



UNIVERSIDADE CEUMA
REITORIA
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE

JESSFLAN RAFAEL NASCIMENTO SANTOS

**TENDÊNCIAS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO
AMAZÔNIA-CERRADO NO ESTADO DO MARANHÃO**

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Brito Silva

São Luís
2018

JESSFLAN RAFAEL NASCIMENTO SANTOS

**TENDÊNCIAS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO
AMAZONIA-CERRADO NO ESTADO DO MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente da Universidade CEUMA, como requisito para obtenção do grau de Mestre (a) em Meio Ambiente.

Orientador: Dr. Fabrício Brito Silva

São Luís
2018

UNIVERSIDADE CEUMA
REITORIA
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE

**Folha de aprovação da Dissertação de Jessflan Rafael
Nascimento Santos defendida e aprovada pela Comissão
Julgadora em 29/08/2018**

JESSFLAN RAFAEL NASCIMENTO SANTOS

CLAUDIA KLOSE PARISE

1º Titular

DENILSON DA SILVA BEZERRA

2º Titular

PAULO CESAR MENDES VILLIS

3º Titular

FABRÍCIO BRITO SILVA

Presidente da Comissão

Prof. Dr. Valério Monteiro Neto

Pró-Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão

Resumo

Os extremos climáticos têm sido tema de grande interesse em pesquisas de mudanças climáticas por proporcionar subsídios para gestão de eventos de desastres naturais e causar desequilíbrios nos sistemas sociais e produtivos. Porém, as regiões de transição entre biomas e ecossistemas têm sido pouco exploradas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar os índices de extremos climáticos derivados da temperatura e precipitação na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão no período de 1986 a 2016. Foi utilizado o programa computacional RClindex e teste não paramétrico de Mann-Kendall para detectar as tendências de aumento ou decréscimo. As temperaturas máximas e mínimas mostraram uma forte tendência de aumento, evidenciando que tantos os dias quanto as noites estão mais quentes em todo o Estado. Em relação à precipitação, há uma grande variabilidade espaço-temporal, não havendo padrão bem definido, mas ocorrendo uma estação com aumento no volume de chuvas e umidade e outra com decréscimo estatisticamente significativo. Dessa forma, o clima está mudando de forma diferente em diferentes localidades no Estado do Maranhão.

Palavras-chaves: Mudanças Globais, Variabilidade climática, Vulnerabilidade climática.

Abstract

Climatic extremes have been a subject of great interest in climate change research because they provide subsidies for management in natural disaster events and imbalances in social and productive systems. However, transition regions between biomes and ecosystems have been little explored. Thus, the objective of this work was to estimate the indexes of climate extremes derived from temperature and precipitation in the Amazonia-Cerrado transition region in the State of Maranhão from 1986 to 2016. The software RClindex and non-parametric Mann-Kendall test were employed to detect increasing or decreasing trends. Maximum and minimum temperatures showed a strong upward trend, evidencing that days and nights are warmer throughout the state. In relation to precipitation, there is a large space-time variability, with no well defined pattern, but with a season with increase in rainfall and humidity, and another with a statistically significant decrease in precipitation volume. Thus, it can be stated that the climate is changing differently in different locations in the State of Maranhão.

Keywords: Global Changes, Climate Variability, Climate Vulnerability.

“Incline-se em direção aos seus medos,
pois do outro lado deles está o futuro
que você deseja. ”

(Erwin McMANUS)

Agradecimentos

Agradeço a Deus por seu infinito Amor, misericórdia e pela sua incomparável Graça derramada de uma forma tão generosa sobre minha vida, pois certamente não mereço.

Aos meus amados pais Luzia e Flank, assim como também a minha irmã Karen, pela compreensão, apoio e amor em todos os momentos.

A toda minha família, pelas orações, suporte e torcida.

Aos amigos do laboratório, na verdade, aos mais que amigos, a toda família LabGeo, e em especial a Mayara, Emenson, Juliana Sales, Juliana Lopes, Camila Everton, Taynara, Luan e Pedro.

Ao meu orientador, prof. Dr. Fabrício B. Silva, pela confiança e oportunidade de trabalhar juntos e também pela amizade e por todo o incentivo desde o início, sem dúvida fundamental para superação de algumas limitações.

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Lista dos 11 índices de extremos climáticos de temperatura (a) e 11 índices de precipitação (b) do ETCCDMI.....	20
Tabela 2 – Limiares utilizados para os índices definidos pelo usuário.	22
Tabela 3 – Tendência dos índices de extremos climáticos de temperatura para o Estado do Maranhão de 1986 a 2016.....	24
Tabela 4 – Tendência dos índices de extremos climáticos de Precipitação para o Estado do Maranhão de 1986 a 2016.....	25
Tabela 5 – Correlação entre índices de extremos climáticos de precipitação e anomalias de TSM.....	32

Lista de Figuras

Figura 1 – Figura apresentada no último sumário executivo do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), demonstrando resultados da comparação das mudanças recentes já registradas (dados observacionais) em escalas continental e global, na temperatura anual média da superfície da terra e dos oceanos, com resultados obtidos por simulação dos modelos climáticos, usando-se forçantes naturais e antrópicos. As médias decenais das observações são apresentadas para o período de 1906 a 2010 (linha preta) plotadas sobre o centro da década e relativas à média correspondente para 1901-1950. As linhas são tracejadas quando a cobertura espacial é inferior a 50%. As zonas roxas indicam a faixa de 5 a 95% para as simulações dos modelos climáticos com o uso apenas dos forçantes naturais devidos à atividade solar e aos vulcões. As zonas rosas mostram a faixa de 5 a 95% para as simulações dos modelos climáticos com o uso dos forçantes natural e antrópico. Fonte: IPCC, 2013. 7

Lista de Abreviaturas

- AMO** - Oscilação Multidecadal do Atlântico
- CDD** - Dias consecutivos secos
- CO₂** - Dióxido de Carbono
- DTR** - Variação de temperatura diária
- ENOS** - El Niño Oscilação Sul
- ETCCDMI** - Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas
- GGE** - Gás de Efeito Estufa
- INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia
- IPCC** - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- IVDN** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
- MEI** - Índice El Niño Multivariado
- nn* - precipitação diária
- OMM** - Organização Mundial de Meteorologia
- PDO** - Oscilação Decadal do Pacífico
- Rnn** - Número de dias com a precipitação *nn* mm, definido pelo usuário
- Rx5day** - Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos
- R95p** - Dias muito úmidos
- SPM** - Sumário para Tomadores de Decisão
- SU** - Dias de Verão
- TNx** - Noite mais quente
- TNn** - Noite mais fria
- Tn90p** - Noites quentes
- Tn10p** - Noites frias
- TSM** - Temperatura da Superfície do Mar
- TR** - Noites Tropicais
- TXx** - Dia mais quente
- TXn** - Dia mais frio
- Tx90p** - Dias quentes
- Tx10p** - Dias frios
- UNFCCC** - Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Mudanças Climáticas	3
2.2 IPCC	5
2.3 Extremos climáticos	8
2.4 Anomalias Oceânicas.....	10
3. CAPÍTULO I: ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA	14
4 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	64
Atividades Desenvolvidas no Período	71
ANEXO: Normas para submissão na Revista	72

1 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas globais significativas foram observadas no último século. O Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), relata que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, e muitas das mudanças observadas foram inéditas em diferentes escalas de tempo (IPCC, 2013).

A ocorrência de eventos extremos pode ter um impacto ambiental sobre os ecossistemas e de saúde pública maior se comparado com as mudanças nas condições meteorológicas médias, e tem havido considerável interesse recente em avaliar tendências em eventos climáticos extremos como evidência de mudança climática (Alexander et al., 2006; Nicholls e Alexander, 2007).

Entretanto, gradualmente há uma compreensão dos efeitos do aquecimento global na comunidade científica sobre os recursos hídricos, a agricultura, o nível do mar, os mantos de gelo e a saúde humana (Yilmaz et al., 2014; Zhang et al., 2014).

