um comportamento próximo de uma distribuição normal para séries com  $n$  maior ou igual a 8. Para dados sem elementos vinculados (valores iguais), a estatística de teste apresenta média  $E(S)$  e variância  $\text{Var}(S)$  dadas respectivamente por:

$$E(S)=0 \quad (3)$$

$$\text{Var } (S)=\frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2p+5) \right] \quad (4)$$

Onde=  $tp$  indica o número de pontos vinculados dos índices do somatório ( $p$  até  $q$ ).

A significância do teste MK pode ser verificada através de um teste bilateral, com estatística padronizada  $Z_{MK}$  denotado por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Moreira e Naghettini (2016) discorrem sobre a rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) no teste de MK, a rejeição ocorre quando verifica-se que  $|Z_{MK}| > Z_{\alpha/2}$ , onde  $\alpha$  é o nível de significância selecionado e  $Z_{\alpha/2}$  é o valor da distribuição normal padrão com probabilidade de excedência de  $\alpha/2$ . O sinal de  $|Z_{MK}|$  indica se a série possui tendência de crescimento ou decaimento ( $|Z_{MK}| > 0$  e  $|Z_{MK}| < 0$ , respectivamente). O nível de significância  $\alpha = 0,05$  é o geralmente utilizado na literatura, idem ao presente estudo. O  $p$ -valor da estatística  $S$  para os dados da série foi estimado pela probabilidade acumulada da distribuição normal, onde se considera que se  $p \leq \alpha$ , o teste de MK apresenta evidências para rejeição de  $H_0$ , sugerindo assim a presença de tendências na série.

Para a confecção dos gráficos das séries temporais de temperatura utilizou-se uma média móvel de 6 meses, com o propósito de suavizar o gráfico e obter uma melhor visualização dos padrões das séries temporais.

### 2.3 Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra

A região do semiárido nordestino (SANEB) tem como bioma predominante a Caatinga, composta de espécies arbustivas, arbóreas e herbáceas, abrangendo uma área

de aproximadamente 600 mil km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 40% da região Nordeste (ANDRADE, 2006; SOUZA; OYAMA, 2011; VIEIRA *et al.*, 2013). De acordo com Vieira *et al.*, 2013, a caatinga tem sido substituída ao longo das últimas décadas por área de uso agropecuário. Tal modificação pode causar alterações nos balanços de energia, água e carbono e conseqüentemente, no microclima da região e também em regiões vizinhas. Por outro lado, as alterações do clima também podem provocar mudanças nos padrões de cobertura vegetal (CUNHA; ALVALÁ; SAMPAIO, 2013; CUNHA *et al.*, 2015).

Mudanças no uso e cobertura da terra ocorrem majoritariamente por processos de conversão, seja pela remoção da cobertura vegetal natural ou pela substituição do uso, por exemplo de pastagem para agricultura. Contudo essas dinâmicas do uso e cobertura da terra podem estar associadas à diversos fatores, tais como, variação natural, fatores econômicos e tecnológicos, fatores demográficos, ou fatores múltiplos que incluem, por exemplo, eventos extremos, citado no parágrafo anterior (LAMBIN; GEIST; LEPERS, 2003).

Neste trabalho, as dinâmicas de mudança de uso e cobertura da terra, foram estimadas a partir dos dados de uso e cobertura da terra do Mapbiomas (PROJETO MAPBIOMAS, 2019), com resolução espacial de 30 metros, para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018. Neste trabalho foram utilizadas as subclasses apresentadas pelo MapBiomas e algumas das subclasses foram adotadas como classes e outras foram agrupadas formando novas classes. As classes de uso e cobertura da terra deste trabalho foram: Agricultura, que é o agrupamento da agricultura, cultura anual e perene e cultura semi-perene; Área Urbana; Formação Campestre; Hidrografia; Mosaico, que é o mosaico de agricultura e pastagem; Outros, é o agrupamento da floresta planta, mineração, afloramento rochoso, e outra área não vegetada; Pastagem; e Vegetação Natural, é o agrupamento da floresta natural e da formação savânica. A Formação Campestre não foi agrupada à classe de Vegetação Natural devido à sua confusão com a classe de Pastagem.

A mudança de uso e cobertura da terra foi calculada para cada município entre os anos de 1988 à 1998; de 1998 à 2008; e de 2008 à 2018. A mudança (M) foi estimada segundo a Equação 6, onde valores negativos representam que à classe teve uma redução de área e valores positivos indicam que a classe teve um aumento de área no intervalo de análise.

$$M_c = \frac{(U_2 - U_1)}{\Sigma |(U_2 - U_1)|} \quad (6)$$

Onde, M é o percentual de mudança por classe;  $U_2$  é o uso no tempo 2, final, para cada classe; e  $U_1$  é o uso no tempo 1, inicial, para cada classe.