O clima no Brasil acompanha a mesma tendência de aquecimento global (ASSIS et al., 2012; SOLOMON et al., 2007). Particularmente, a Amazônia foi reconhecida como uma região vulnerável às mudanças climática ao longo do século (Lenton et al., 2008; Malhi et al., 2008), assim como o nordeste brasileiro (Yoama e Nobre, 2004; Sun et al., 2007).

Diversos estudos investigaram os impactos das mudanças climáticas na Amazônia e da “morte de floresta” na dinâmica da vegetação, ciclo de água e carbono, e retroalimentação com o sistema climático global na última década (Huntingford et al., 2004; Huntingford et al., 2008; Lapola et al., 2009).

Estudos mostram que eventos extremos de seca na Amazônia como nos anos de 1997/98, 2005, 2010 e 2015 estão relacionadas a ocorrência do El Niño (Nepstad et al., 1999; Marengo et al., 2008; Lewis et al., 2011; Aragão et al., 2018), onde houve reduções consideráveis na produtividade de culturas, pastagens e escassez de alimentos, entre uma variedade de outros impactos relevantes dentro e fora da Amazônia (Moran et al., 2006; Brondizio e Moran, 2008; Lenton et al., 2009).

O Nordeste brasileiro ou o semiárido brasileiro, apresenta substanciais variações temporais e espaciais da precipitação pluvial, e elevadas temperaturas ao longo do ano (NÓBREGA et al., 2014), com médias anuais sempre superiores a

18°C, verificando-se desde territórios mais secos no interior até mais úmidos, na costa leste da região (SILVA et al., 2008).

Para Assis, Lacerda & Sobral (2012) diante do contexto de mudanças climáticas globais sobre o Nordeste, é importante destacar a irregularidade na distribuição dos índices pluviométricos, associada à alta variabilidade interanual da precipitação na região tropical, com anos secos e outros chuvosos, onde diversos fatores podem contribuir para explicar essa alta variabilidade de precipitação, como por exemplo, a flutuação nos valores de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Tropical e do Atlântico.

O El Niño e a Oscilação do Sul são um fenômeno global conhecido como ENOS, responsável pela variabilidade interanual da precipitação no Nordeste do Brasil. As anomalias climáticas relacionadas, ao fenômeno, são persistentes e podem durar vários meses (Aragão, 1986).

O Estado do Maranhão é privilegiado, pois, encontra-se em uma zona de transição dos biomas Amazônia-Cerrado, portanto, apresenta uma grande variabilidade espacial das características ambientais destes biomas. Além disso, parte do seu território está situado em uma região de alta influência da Zona de Convergência Intertropical e outra parte por fenômenos climáticos originalmente continentais (Ferreira e Melo, 2005).

Em geral, as mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar e da precipitação pluvial. De acordo com as tendências destas variáveis para um determinado local é observado se ocorreram mudanças no clima. Entretanto, para melhor definir esta questão a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou um grupo de trabalho que elaborou índices de detecção de extremos climáticos. Ao todo foram definidos 27 (vinte e sete) índices, sendo que alguns destes são aplicados para latitudes médias, outros para os trópicos e parte deles são válidos para qualquer local. Destes índices 11 são decorrentes da precipitação e 16 da temperatura do ar (IPCC, 2002).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mudanças Climáticas

Muito se tem falado a respeito sobre as possíveis mudanças climáticas globais que estariam em curso, modificando os padrões climáticos. Especula-se que, a emissão cada vez maior de gases poluentes, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), estaria comprometendo, de forma sem precedente, o ambiente humano. Entre as possíveis evidências destas alterações no ambiente local estariam: o efeito estufa, a inversão térmica e principalmente alteração no ciclo hidrológico (ARAÚJO, 2009).

Contudo, o debate tem sido caracterizado por uma bipolarização em duas frentes ideológicas e antagônicas. Os da esquerda consideram que o possível efeito estufa é, sem dúvida, intensificado pela atividade industrial, fornecendo a estes uma ferramenta no combate ao capitalismo e globalização. Baseado nisto, estes exigem restrições às emissões de gases de efeito estufa (CO₂, metano, CFC, etc.) e, conseqüentemente, restrições às atividades industriais. Porém, este ponto de vista é também defendido pelos ONGs, Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC) e a maioria dos governos. Por sua vez, a direita ignora o problema e defende o direito de continuar com as atividades industriais e suas emissões, de acordo com os seus próprios interesses e a mentalidade "laissez-faire". O governo dos EUA está na frente desta linha, juntamente com a indústria de produção de combustíveis fósseis, que querem garantir a obtenção e consumo de energia barata a qualquer meio e custo, até militarmente, globalizando também os problemas ambientais (Klare 2001, Eerola, 2003).

Segundo Tucci (2002), as disparidades sobre as definições utilizadas em relação às alterações climáticas acontecem de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade.

O IPCC (2007) define mudanças como sendo qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, devido à variabilidade natural ou decorrente de atividades antrópicas. A Convenção-Quadro das Nações Unidas afirma que o termo mudança do clima se refere a uma mudança no clima que seja atribuída direta ou indiretamente a ações antrópicas, alterando a composição atmosférica global e seja adicional à variabilidade natural do clima observada ao longo dos períodos comparáveis de tempo.

Para Davis (2011) as mudanças climáticas ocorrem tanto naturalmente em função do sistema climático regional e global, quanto em resposta a influência adicional devido as ações antrópicas. Enquanto Le Treut et al. (2007), explica a mudança climática como o resultado da evolução do sistema climático no tempo que pode ser influenciada por dinâmicas internas próprias e devida às alterações em fatores externos denominados de forçantes. Entre forçantes externas incluem: fenômenos naturais como erupções vulcânicas e variações solares, assim como mudanças na atmosfera induzidas pelo homem.

Enquanto para Eerola (2003) a geologia está em uma posição chave ao se discutir sobre as mudanças climáticas, uma vez que, os processos e as mudanças geológicas relacionadas cobrem milhares, milhões ou até bilhões de anos. Desta forma, torna-se necessário de se considerar uma perspectiva de tempo mais amplo quando pesquisamos diferentes ciclos, por exemplo em relação às mudanças climáticas.

Eerola (2001) afirma que as mudanças climáticas são normais ao comportamento do planeta e suas principais causas são geológicas. Segundo o mesmo autor, o mais importante impulso às mudanças climáticas foi à deriva dos continentes, especialmente a junção destes em grandes supercontinentes e a sua fragmentação. Além disso, a colisão de continentes gera novas cordilheiras, o que pode impedir o acesso de correntes atmosféricas quentes de uma região à outra e as áreas montanhosas podem gerar geleiras alpinas, tendo estas um efeito de resfriador da atmosfera, também conhecido pelas glaciações.

Não existe um consenso em relação a suas possíveis causas quando se trata de mudanças climáticas. Entretanto, O aumento na concentração do dióxido de carbono tem sido a principal causa do aquecimento nos últimos 50 anos. A concentração deste gás tem aumentado na atmosfera desde o início da era industrial em 1759, e as atividades antrópicas têm sido a principal causa das emissões de outros gases de efeito estufa (GGE), como metano, óxido nitroso e halo carbonetos e vapor d'água (Le Treut et al. 2007; Karl et al. 2009; Oliveira, 2008).

O CO₂ é o GEE antrópico mais importante, sendo que a sua concentração atmosférica global aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. A sua concentração na atmosfera em 2005 ultrapassou de forma significativa a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), como

determinado a partir de testemunhos de gelo. A taxa de aumento da concentração anual de CO₂ foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano), do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano para o outro nas taxas de aumento (IPCC, 2007).

Diante desses fatos, poderá ocorrer a elevação do risco climático nas regiões produtoras devido ao aumento da temperatura do ar, conforme resultados dos modelos climáticos utilizados nos estudos do IPCC (2007), os quais projetaram um aquecimento médio global da superfície do planeta, variando de 1,8 ° C a 4 ° C até o final do século XXI tomando-se como referência o período de 1980 a 1999.

As concentrações atuais desses gases na atmosfera estão aumentando acima dos níveis desejáveis, levantando preocupações de que essa tendência possa resultar em significativos impactos ambientais globais, acompanhado de inúmeras consequências negativas. Ainda não há uma conclusão sobre a magnitude dos impactos que o aumento da concentração atmosférica dos GEE pode causar, e muitos dos fenômenos atribuídos a esse aumento podem ser explicados por oscilações naturais na órbita terrestre que influenciam a quantidade de radiação solar que atinge o planeta (OLIVEIRA, 2014).

2.2 IPCC

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM ou WMO, em inglês) e pelo programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (UNEP), em 1988. O IPCC é aberto a todos os países membros da UNEP e da OMM, e se reúne normalmente em sessões plenárias uma vez por ano. Estas sessões decidem a estrutura, princípios, procedimentos e programa de trabalho do IPCC, além de eleger a presidência de suas comissões. Também é responsável por definir o escopo dos relatórios do IPCC e aceitá-los. As sessões plenárias são conduzidas nas seis línguas oficiais da ONU e geralmente são atendidas por centenas de representantes de governos e organizações participantes. A presidência e as comissões do IPCC são apoiadas pelo Secretariado do IPCC.

O papel do IPCC é fornecer informações confiáveis a respeito dos conhecimentos científicos pertinentes às mudanças climáticas. O IPCC não conduz

nenhuma pesquisa científica propriamente, mas revisa milhares de documentos sobre mudanças climáticas publicadas na literatura especializada todos os anos e resume o “nível de conhecimento” sobre o assunto em Relatórios de Avaliação que são publicados a cada cinco anos, em média. Todos os cientistas e especialistas envolvidos em produzir e revisar o trabalho do IPCC o fazem de forma voluntária (IPCC, 2001).

O IPCC está dividido em três Grupos de Trabalho, Grupo de Trabalho I: “avalia os aspectos científicos do sistema climático e das mudanças climáticas”. Isto é, responde sobre o que se sabe das mudanças climáticas – se está acontecendo, por que está acontecendo e em que velocidade ocorreu ou está ocorrendo. Grupo de Trabalho II: “avalia a vulnerabilidade dos sistemas socioeconômicos e naturais das mudanças climáticas, consequências negativas e positivas das mudanças climáticas e as opções de adaptação”. Em outras palavras, revela os impactos das mudanças climáticas na vida das pessoas e no meio ambiente, e que mudanças podem reduzir estes impactos. Grupo de Trabalho III: “avalia opções para limitar as emissões de gases do efeito estufa e, assim, mitigar as mudanças climáticas”. Isto é, observa maneiras pelas quais se pode barrar as mudanças climáticas induzidas pelo homem, ou ao menos, desacelerá-las.

Cada um dos relatórios dos três Grupos de Trabalho inclui um Sumário para Tomadores de Decisão (SPM, em inglês), publicados em todas as línguas oficiais da ONU. O SPM é escrito de tal maneira a ser compreendido por não-especialistas.

Pode-se destacar uma significativa influência das avaliações anteriores do IPCC, tais como, a criação da Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, em inglês) pela Assembleia Geral da ONU em 1990 e contribuição para as negociações da Convenção do Protocolo de Kyoto em 1995.

A Figura 1, apresentada no sumário executivo do IPCC (IPCC, 2013), mostra o resultado de um estudo comparativo sobre as questões da variabilidade natural e da mudança climática através da utilização de modelagem climática. Em que, demonstram-se os dados observados, simulações que não incluem as atividades humanas, representando de maneira aproximada a variabilidade natural, e as simulações das mudanças climáticas, que levam em consideração a forçante antrópica. Todos estes resultados foram feitos para um período aproximado que vai de 1906 a 2010. Esta figura mostra também, a boa representatividade dos modelos

climáticos quando levam em consideração as atividades humanas, uma vez que apresentam um comportamento muito parecido com o dos dados observados. Dando desta forma, maior confiabilidade às simulações futuras.

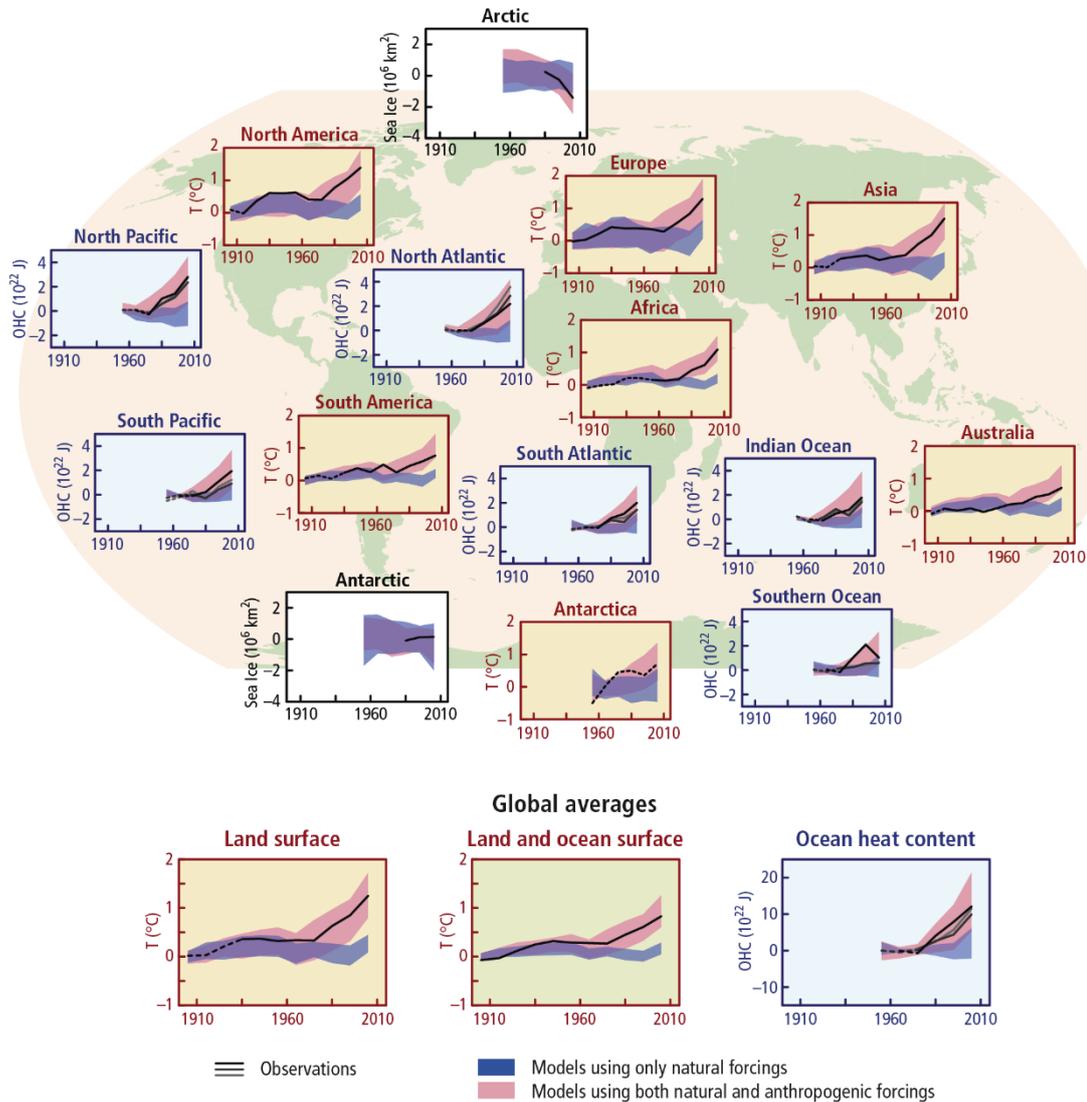


Figura 1 – Figura apresentada no sumário executivo do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), demonstrando resultados da comparação das mudanças recentes já registradas (dados observacionais) em escalas continental e global, na temperatura anual média da superfície da terra e dos oceanos, com resultados obtidos por simulação dos modelos climáticos, usando-se forçantes naturais e antrópicos. As médias decenais das observações são apresentadas para o período de 1906 a 2010 (linha preta) plotadas sobre o centro da década e relativas à média correspondente para 1901-1950. As linhas são tracejadas quando a cobertura espacial é inferior a 50%. As zonas roxas indicam a faixa de 5 a 95% para as simulações dos modelos climáticos com o uso apenas dos forçantes naturais devidos à atividade solar e aos vulcões. As zonas rosas mostram a faixa de 5 a 95% para as simulações dos modelos climáticos com o uso dos forçantes natural e antrópico. Fonte: IPCC, 2013.