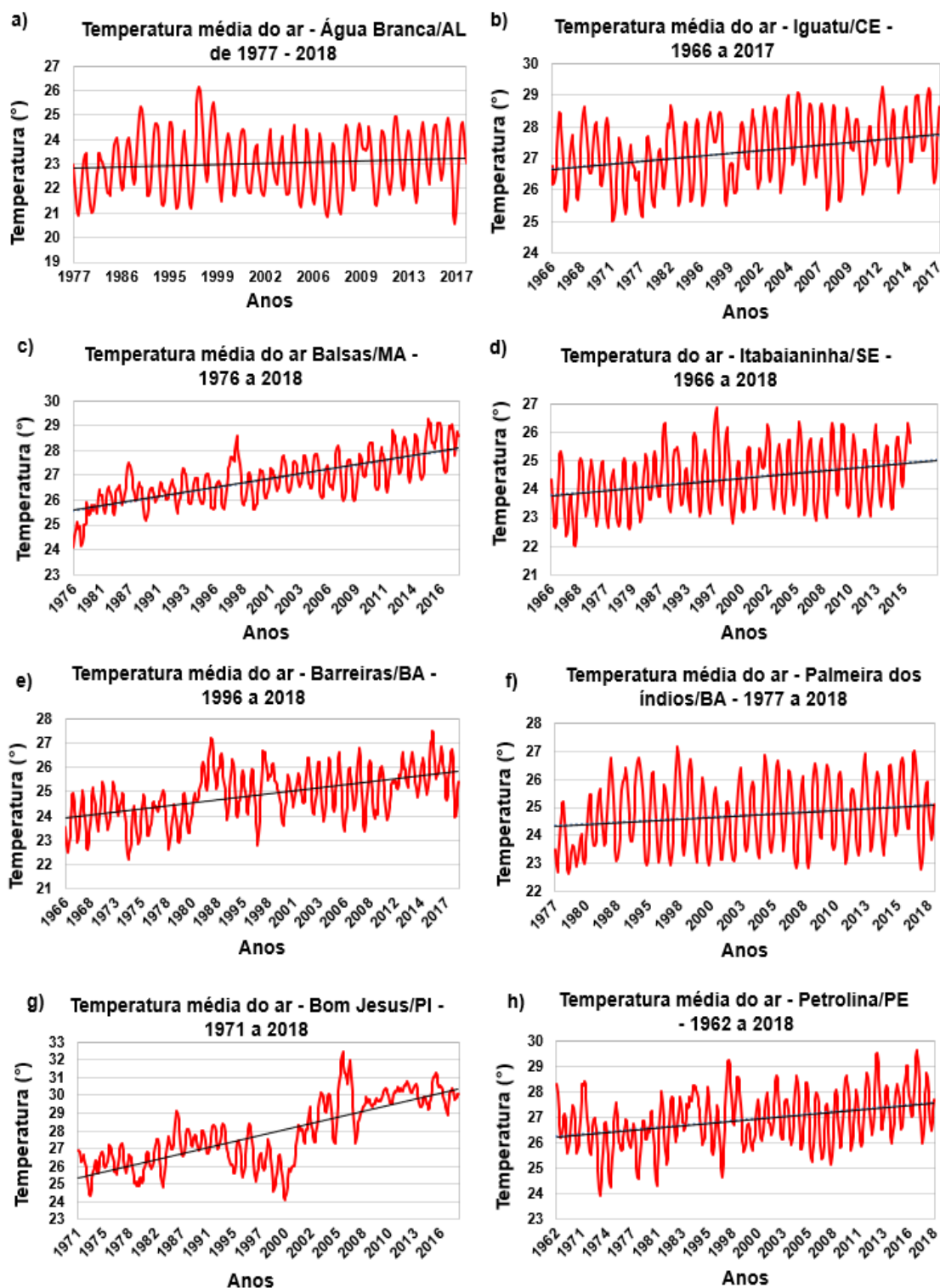
### 3 Resultados e discussões

#### 3.1 Análise das séries temporais das variáveis meteorológicas

A Figura 2 apresenta a evolução temporal da temperatura do ar para as oito estações meteorológicas avaliadas. De modo geral, as análises mostraram um padrão de elevação da temperatura média do ar ao longo dos anos. Graficamente verifica-se que somente para as estações de Água Branca/AL e Palmeira dos Índios/AL (Figura 2a e 2f), não observou-se o padrão de aumento de temperatura do ar. Os resultados do teste de Mann Kendall (Tabela 2) também apontaram tendência positiva em todas as estações, com exceção da estação de Água Branca/AL que não apresentou significância estatística (p-value > 0.05). Para as demais estações o p-value foi significativo, com um

intervalo de confiança de 95%, o que indica uma tendência de aumento na temperatura média do ar durante os anos de análise.

Graficamente podemos observar a variação, em grau, do aumento nas temperaturas médias do ar de aproximadamente 3° nos sete municípios que apresentaram tendência significativa de aumento.