Segundo o quinto relatório (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) é extremamente provável que mais de metade do aumento observado na temperatura média global (cerca de 0,5° C a 1,3° C) da superfície no período de 1951 a 2010 tenha sido causado pelo aumento nas concentrações de gases do efeito estufa derivados das ações antropogênicas.

As concentrações atmosféricas de GEEs atuais estão em níveis sem precedentes se comparado com os últimos 800,000 anos. As concentrações de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) mostraram grandes aumentos desde 1750 (40%, 150% e 20% respectivamente). As concentrações de CO₂ estão aumentando a taxa de mudança decenal observada mais rapidamente (2,0 ± 0,1 ppm / ano) para 2002-2011. Após quase uma década de concentrações estáveis de CH₄ desde o final da década de 1990, as medidas atmosféricas mostraram aumentos renovados desde 2007. As concentrações de N₂O aumentaram de forma constante a uma taxa de 0,73 ± 0,03 ppb / ano nas últimas três décadas (IPCC, 2014).

2.3 Extremos climáticos

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas define um extremo climático como "a ocorrência de um valor da variável climática perto das extremidades superiores (ou inferiores) dentro do intervalo de valores observados da variável" (IPCC, 2012).

O crescente interesse em eventos climáticos extremos é motivado pela vulnerabilidade da nossa sociedade aos impactos de tais eventos. Há evidências crescentes que sugerem que o forçamento antropogênico está afetando o clima atual (Barnett et al., 2005) e continuará a fazê-lo no futuro (Cubasch et al. 2001).

Dessa forma, as investigações do aquecimento global estão passando cada vez mais das avaliações do comportamento médio para a compreensão e análise dos efeitos nos extremos (Bürger et al., 2012). Contudo, sob uma mudança climática, uma pequena variação nos valores médios de temperatura pode ser associada a grandes mudanças na frequência de eventos extremos (Katz e Brown, 1992).

Eventos extremos têm um enorme impacto na sociedade e ecossistemas. Particularmente, as temperaturas altas e baixas são um dos eventos extremos mais

estudados, pois sua ocorrência influencia gravemente a agricultura (muitas culturas são afetadas pelo número de dias de geada ou a quantidade de dias quentes por ano), a saúde humana (a onda de calor que afetou a Europa em 2003 causou entre 22 000 e 35 000 óbitos (Schär et al., 2004)), demanda de energia, recursos hídricos e disponibilidade de água potável, entre outros.

Segundo o AR5 (IPCC, 2014) eventos extremos relacionados ao clima estão aumentando em frequência, gravidade e duração (Selvey et al., 2014; Yilmaz et al., 2014). Existe um consenso significativo de que a frequência e a intensidade de alguns eventos climáticos extremos irão aumentar em todo o mundo ao longo dos próximos 50 anos (Donat et al., 2013; García-Cueto et al., 2014).

É provável que as mudanças climáticas produzam mais eventos extremos (Tramblay et al., 2012), com maior probabilidade de ocorrência de eventos como inundações, secas, ondas de calor e tempestades de neve (García-Cueto et al. 2014; O'Gorman, 2014).

Contudo, existem mais estudos de mudanças regionais em extremos climáticos do que avaliações em escala global. Estudos regionais foram relatados para a China (Zhai et al., 2003; He et al. 2011; Wang et al., 2016), América do Norte (Williams et al., 2012; Powell & Keim, 2015), América do Sul (Vicente et al., 2005; Falvey & Garreaud, 2009; Grimm, 2011), Europa (Winkler, 2009; van der Schrier et al., 2011), Austrália (Plummer et al., 1999; Trewin, 2013) e Oriente Médio (Zhang et al., 2005).

Em relação a estudos de extremos climáticos no Brasil existem mais avaliações em escala locais, a maioria no nordeste brasileiro. Santos & Brito (2007) analisaram os índices de extremos climáticos para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e sua relação com TSM e IVDN.

Silva & Azevedo (2008) realizaram um estudo sobre índices de tendência de mudança climática no estado da Bahia com as variáveis de precipitação, temperatura máxima e mínima diária.

Souza & Azevedo (2012) avaliaram os índices de detecção de mudanças climáticas derivados da precipitação pluviométrica e das temperaturas em Recife – PE.

Pinheiro et al. (2013) ao avaliar a tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil, observou uma tendência positiva dos máximos

diários anuais ao longo do tempo, assim como significativa elevação dos totais mensais e anuais em 16 das 18 estações.

2.4 Anomalias Oceânicas

Fenômenos de interação oceano-atmosfera são estudados há vários anos em diversas regiões do mundo, sendo que entre eles, os mais difundidos estão relacionados aos impactos dos fenômenos oceânicos do tipo El Niño Oscilação Sul (ENOS), no clima de todo o globo (Grimm et al., 1998; Ludescher et al. 2013). No entanto, dois fenômenos também influenciam o clima em escala global, sendo estes a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO, em inglês) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO, em inglês).

Segundo Adams et al. (1999), os eventos ENOS podem ser caracterizados como a variação com uma fase normal e/ou neutra e duas fases extremas conhecidas como El Niño e La Niña. A fase neutra denota os anos em que as condições meteorológicas do Oceano Pacífico são de normalidade.

O El Niño é fenômeno caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais na região do Pacífico Equatorial, ocasionando uma mudança no padrão de correntes e domínio de águas mais quentes em superfície com consequentemente modificações climáticas como o enfraquecimento de ventos alísios, interferência no padrão de transporte de umidade, variação no regime e distribuição de chuvas sobre a América do Sul, dentre outros efeitos (Kousky & Cavalcanti, 1984; Tomczac & Godfrey, 2013).

Enquanto que a La Niña é o fenômeno contrário do El Niño, em que o aumento do gradiente horizontal de pressão intensifica os ventos alísios de sudeste, intensificando o transporte de águas em direção ao Pacífico Oeste, provocando o fenômeno da ressurgência, isto é, o afloramento de águas mais frias, desde a costa oeste da América do Sul até o Pacífico Central (Calderon & Borsato, 2017).

Anomalias climáticas em larga escala associadas às condições de El Niño e La Niña foram documentadas em todo mundo através de teleconexões atmosféricas e oceânicas, com impactos significativos na sociedade e no sistema natural (Ropelewski e Halpert 1987; Trenberth et al., 1998; McPhaden et al., 2006).

A variabilidade do ENOS afeta a agricultura, geração de energia, recursos hídricos, saúde pública e segurança, silvicultura, pesca, transporte, turismo,

mercados financeiros e muitas outras esferas do esforço humano sensível ao clima (GLANTZ et al., 2000).

Além disso, há impactos ambientais decorrentes da influência do El Niño e La Niña sobre os padrões globais de produção primária (fixação de carbono pela as plantas) (BEHRENFELD, et al., 2001), com efeitos que repercutem em níveis mais altos da cadeia alimentar em ecossistemas marinhos e terrestres (CHAVEZ et al., 1999).

A Oscilação Decadal do Pacífico é considerada um evento climático que ocorre em um período de 20 a 30 anos, e cobre vastas áreas do Oceano Pacífico. Possui duas fases conhecidas: fase positiva e fase negativa.

Na primeira, a temperatura das águas oceânicas superficiais do Pacífico está mais elevada que a média global, essas águas se estendem desde a costa oeste da América do Norte até a Linha do Equador formando um tipo de padrão curvado juntamente com as águas mais frias localizadas no Pacífico Noroeste e central (MA, 2007).

Essa fase é similar ao evento El Niño no que se refere a temperatura das águas superficiais, porém a PDO cobre áreas maiores que se encaminham ao norte e predomina na costa ocidental norte americana (Zhang et al. 1997; Evans et al. 2001).

Como consequência da presença de água mais quente na América do Norte, especificamente no sul do Alaska – EUA, há um maior comparecimento da espécie de peixes Salmonidae, espécie abundante no norte da Eurásia e da América (MANTUA e HARE, 2002).

De modo reverso, a fase negativa da PDO apesar de cobrir a mesma extensão geográfica, as águas presentes na costa oeste da América do Norte até a Linha do Equador estão mais frias que o normal e as do lado do Pacífico Noroeste/Central encontram-se mais quentes. Pode-se relacionar essa fase ao evento de La Niña, com as mesmas exceções da fase positiva no que se refere a abrangência do fenômeno e a incidência geográfica do mesmo (MA, 2007).

A PDO é associada a severas secas no sudoeste dos Estados Unidos e a um aumento na precipitação pluviométrica no lado oriental da Austrália (HESSL; MCKENZIE e SCHELLHAAS, 2004).

A Oscilação Multidecadal do Atlântico é um fenômeno que ocorre no oceano Atlântico, alterna-se entre fases de temperaturas oceânicas frias e quentes durante um período de aproximadamente 70 anos (fase negativa e positiva respectivamente) e ocorre devido a uma variabilidade interna oceano-atmosfera (KNIGHT; FOLLAND e SCAIFE, 2006). As regiões em que as águas estão mais frias ou mais quentes revezam-se entre a região do Atlântico Norte e do Atlântico Sul.

Durante a fase positiva as águas superficiais estão com a temperatura mais quente e podem ser observadas no Atlântico Norte, já ao sul estão mais frias. Essa diferença de temperatura entre as duas regiões pode ocasionar um incremento nas atividades vulcânicas assim que as águas mais quentes proveem energia para o desenvolvimento de tempestades (ENFIELD; MESTAS-NUÑEZ e TRIMBLE, 2001). Além disso podem contribuir com verões mais úmidos no norte europeu e indianos (com a presença de ventos de monções), aumento de chuvas no Sahel africano, secas no nordeste brasileiro (NOBREGA, 2014) e ainda a uma redução de gelo no Ártico.

Na fase negativa, as águas com temperatura mais frias são observadas no Atlântico Norte, e ao sul estão quentes. Ao contrário do que é observado na fase positiva, a fase negativa é apontada a severas secas no Sahel africano.

Devido à complexidade da variabilidade climática, estudos de integração de modelos numéricos para a elaboração de modelos climáticos tem sido realizado com o intuito de compreender a vasta influência da AMO no clima global e suas interações. Logo, uma abordagem complementar para investigar a variabilidade multidecadal depende de integrações numéricas de modelos acoplados atmosfera-oceano (DIMA e LOHMANN, 2007).

Delworth et al. (1993) descrevem um ciclo multidecadal de 50 anos com um modelo oceânico acometido pela variabilidade aleatória atmosférica. Timmermann et al. (1998) descrevem um modelo oceano-atmosférico acoplado ao Hemisfério Norte em um período de 35 anos. Isso envolve interações entre a circulação termohalina (THC) e a atmosfera no Atlântico Norte e as interações entre o oceano e a atmosfera no Pacífico Norte.

Alguns estudos mostraram a influência dessas anomalias na Amazônia e Cerrado aqui no Brasil. Aragão et al. (2018) constaram que grandes eventos de seca na Amazônia nos anos de 2005, 2010 e 2015 ocorreram quando os índices de

anomalias oceânicas MEI, PDO e AMO foram positivos concomitantemente. O nordeste brasileiro tem como principal manifestação da variabilidade climática, a seca, onde também está associada às variabilidades de temperatura da superfície do mar nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical (MARENGO e SILVA DIAS, 2007; NOBRE et al., 2006).

3. CAPÍTULO I: ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA...

TENDÊNCIAS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO AMAZONIA-CERRADO NO ESTADO DO MARANHÃO

Resumo: Os extremos climáticos têm sido tema de grande interesse em pesquisas de mudanças climáticas por proporcionar subsídios para gestão de eventos de desastres naturais e causar desequilíbrios nos sistemas sociais e produtivos. Porém, as regiões de transição entre biomas e ecossistemas têm sido pouco exploradas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar os índices de extremos climáticos derivados da temperatura e precipitação na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão no período de 1986 a 2016. Foi utilizado o programa computacional RClindex e teste não paramétrico de Mann-Kendall para detectar as tendências de aumento ou decréscimo. As temperaturas máximas e mínimas mostraram uma forte tendência de aumento, evidenciando que tantos os dias quanto as noites estão mais quentes em todo os Estado. Em relação à precipitação, há uma grande variabilidade espaço-temporal, não havendo padrão bem definido, mas ocorrendo uma estação com aumento no volume de chuvas e umidade e outra com decréscimo estatisticamente significativo. Dessa forma, o clima está mudando de forma diferente em diferentes localidades no Estado do Maranhão.

Palavras-chaves: mudanças globais, variabilidade climática, vulnerabilidade climática

TRENDS OF CLIMATE EXTREMES IN THE AMAZON-SAVANNA TRANSITION REGION IN THE STATE OF MARANHÃO

Abstract: Climatic extremes have been a subject of great interest in climate change research because they provide subsidies for management in natural disaster events and imbalances in social and productive systems. However, transition regions between biomes and ecosystems have been little explored. Thus, the objective of this work was to estimate the indexes of climate extremes derived from temperature and precipitation in the Amazonia-Cerrado transition region in the State of Maranhão from 1986 to 2016. The software RClindex and non-parametric Mann-Kendall test were employed to detect increasing or decreasing trends. Maximum and minimum temperatures showed a strong upward trend, evidencing that days and nights are warmer throughout the state. In relation to precipitation, there is a large space-time variability, with no well defined pattern, but with a season with increase in rainfall and humidity, and another with a statistically significant decrease in precipitation volume. Thus, it can be stated that the climate is changing differently in different locations in the State of Maranhão.

Keywords: global changes, climate variability, climate vulnerability

40 INTRODUÇÃO

41

42 Diversos estudos têm evidenciado as mudanças climáticas por meio de avaliações do
43 comportamento médio de variáveis meteorológicas em diferentes escalas temporais e
44 espaciais (GUO *et al.*, 2017; IPCC, 2013; GOCIC e TRAJKOVIC, 2013). Porém, pequenas
45 variações nos valores médios nos elementos do clima podem estar associadas a grandes
46 mudanças na frequência de eventos extremos (KATZ e BROWN, 1992). Por isso, em estudos
47 recentes, as investigações sobre mudanças no clima têm avaliado, além do comportamento
48 médio, os extremos climáticos (SHI *et al.*, 2018; YE *et al.*, 2018).

49 Em escalas regional e local, mudanças no clima associadas ao aumento de eventos
50 extremos têm sido evidenciadas em diferentes magnitudes (IPCC, 2012, LÜ *et al.*, 2018;
51 GUMMADI *et al.*, 2017; HASAN e SALLEH, 2017; MUTIIBWA *et al.*, 2015). Esses
52 eventos têm sido tema de grande interesse em pesquisas de mudanças climáticas por
53 proporcionar subsídios para gestão de eventos de desastres naturais e planejamento frente aos
54 desequilíbrios nos sistemas sociais e produtivos (ROBINNE *et al.*, 2018; KUNWAR e
55 BOHARA, 2017; YANG e XU, 2017).