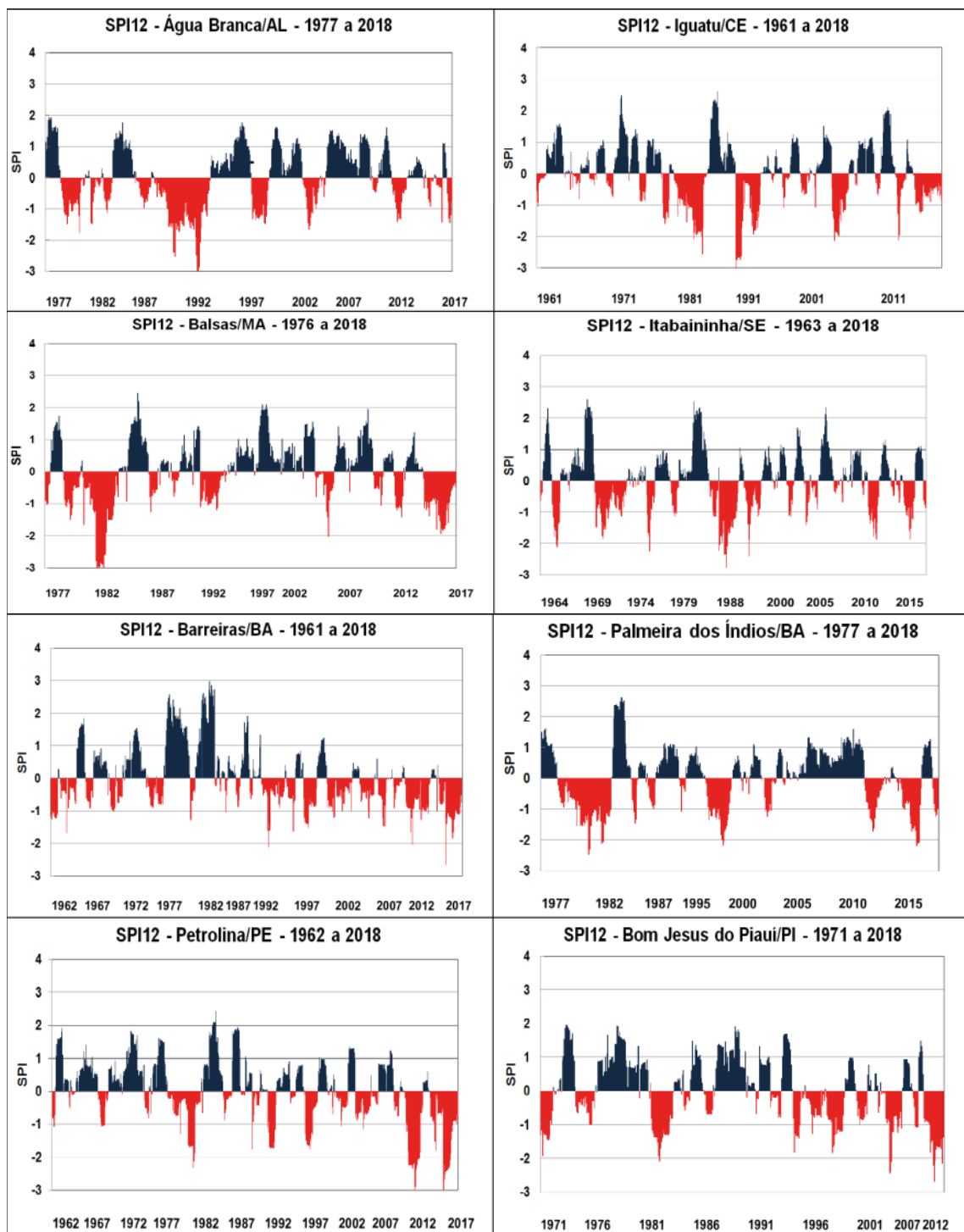
**Figura 2.** Série temporal de temperatura média do ar (°) nas oito estações meteorológicas.

**Tabela 2.** Resultados do Teste de Tendência de Mann Kendall para a variável temperatura média do ar (°) e o SPI. NS e S indicam os valores de p-value não significativos e significativos, respectivamente.

	TEMPERATURA		SPI	
	Mann Kendall	p-value	Mann Kendall	p-value
ÁGUA BRANCA	0.044	0.235 (NS)	0.083	0.009 (S)
BALSAS	0.383	<0.0001 (S)	0.025	0.428 (NS)
BARREIRAS	0.235	<0.0001 (S)	-0.086	0.007 (S)
BOM JESUS DO PIAUÍ	0.476	<0.0001 (S)	-0.184	<0.0001 (S)
IGUATU	0.148	<0.0001 (S)	-0.098	0.000 (S)
ITABAIANINHA	0.145	<0.0001 (S)	0.004	0.886 (NS)
PALMEIRA DOS ÍNDIOS	0.095	0.007 (S)	0.046	0.156 (NS)
PETROLINA	0.150	<0.0001 (S)	-0.258	< 0.0001 (S)

De forma geral, avaliando os anos mais recentes, de 2012 a 2018, as estações apresentaram mínimos valores de SPI. A Figura 3 que apresenta a série temporal do SPI-12 nas estações meteorológicas do NEB a partir da precipitação mensal do INMET, permite a visualização dos valores mínimos, em particular os mais recentes. As secas ocorridas entre os anos de 2012 a 2017, foram as mais intensas nas últimas décadas. Este resultado concorda com estudos sobre a avaliação da seca no NEB por meio de SPI, os quais mostram que a seca ocorrida entre os anos de 2012 a 2017 na região, foi a mais extensa e severa dos últimos 30 anos (MARENGO *et al.*, 2018; CUNHA *et al.*, 2018). Por outro lado, os anos que apresentaram os maiores valores de SPI, representando os eventos chuvosos foram de 2008 e 2009, com exceção de Barreiras/BA (Figura 3). O ano de 2009 teve influência do fenômeno La Niña, o que causou precipitação acima da média climatológica em algumas regiões do NEB.