56 Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), mais de 370 mil pessoas ao
57 redor do mundo morreram decorrente das condições do clima e dos extremos climáticos,
58 devido ao aumento da ocorrência de ondas de calor, períodos de frio, secas, tempestades e
59 inundações no período de 2001-2010 (WMO, 2013). No Brasil, estudos têm evidenciado
60 mudanças climáticas através de análises de tendências para detecção de extremos climáticos
61 em diferentes escalas (ASSIS, LACERDA e SOBRAL, 2012; PEDRON *et al.*, 2017), porém,
62 as regiões de transição entre biomas e ecossistemas têm sido pouco exploradas.

63 A região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado possui particularidades
64 ambientais diretamente impactadas pelas mudanças climáticas. O estado do Maranhão está
65 situado em uma zona de transição Amazônia-Cerrado e é caracterizado pela alta diversidade
66 de ecossistemas e conseqüente biodiversidade. Por exemplo, o Maranhão possui três sítios
67 RAMSAR estabelecidos pela convenção das Nações Unidas sobre a conservação da
68 biodiversidade em áreas de trópicos úmidos (RAMSAR, 2018). Os mesmos constituem
69 ecossistemas caracterizados por ciclos de inundações, com relevantes atividades econômicas e
70 manifestações culturais relacionadas ao ambiente. Porém, apesar da vulnerabilidade dos
71 ecossistemas em áreas de transição entre biomas, nenhum estudo abordou a tendência de
72 ocorrência de eventos extremos climáticos na região do Maranhão, nem, tampouco, o

73 consequente impacto nas propriedades ecossistêmicas, considerando também a dimensão
74 humana.

75 Um aspecto pouco considerado em estudos climáticos é o detalhamento de como o
76 clima está mudando, em escala temporal, indicando a magnitude da mudança em cada
77 elemento do clima. Santos & Oliveira (2017) relatam que no Estado do Pará, os dias e as
78 noites estão mais quentes, onde o valor da temperatura mínima diária aumentou em taxas
79 anuais, 0,046°C, 0,055°C, 0,056°C e 0,048°C no verão, outono, inverno e primavera,
80 respectivamente. Porém, não foram definidos limiares para configurar um extremo em relação
81 à um valor médio de acordo com a região, assumindo o valor padrão definido pelo o programa
82 RCLimindex.

83 Nesse contexto, três questões climáticas permanecem não abordadas em estudos em
84 regiões de transição Amazônia-Cerrado: 1) Estão ocorrendo eventos extremos que configurem
85 a mudança do clima na região de transição Amazônia-Cerrado, no Maranhão? 2) Com que
86 magnitude a temperatura e precipitação estão configurando as tendências de mudança
87 climática? 3) Existe um padrão espacial definido para as mudanças climáticas nesta região
88 estudada? 4) A ocorrência de eventos climáticos extremos é influenciada por anomalias da
89 temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico?

90 Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a tendência dos eventos de extremos
91 climáticos referentes a temperatura e precipitação na região de transição Amazônia-Cerrado
92 no estado do Maranhão.

93

94 **MATERIAIS E MÉTODOS**

95 **Área de Estudo**

96

97 O Estado do Maranhão abrange uma área de 331.935,5 km² e sua população atual é de
98 6.574.789 habitantes (IBGE, 2010), correspondendo a uma densidade populacional de 19,81
99 hab.km⁻², com 63,1% da população vivendo em áreas consideradas urbanas (4.147.149
100 habitantes).

101 O Maranhão se encontra em uma zona de transição entre os biomas Amazônico e
102 Cerrado (figura 1). Dessa forma, se encontra numa posição privilegiada entre três
103 macrorregiões brasileiras: Norte (Amazônia), Centro Oeste (Cerrado) e Nordeste (Semiárido),
104 e, portanto, reúne características fitogeográficas e climatológicas características dessas áreas
105 (Maranhão (Estado), 2002).

106 De acordo com o método de classificação climática de Köppen (ÁLVARES *et al.*,
107 2013), o Maranhão possui três tipos climáticos: o Am – zona tropical com período monção
108 (fevereiro a maio), caracterizado por apresentar a precipitação média do mês mais seco
109 inferior a 60 mm e média total anual ≥ 3300 mm, o As – regiões tropicais com o verão seco e
110 o Aw – zona tropical com o inverno seco, abrangendo maior parte do estado, em que o
111 período chuvoso mais acentuado acontece nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro com a
112 média mensal acima de 250 mm. Todas as classificações possuem a temperatura acima ou
113 igual a 18 ° C durante o ano todo.

114

115 **Conjunto de Dados**

116

117 Os dados climatológicos foram obtidos de 12 estações meteorológicas do Instituto
118 Nacional de Meteorologia – INMET distribuídas no Estado do Maranhão. Foram utilizados
119 registros diários de dados de precipitação, temperatura máxima e mínima para o período de
120 1986 a 2016 (Figura 1).

121

122 Os dados de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para os Oceanos
123 Pacífico e Atlântico foram obtidos da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
124 (NOAA), portal do Laboratório de Pesquisa do Sistema Terrestre. Foram utilizados o índice
125 El Niño Multivariado - MEI (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>), o índice de
126 Oscilação Decadal do Pacífico - PDO (<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>) e o
127 índice de Oscilação Mutidecadal do Atlântico - AMO
(<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO>).

128

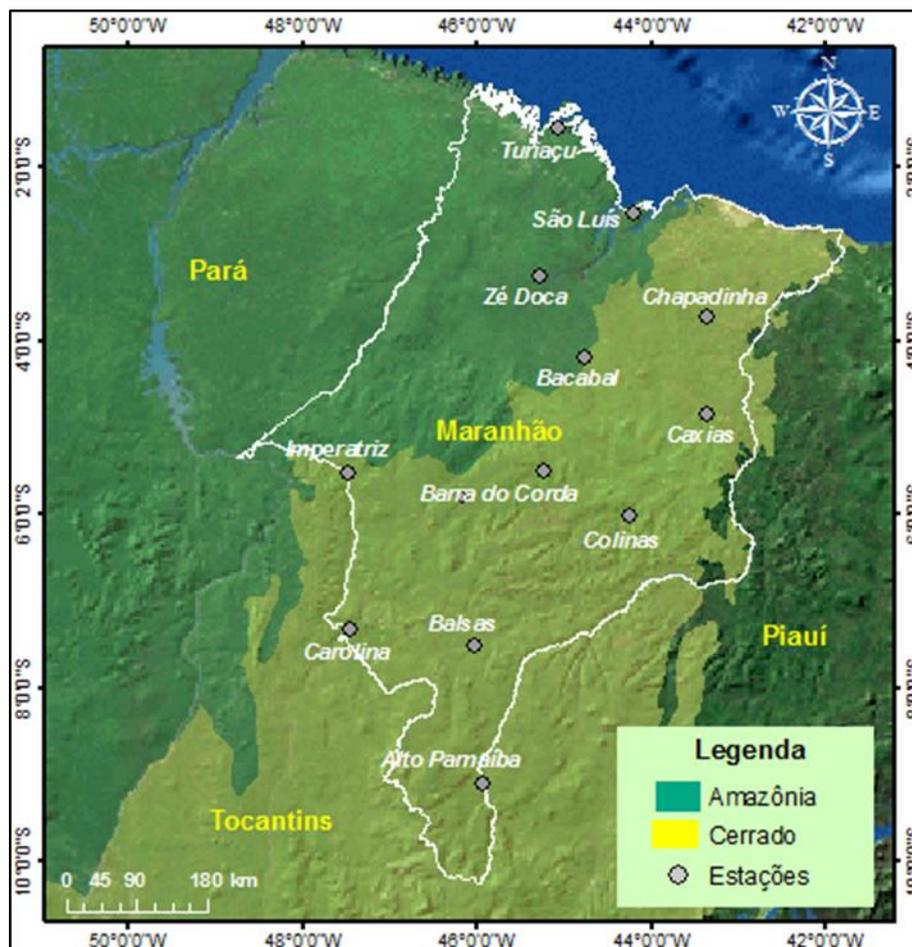


Figura 1 – Localização das 12 estações meteorológicas no Estado do Maranhão (INMET), destacando os biomas Amazônia e Cerrado segundo o IBGE

Estimativa dos Extremos Climáticos

Para obtenção dos índices de detecção e monitoramento de extremos de mudanças climáticas existentes no Estado do Maranhão foi utilizado o programa computacional RCLIMDEX (Versão 3.2.1).

O RCLIMDEX calcula 27 índices, sendo 11 índices de precipitação e 16 índices de temperatura propostos pela equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDMI), foi desenvolvido por Xuebin Zhang e Feng Yang do Serviço Meteorológico Canadense (ZHANG e YANG, 2004). Neste trabalho foram utilizados apenas 11 índices para temperatura e 11 para precipitação (tabela 1 (a) e (b)).

A tendência anual foi obtida pelo método dos mínimos quadrados. O teste não paramétrico Mann-Kendall (Man, 1945; Kendall, 1975) foi utilizado para avaliar os sinais de tendência e a significância estatística dos índices de extremos climáticos. Seja uma série temporal de observações, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, representa n pontos em que X_j representa o ponto

147 no tempo j . A estatística (S) do teste de Mann-Kendall é calculada de acordo com a equação
 148 1.

149

$$S = \sum_{k=1}^{n_i-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

150

151 Em que:

152

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

153

154 Valores positivos de S indicam uma tendência de crescimento no qual os valores
 155 crescem com o tempo, e valores negativos indica uma tendência negativa. Contudo, é
 156 necessário computar a probabilidade associada com S e a dimensão da amostra, n , para
 157 estatisticamente quantificar a significância da tendência. Para uma dimensão da amostra > 10 ,
 158 as aproximações normais para o teste de Mann-Kendall podem ser usadas.

159 A estatística S está próxima da normal à medida que n aumenta. A média, E , e a
 160 variância, V , são definidas nas equações 3 e 4:

161

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

162

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n-1) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (4)$$

163

164 Em que p é número de grupos contendo valores iguais na série de dados e t_j é o
 165 número de dados com valores iguais num certo grupo j .

166 Sabendo-se que S é normalmente distribuído e tem média zero e variância dada pela
 167 Equação 1, pode se checar se a tendência positiva ou negativa é significativa diferente de zero.
 168 Se S é significativa diferente de zero, H_0 pode ser rejeitada para certo nível de significância
 169 apontando existência de tendência (H_1 é aceita).

170 Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que mesmo para valores pequenos de n ,
 171 pode-se assumir uma distribuição normal desde que o valor de estatística Z seja dado por:

172

$$Z(t) = \begin{cases} \frac{S-1}{[V(S)]^{1/2}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{[V(S)]^{1/2}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

173

174 A estatística do teste $Z(t)$ é usada para medir a significância da tendência. Dessa
 175 forma, a estatística do teste é usada para testar a hipótese nula H_0 . Se $Z(t)$ for maior que $Z_{\alpha/2}$,
 176 onde α representa o nível de significância escolhido, então a hipótese nula é rejeitada,
 177 indicando que a tendência é significativa.

178

179 Tabela 1 – Lista dos 11 índices de extremos climáticos de temperatura (a) e 11 índices de
 180 precipitação (b) do ETCCDMI

(a) Índices de temperatura			
Nome do índice	ID	Definição	Unidade
Percentil			
Dias quentes	Tx90p	% de dias em que a T _{máx} > 90 percentil	%
Dias frios	Tx10p	% de dias em que a T _{máx} < 10 percentil	%
Noites quentes	Tn90p	% de dias em que a T _{min} > 90 percentil	%
Noites frias	Tn10p	% de dias em que a T _{min} < 10 percentil	%
Limiaries			
Dias de verão	SU25	Número de dias em que a T _{máx} > 25°C	Dias
Noites tropicais	TR20	Número de dias em que a T _{min} > 20°C	Dias
Dias de verão	SU	Número de dias em que a T _{máx} > X°C definido pelo usuário	Dias
Noites tropicais	TR	Número de dias em que a T _{min} > X°C definido pelo usuário	Dias
Absoluto			
Dia mais quente	TXx	Valor máximo mensal da T _{máx} diária	°C
Dia mais frio	TXn	Valor mínimo mensal da T _{máx} diária	°C

Noite mais quente	TNx	Valor máximo mensal da Tmin diária	°C
Noite mais fria	TNn	Valor mínimo mensal da Tmin diária	°C
Variação de temperatura diária	DTR	Tmáx diária - Tmin diária	°C

(b) Índices de Precipitação

Nome do índice	ID	Definição	Unidade
Percentil			
Dias muito úmidos	R95p	Precipitação anual total em que RR > 95 percentil	mm
Dias extremamente úmidos	R99p	Precipitação anual total em que RR > 99 percentil	mm
Limiars			
Precipitação de um dia superior a 10mm	R10	Contagem anual de dias com precipitação ≥ 10 mm	Dias
Precipitação de um dia superior a 20mm	R20	Número de dias no ano com precipitação ≥ 20 mm	Dias
Números de dias com a precipitação acima de nn mm, definido pelo usuário	Rnn	Números de dias em 1 ano em que a precipitação $\geq nn$ mm, definido pelo usuário	Dias
Absoluto			
Quantidade máxima de precipitação em um dia	Rx1day	Máximo anual de precipitação em 1 dia	mm
Quantidade máxima de precipitação em cinco dia	Rx5day	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
Duração			
Dias consecutivos secos	CDD	Número máximo de dias consecutivos com RR ≤ 1 mm	Dias
Dias consecutivos úmidos	CWD	Número máximo de dias consecutivos com RR ≥ 1 mm	Dias
Outros			
Precipitação total anual nos dias úmidos	PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos (RR ≥ 1 mm)	mm
Índice simples de intensidade diária	SDII	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm.dia ⁻¹

182 Os valores padronizados para estimar os índices de extremos climáticos no programa
 183 RCLimindex SU (Dias de verão), TR (Noites tropicais) e Rnn (Números de dias com a
 184 precipitação acima de um valor definido pelo usuário) foram definidos para ser aplicado em
 185 todo o globo, entretanto, o programa oferece a opção de definir os limiares pois nem sempre
 186 os valores padronizados correspondem as regiões de estudos onde são aplicados.

187 Por isso, neste estudo foram definidos limiares (Tabela 2) para os índices de acordo
 188 com a média aritmética mais o desvio padrão dos dados diários de cada estação, utilizando
 189 uma série temporal de 30 anos.

190
 191

Tabela 2 – Limiares utilizados para os índices definidos pelo usuário.

Bioma	Estações	SU	TR	Rnn
Amazônia	Bacabal	37	25	31
	São Luís	33	25	34
	Turiaçu	33	25	31
	Zé Doca	35	24	28
Cerrado	Alto Parnaíba	36	23	26
	Balsas	36	24	28
	Barra do Corda	35	24	25
	Carolina	36	24	30
	Caxias	37	25	30
	Chapadinha	35	24	31
	Colinas	36	23	28
	Imperatriz	36	24	29

192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201

Foi realizada a correlação de Spearman entre os índices de extremos climáticos de precipitação que apresentaram significância estatística ($p < 0,05$) e anomalias oceânicas do MEI, PDO e AMO.