**Figura 3.** Série temporal do SPI-12 nas oito estações meteorológicas.

Em relação à quantificação dos eventos de secas, o município que apresentou o maior número de eventos foi Barreiras/BA, com a ocorrência de 13 eventos (Tabela 3). É importante destacar que a estação de Barreiras/BA foi a 2º estação com o menor número de dados de precipitação faltantes, além disso a localidade apresentou tendência negativa e significativa de SPI, indicando um provável aumento do número de eventos de secas ao longo dos anos. Outros municípios que apresentaram significância para o SPI no teste de Mann Kendall foram: Água Branca/AL (tendência positiva), Bom Jesus do Piauí/PI, Iguatu/CE e Petrolina/PE (tendência negativa). É interessante notar que a única localidade

que apresentou o teste com valor positivo e significativo é justamente aquela que não apresentou significância para a variável temperatura. Bom Jesus do Piauí/PI, Iguatu/CE e Petrolina/PE apresentaram entre 9 e 10 eventos de seca, respectivamente, porém ressalta-se que tanto a estação de Iguatu/CE como a de Bom Jesus do Piauí/PI apresentam uma falha muito extensa nos dados, o que pode subestimar a estimativa dos eventos de secas.

Posteriormente será discorrido sobre a dinâmica dos usos da terra nos municípios avaliados, bem como uma possível relação com as variáveis climáticas.

**Tabela 3.** Quantificação dos eventos de secas.

MUNICÍPIO	UF	PERÍODO DE DADOS	EVENTOS DE SECAS	PERÍODOS COM SPI FALTANTES
ÁGUA BRANCA	AL	1977 a 2018	9	4 anos
BALSAS	MA	1977 a 2017	9	3 anos e 7 meses
BARREIRAS	BA	1961 a 2018	13	7 anos e 9 meses
BOM JESUS DO PIAUÍ	PI	1972 a 2018	9	9 anos e 9 meses
IGUATU	CE	1961 a 2018	9	8 anos e 5 meses
ITABAIANINHA	SE	1964 a 2018	11	10 anos e 2 meses
PALMEIRA DOS ÍNDIOS	AL	1988 a 2018	9	6 anos e 1 mês
PETROLINA	PE	1963 a 2018	10	7 meses

### 3.2 Avaliação da dinâmica do uso da terra nos municípios

Os padrões de usos e cobertura da terra ao longo das últimas décadas nos municípios estudados são bem variados (Figura 4). Na maior parte dos municípios verificou-se a supressão da vegetação natural desde a década de 80. De acordo com os dados do Mapbiomas analisados, as alterações mais pronunciadas na vegetação natural ocorreram nos municípios de Bom Jesus do Piauí/PI, Petrolina/PE, Barreiras/BA e em Balsas/MA.

Para os municípios de Bom Jesus do Piauí/PI e Petrolina/PE, observou-se que desde a década de 80 a vegetação natural tem sido reduzida à uma taxa entre 20% à 50% do remanescente por década. Em ambas as localidades a vegetação natural dominante é a caatinga arbustiva. Em contrapartida à redução da vegetação natural, verificou-se o aumento contínuo das áreas de produção agrícolas nesses municípios. Em especial, no município de Petrolina, além das áreas agrícolas, as áreas de pastagens também aumentaram ao longo das últimas décadas. Segundo os dados da Pesquisa da Pecuária Municipal, em relação ao ano de 2008, o aumento registrado em 2018 para a produção pecuária no município foi de aproximadamente 100% (IBGE, 2018). No que diz respeito às condições climáticas, em ambos os municípios, as tendências do SPI foram negativas e significativas e da temperatura positivas e também significativas.

Os resultados mostram que desde 1988, o município de Barreiras/BA tem apresentado pronunciada diminuição na vegetação natural, com uma taxa decadal entre 15% à 20%. Em contrapartida, tem-se observado o aumento da área agrícola, com taxa decadal entre 40 à 50%. Outrossim, a região apresentou um aumento populacional de 19,80% entre os anos de 1998-2018 (Tabela 4). Além da pressão antrópica, verificou-se que Barreiras/BA foi o município com a maior ocorrência de eventos de secas, tendências significativas de aumento de temperatura e tendências de diminuição nos valores de SPI.

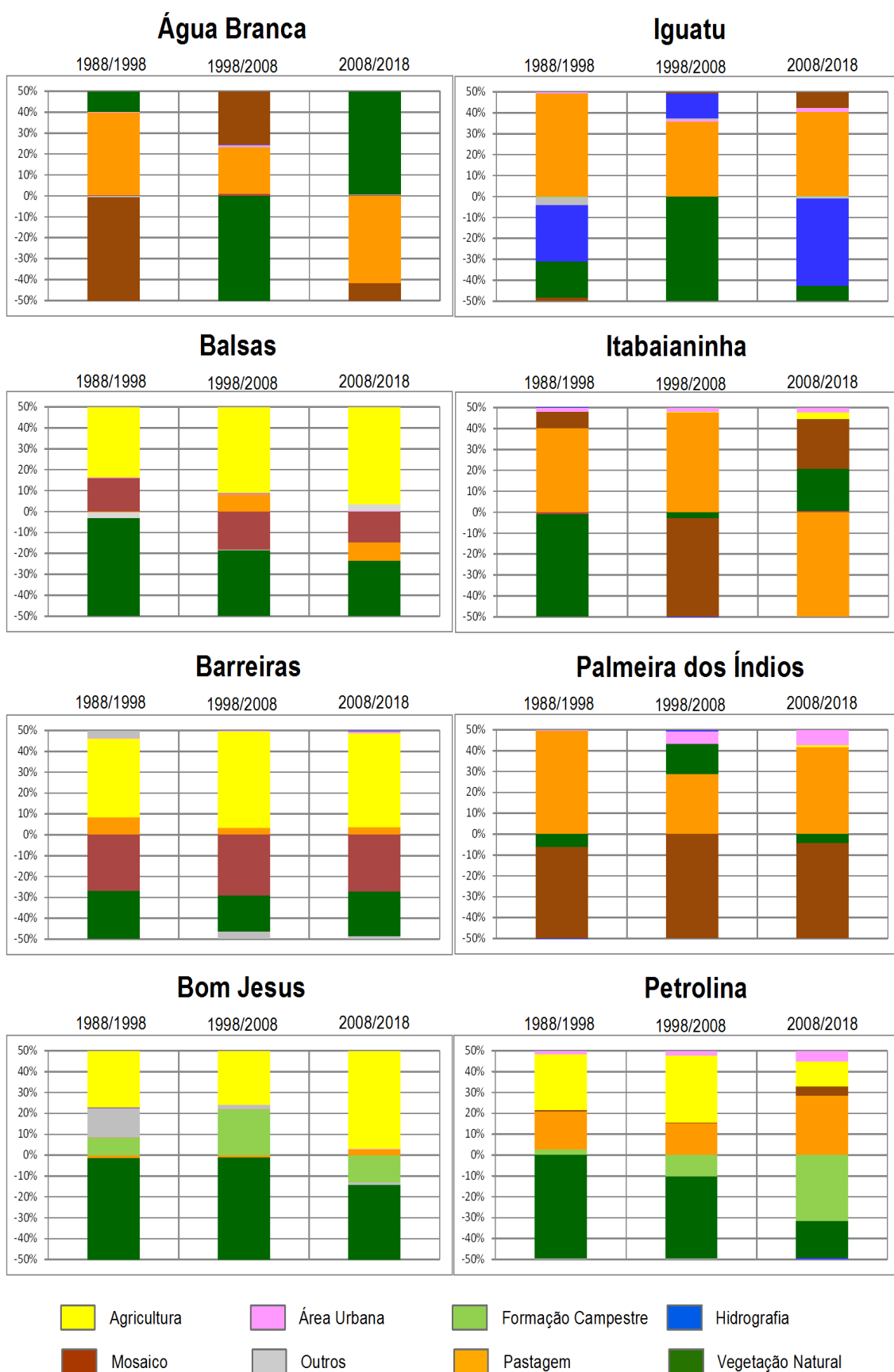
Para o município de Balsas/MA, entre 1988 a 1998 observou-se uma diminuição de aproximadamente 50% na vegetação natural, aumento entre 30% e 40% na classe agricultura. Entre os anos de 1998 e 2008, as alterações foram de redução da vegetação natural (entre 20% a 30%) e aumento de até 50% nas áreas para atividades voltadas a agricultura e pecuária. O tipo de vegetação predominante no município de Balsas/MA é a savana arbórea e nos demais caatinga. De acordo com os dados do projeto PRODES (TERRABRASILIS, 2019), Balsas/MA, é um dos municípios onde se tem os maiores registros de desmatamento pelo menos nos últimos 20 anos. O crescimento populacional no município também foi o mais expressivo entre os municípios avaliados (45,12%). Além disso, Balsas/MA, foi um dos municípios onde a tendência de aumento na temperatura ao longo dos últimos 40 anos foi mais expressiva, com um aumento de aproximadamente 5° ao decorrer da série temporal (Figura 2c). O município também foi afetado por eventos de secas, principalmente entre os anos de 2012 a 2017.

O município de Água Branca/AL foi o único município a apresentar um expressivo aumento da classe vegetação natural entre os anos de 2008 e 2018 (50%) e redução de aproximadamente 40% nas áreas de pastagem. Com relação ao crescimento populacional, o município apresentou a 2° menor estimativa de aumento populacional (12.53%), ficando atrás apenas do município de Palmeira dos Índios/AL (cerca de 6%). É ressaltado ainda que o município foi o único a não apresentar tendência significativa no aumento de temperatura e poucos eventos de secas nos últimos anos (ainda que tenha falhas no ano de 2017).

Referente à classe “hidrografia”, o município que se destaca é Iguatu/CE. Os rios que cortam o município são classificados como intermitentes, ou seja, são rios cujos leitos secam durante algum período do ano. O Rio Jaguaribe é também considerado o maior rio seco do mundo. Os resultados da análise de mudanças dos usos e cobertura da terra para o município mostram uma grande variação decadal da classe hidrografia, redução em 1998 com relação à 1988, uma pequena variação positiva em 2008 com relação à 1998 e redução de 40% em 2018 com relação à 2008. Com relação às tendências das variáveis meteorológicas para este município, conforme já mencionado, verificou-se tendência positiva com significância estatística para temperatura e a ocorrência de 9 eventos de secas entre os anos de 1976 e 2018 (42 anos). Embora os rios da região sejam classificados como intermitentes, a redução dos corpos d’água observada em 2018 em relação ao ano de 2008 foi mais pronunciada, o que pode estar relacionado tanto com a recorrência dos eventos de seca como com o aumento significativo de temperatura na região (Figura 3 e Tabela 2). O estudo de Silva, Galvíncio e Nóbrega (2009) avaliaram a relação entre a vazão na bacia hidrográfica do rio Ipojuca (PE) e variações na temperatura média do ar e constatou que uma tendência de diminuição na vazão com o aumento da temperatura. Com relação à dinâmica demográfica no município, ocorreu um aumento de 23,42% entre os anos de 2008 e 2018.

O município de Itabaianinha/SE registrou uma estimativa de aumento da população de 20,44 % durante os 20 anos de levantamento de dados do IBGE e mudança de ocupação de solo com destaque para as reduções de vegetação natural (50%) e aumento na área de pastagem (40%) entre 1988 e 1998. Entre os anos de 1998 e 2008, também foi registrado o aumento das áreas de pastagens (aproximadamente 50%). Nesse município, também ocorreu o aumento da temperatura com significância estatística nos últimos anos.

Palmeira dos Índios/AL, foi o município que apresentou o menor percentual de estimativa de aumento populacional entre 1998 e 2018 (5.68%). De acordo com os dados do Mapbiomas as mudanças registradas nas últimas décadas não foram conclusivas, com grande variação entre as classes “mosaico” e “pastagens”. Para as variáveis climáticas, as mudanças no SPI foram sem significância estatística e a temperatura com tendência de aumento, embora menor com relação aos demais municípios avaliados.



**Figura 4.** Percentual de mudança de uso e cobertura da terra para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018.

**Tabela 4.** Estimativa populacional de 1998 a 2018. Fonte: IBGE; 1998,2008 e 2018.

CIDADE	POPULAÇÃO ESTIMADA			
	1998	2008	2018	Varição 1998 - 2018 (%)
Água Branca	17.635	19.882	20.162	12.53
Balsas	51.494	81.497	93.826	45.12
Bom Jesus do Piauí	14.682	20.100	24.960	41.18
Barreiras	123.371	135.650	153.831	19.80
Itabaianinha	33.163	38.565	41.684	20.44
Iguatu	79.072	96.201	103.255	23.42
Palmeira dos Índios	68.946	72.202	73.096	5.68
Petrolina	204.479	276.174	329.117	37.87

### Considerações finais

Estudos mostram que o desmatamento pode causar o aumento da temperatura da superfície do ar em razão da diminuição da biomassa, com isso, a energia disponível ao ambiente é utilizada de forma prioritária para o aquecimento do ar e do solo (MARTINS *et al.*, 2015). A conversão da cobertura vegetal, por meio das alterações nas características morfológicas e biofísicas da vegetação, podem levar à mudanças nas componentes dos balanços de energia, água, carbono e, conseqüentemente no clima (CHARNEY *et al.*, 1977; XUE; SHUKLA, 1993; CLARK *et al.*, 2001; TAYLOR *et al.*, 2002; OYAMA, 2002; XUE *et al.*, 2004; TWINE, 2004; SOUZA, 2006; YANAGI; COSTA, 2011; OLIVEIRA, 2008; SOUZA; OYAMA, 2011; CUNHA; ALVALÁ; SAMPAIO, 2013). Cunha *et al.* (2015), utilizando o modelo de circulação geral da atmosfera acoplado ao modelo de superfície "Integrated Biospheres Model - IBIS", mostrou que a conversão da caatinga para áreas de caatinga aberta e pastagens, podem elevar a temperatura próxima à superfície em até 0,9°.

De modo geral, os municípios avaliados no presente estudo que apresentaram a maior supressão da vegetação natural ao longo das últimas décadas, são também aqueles onde se observou as maiores tendências de aumento na temperatura do ar. Além disso, em todos os municípios verificou-se o aumento populacional nas últimas décadas, o que conseqüentemente aumenta a demanda por alimento e água. Estudos mostram que a combinação desses fatores, ou seja, a diminuição da vegetação natural, aumento de atividades que emitem GEE para a atmosfera e o crescimento populacional podem contribuir para o aumento da temperatura local. Assim, os resultados do presente estudo também corroboram com a afirmação de que a atividade antrópica pode contribuir para a tendência de aumento da temperatura.

A supressão da vegetação natural, combinada com o aumento das áreas agrícolas, aumento da temperatura do ar, da ocorrência de eventos de secas e por fim o aumento da população demonstra que as ações antrópicas associadas ao aumento dos eventos extremos podem colocar em risco as seguranças alimentar e hídrica na região, a qual já é considerada vulnerável.

## Referências

- ABBAS, S.; NICHOL, J. E.; QAMER, F. M.; XU, J. Characterisation of drought development through remote sensing: a case study in central yunnan, China. **Remote Sensing**, v.6, n.6, p.4998–5018, 2014.
- ALVES, J. M. B.; BARBOSA, A. C. B.; SILVA, E. M.; VASCONCELOS JUNIOR, F. C.; SILVA, M. L.; SANTOS, A. C. S.; LIRA, M. A. T.; SOMBRA, S. S. Oscilações intrassazonais convectivas entre as regiões indico-pacífico e o nordeste do Brasil: algumas características observacionais e de modelagem. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 193-206, 2018.
- ANDRADE, L. A.; OLIVEIRA, F. X.; NASCIMENTO, I. S.; FABRICANTE, J. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; BARBOSA, M. Análise florística e estrutural de matas ciliares ocorrentes em brejo de altitude, no município de Areia, Paraíba. **Agrária: Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 1, n. único, p.31-40, out./dez.2006. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=47&path%5B%5D=89>. Acesso em: 08 out. 2019.
- BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação avhrr/noaa e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85**. 1998. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.
- BHUIYAN, C.; SINGH, R. P.; KOGAN, F. N. Monitoring drought dynamics in the aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 8, p. 289-302, 2016.
- BORSATO, V. A.; MASSOQUIM, N. G. Os sistemas atmosféricos e os eventos climáticos extremos na região de Campo Mourão - PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, v. 23, p. 434-452, jul./dez. 2018.
- BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CASTRO, C. C.; ALVALÁ, R. C. S.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. Frequency, duration and severity of drought in the brazilian semiarid. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2018.
- CHARNEY, J. G.; QUIRK, W. J.; CHOW, S. H.; KORNFIELD, J. A. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 34, n. 9, p. 1366-1385, 1977.
- CLARK, D. B.; XUEY.; HARDING, R. J.; VALDES, P. J. Modeling the impact of land surface degradation on the climate of tropical North Africa. **Journal of Climate**, v. 14, p. 1809-1822, 2001.
- CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; SAMPAIO, G. Impactos das mudanças de cobertura da superfície nos balanços de energia, água e carbono em uma região semi-árida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, 2013.
- CUNHA, A. P. M. A., ALVALÁ, R. C. S., KUBOTA, P. Y., VIEIRA, R. M. S. P. Impacts of land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, p. 219-227, 2015.
- CUNHA, A. P. M. A.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO- NETO, G.; BROWN, M.; GARCIA, S. R.; BRITO, S. B.; CARVALHO, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, v. 19, p. 855, 2018.
- ELY, D. F.; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná -Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 553-569, 2017.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes na região Nordeste do Brasil e influência nos oceanos pacíficos e atlânticos no clima da região. **Revista de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.
- GOMES, A. C. S.; COSTA, M. S.; COUTINHO, M. D. L.; VALE, R. S.; SANTOS, M. S.; SILVA, J. T.; FITZJARRALD, D. R. Análise estatística das tendências de elevação nas séries de

temperatura média máxima na Amazônia central: estudo de caso para a região do oeste do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

GIBBS, W. J.; MAHER, J. V. **Rainfall Deciles as Drought Indicators**. Melbourne: Bureau of Meteorology, 1967. (Bulletin n. 48).

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, L. C. **Uso de modelos de markov com estados ocultos e informações climáticas para a previsão de afluências**. 2019. 213 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Diretoria de Pesquisas-DPE**. Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Diretoria de Pesquisas-DPE**. Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Diretoria de Pesquisas-DPE**. Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS, 2018.

IPCC. Summary for Policymakers. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

KENDALL, M. G. **Rank correlation Methods**. 4. ed. Londres: Charles Griffin, 1975.

KEYANTASH, J.; DRACUP, J. A. The quantification of drought: An evaluation of drought indices. **Bulletin of the American Meteorology Society**, v. 83, n. 8, p. 1167-1180, 2004.

KOGAN, F. N. World droughts in the new millennium from avhrr-based vegetation health indices. **Eos Transactions American Geophysical Union**. v. 83, n. 48, p. 562-563, 2002.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPEERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual review of environment and resources**, v. 28, n. 1, p. 205-241, 2003.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometria**, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., ALVALÁ, R. C., CUNHA, A. P., BRITO, S. S., MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018.

MARTINS, A. L.; CUNHA, C. R.; PEREIRA, V. M. R.; DANELICHEN, V. H. M.; MACHADO, N. G.; LOBO, F. A.; MUSIS, C. R.; BIUDES, M. S. Mudanças em índices biofísicos devido à alteração da cobertura do solo em área nativa de Cerrado em Mato Grosso. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 4, p. 152-159, 2015.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationships of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 8., 1993, Anaheim, CA. **Anais [...]**. Anaheim, CA, 1993. p. 233-236.

MOREIRA, J. G. V.; NAGHETTINI, M. Detecção de tendências monotônicas temporais e relação com erros dos tipos i e ii: estudo de caso em séries de precipitações diárias máximas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 394-402, 2016.

NASCIMENTO, R. S.; BRITO, J. I. B. Modelo de vegetação potencial para a Região Nordeste decorrente da precipitação pluvial. **Bragantia**, v. 66, n. 3, p. 511-519, 2007.

OLIVEIRA, G. S. **Consequências climáticas da substituição gradual da floresta tropical amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: um estudo de modelagem**. 2008. 417 f. (INPE-15263-TDI/1346). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

OYAMA, M. D. **Consequências climáticas da mudança de vegetação no nordeste brasileiro: um estudo de modelagem**. 2002. 181 f. Tese (Doutorado em Meteorologia)

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Mudanças climáticas e cidades:** relatório especial do painel brasileiro de mudanças climáticas. Rio de Janeiro, Brasil, 2016.
- PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Washington: U.S. Department of Commerce, 1965. 58p. (U.S. Department of Commerce. Research paper, 45).
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 4.0 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. Disponível em: [https://code.earthengine.google.com/?accept\\_repo=users/mapbiomas/user-toolkit](https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/mapbiomas/user-toolkit). Acesso em: 08 out. 2019.
- SALVADOR, M. A. Nota de pesquisa climap: aplicativo para análise de dados climáticos-versão 3.0. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, 2017.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.
- SANTOS, S. R. Q.; CUNHA, A.P.M.A.; RIBEIRO NETO, G. G. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 90-100, 2019.
- SHAFER, B.A.; DEZMAN, L.E. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In: PROCEEDINGS OF THE WESTERN SNOW CONFERENCE, 1982, Fort Collins, CO. **Anais [...]**. Fort Collins, CO, 1982. p. 164-175.
- SILVA, D. S. M. **Produção animal e emissões de gases de efeito estufa em pastos de capim-ipyborã e capim-mulato II no bioma Amazônia**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2018.
- SILVA, I. F.; GALVÍNCIO, J. D.; NÓBREGA, R. S. Impacto das mudanças climáticas nas respostas hidrológicas do rio Ipojuca (PE), parte 2: cenários de aumento de temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 2, p. 19-30, 2009.
- SOUZA, S. S. **Impactos climáticos regionais da mudança de vegetação no semi-árido do Nordeste brasileiro**. 2006. 209 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.
- SOUZA, D. C.; OYAMA, M. D. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 103, p. 345-357, 2011.
- SPINONI, J.; NAUMANN, G.; CARRAO, H.; BARBOSA, P.; VOGT, J. World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 2792-2804, 2014.
- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido**. 2017. Disponível em: <http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 08 out. 2019.
- TERRABRASILIS. **Dados geográficos gerados pelos projetos de monitoramento da vegetação nativa do instituto como o PRODES e o DETER. 2019**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/tag/terrabrasilis/>. Acesso em: 08 out. 2019.
- VALADÃO, C. E. A.; CARVALHO L. M. V.; LUCIO P. S.; CHAVES R. R. Impacts of the Madden-Julian oscillation on intraseasonal precipitation over northeast Brazil, **International Journal of Climatology**, n. 37, n. 4, p. 1859-1884, 2016.
- VIEIRA, R. M. S. P, CUNHA, A. P. M. A., ALVALÁ, R. C. S., CARVALHO, V. C., FERRAZ NETO, S., SESTINI, M. F. Land use and land cover map of a semi-arid Region of Brazil for meteorological and climatic models. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 129-138, 2013.
- TAYLOR, C. M.; LAMBIN, E. F.; STEPHENNE, N.; HARDING, R. J.; ESSERY, R. L. H. The influence of land use change on climate in the sahel. **Journal of Climate**, v. 15, p. 3615-3629, 2002.
- TWINE, T. E. Effects of land cover change on the energy and water balance of the



Mississippi river basin. **Journal of Hydrometeorology**, v. 5, p. 640-655, 2004.

WAGESHO, N.; GOEL, N.K.; JAIN, M.K. Investigation of non-stationarity in hydro-climatic variables at Rift Valley lakes basin of Ethiopia. **Journal of Hydrology**, v. 444-445, p. 113-133, 2012.

XUE, Y.; SHUKLA, J. The influence of land surface properties on Sahel climate, part I: desertification. **Journal of Climate**, v. 6, n. 12, p. 2232-2245, 1993.

XUE, Y.; JUANG, H-M. H.; LI, W.; PRINCE, S.; DEFRIES, R. S.; JIAO, Y.; VASIC, R. Role of land surface processes in monsoon development: East Asia and West Africa. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. 3, 2004.

YANAGI, S. N. M.; COSTA, M. H. Modeling radiative transfer in tropical rainforest canopies: sensitivity of simulated albedo to canopy architectural and optical parameters. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 83, n. 4, p. 1231-1242, 2011.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v. 259, p. 254-271, 2002.