202 **RESULTADOS**

203

204 O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas define um extremo climático
205 como "a ocorrência de um valor da variável climática perto das extremidades superiores (ou
206 inferiores) dentro do intervalo de valores observados da variável" (IPCC, 2012).

207 As tabelas 3 e 4 mostram as tendências dos índices extremos de temperatura e
208 precipitação para o Estado do Maranhão, respectivamente. Os valores destacados em negrito
209 apresentam significância estatística ao nível de 5% ($p < 0,05$), enquanto os valores
210 sombreados apresentam significância estatística de 10% ($0,05 < p < 0,1$). As figuras 2 e 3
211 mostram as tendências de extremos climáticos para temperatura e a figura 4 para precipitação
212 no Estado do Maranhão (material complementar).

213 Tabela 3 – Tendência dos índices de extremos climáticos de temperatura para o Estado do Maranhão de 1986 a 2016

Bioma	Estações	SU (dias)	TR (dias)	TXx (°C)	TXn (°C)	TNx (°C)	TNn (°C)	Tx90p (%)	Tx10p (%)	Tn90p (%)	Tn10p (%)	DRT (°C)
Amazônia	Bacabal	2.747	4.716	0.093	0.074	0.093	0.144					-0.094
	São Luís	3.442	3.479	0.067	0.021	0.026	0.042	1.213	-0.605	0.856	-0.063	0.031
	Turiaçu	4.536	0.52	0.084	0.053	0	0.059	0.995	-0.742	0.15	0.226	0.068
	Zé Doca	0.63	5.785	0.005	0.045	0.047	0.081	0.283	-0.066	1.186	-0.82	-0.058
Cerrado	Alto Parnaíba	1.859	1.235	0.078	0.032	0.035	0.001	0.828	-0.389	0.399	-0.244	0.031
	Balsas	2.355	1.67	0.098	0.079	0.01	0.065	1.188	-0.537	0.541	-0.245	0.049
	Barra do Corda	3.134	5.743	0.068	0.022	0.114	0.119	1.16	-0.513	1.479	-1.007	-0.06
	Carolina	2.504	2.426	0.061	0.031	0.049	0.045	0.676	-0.329	0.518	-0.474	0.016
	Caxias	3.401	1.596	0.147	0.109	0.057	0.059	0.838	-1.073	0.634	-0.764	0.038
	Chapadinha	2.648	2.596	0.072	0.061	0.028	0.05	1.076	-0.548	0.844	-0.666	0.018
	Colinas	2.196	2.042	0.085	0.017	0.02	-0.021	0.955	-0.471	0.419	-0.159	0.04
Imperatriz	2.968	0.118	0.102	0.035	0.011	0.025	0.735	-0.653	0.068	-0.337	0.053	

214 Os valores destacados em negritos apresentam alta significância ($p < 0,05$) e os sombreados apresentam boa significância ($0,05 < p < 0,1$)

215

216

217 Tabela 4 – Tendência dos índices de extremos climáticos de Precipitação para o Estado do Maranhão de 1986 a 2016

Bioma	Estações	Rx1day (mm)	Rx5day (mm)	R10mm (dias)	R20mm (dias)	Rnnmm (dias)	CDD (dias)	CWD (dias)	R95p (mm)	R99p (mm)	PRCPTOT (mm)
Amazônia	Bacabal	-0.221	0.576	-0.089	-0.101	-0.093	0.15	0.093	2.088	-0.202	-1.539
	São Luís	0.277	-0.898	-0.346	-0.242	-0.193	0.945	-0.077	-6.44	-0.362	-15.335
	Turiaçu	0.682	0.878	-0.32	-0.262	-0.083	0.181	0.124	1.109	4.877	-8.231
	Zé Doca	-0.262	-1.979	-0.289	-0.225	-0.199	0.99	0.037	-2.073	-1.577	-7.46
Cerrado	Alto Parnaíba	0.137	0.528	0.027	-0.098	-0.072	0.673	-0.025	-2.393	0.333	-3.303
	Balsas	-0.366	0.236	-0.139	0.008	-0.01	0.302	-0.067	0.243	-0.192	-3.587
	Barra do Corda	0.057	0.15	-0.113	-0.069	-0.015	-0.141	-0.013	-0.237	0.368	-2.803
	Carolina	0.542	1.586	0.043	0.023	0.053	-1.211	0.076	4.394	3.185	4.504
	Caxias	-0.393	-1.12	-0.231	-0.04	-0.066	0.791	-0.115	-4.761	-3.757	-7.869
	Chapadinha	-0.088	0.447	-0.192	-0.145	-0.033	0.327	-0.084	3.591	0.816	-4.317
	Colinas	-0.688	-1.03	-0.245	-0.145	-0.126	-0.276	-0.077	-7.355	-0.654	-10.425
	Imperatriz	0.068	-0.778	-0.102	-0.079	-0.235	0.074	-0.017	-10.939	-2.301	-10.479

218 Os valores destacados em negritos apresentam alta significância ($p < 0,05$) e os sombreados apresentam boa significância ($0,05 < p < 0,1$)

219

220 A seguir serão apresentados os resultados relacionados aos índices de temperatura e
221 precipitação. Serão utilizados os anos de 1986 e 2016 para demonstrar a magnitude das
222 mudanças desses elementos climáticos no período estudado, assim como a evolução anual e
223 tendência para cada índice de temperatura e precipitação que foram estatisticamente
224 significativos (material suplementar). Os anos de 1986 e 2016 apresentaram atuação do El
225 niño moderada e forte, respectivamente.

226

227 **Análise na detecção de tendências climáticas no padrão das temperaturas máximas e** 228 **mínimas**

229

230 Analisando as tendências estatisticamente significativas de temperatura para o Estado
231 do Maranhão, observa-se que o índice Dias de Verão (SU) mostrou tendências positivas
232 estatisticamente significativas em todas as estações, exceto para a estação de Zé Doca, que
233 também foi positiva, porém não apresentou significância estatística ($p < 0,05$). Dessa forma,
234 há um aumento no número de dias em que a temperatura do ar foi maior do que os limiares
235 definidos para cada estação, que variam de 33 a 37°C.

236 Em 1986 na estação de Turiaçu, no bioma amazônico, em nenhum dia do ano houve
237 registro da temperatura acima do limiar de 33°C, entretanto no ano de 2016, houve 151 dias
238 com registro da temperatura máxima acima de 33°C. A estação de Caxias, no bioma cerrado,
239 em 1986 também não registrou nenhum dia com a temperatura máxima acima do limiar de 37
240 °C, enquanto que no ano de 2016 foram 107 dias com registros acima de 37°C.

241 O índice Noites Tropicais (TR) mostrou que a maioria das estações apresentou
242 tendências positivas de aumento na temperatura mínima, maior que os limiares definidos para
243 cada estação, que variam de 23 a 25°C. Apenas as estações de Turiaçu e Imperatriz, no bioma
244 amazônico e cerrado, respectivamente, não apresentaram tendências significativas ($p < 0,05$).

245 A estação de Zé Doca, bioma amazônico, em 1986 registrou apenas 1 dia em que a
246 temperatura mínima excedeu o limiar de 24°C. O ano de 2016, no entanto possui 179 dias
247 com o registro acima do limiar de 24°C. No bioma cerrado, no ano de 1986 na estação de
248 Barra do Corda também houve apenas 1 registro da temperatura mínima acima do limiar de
249 24°C, contudo em 2016 foram 225 dias.

250 Em relação ao índice que representa o valor máximo mensal da temperatura máxima
251 diária (TXx), todas as estações apresentaram tendências positivas e foram estatisticamente
252 significativas, com exceção da estação de Zé Doca.

253 A estação de Bacabal, no bioma amazônico, em 1986 apresentou o valor máximo
254 mensal da temperatura máxima diária de 38,8°C, no mês de outubro. Em 2016, esse valor foi
255 para 41°C, também no mês de outubro, configurando uma tendência de aumento de 2,2°C. No
256 bioma cerrado, a estação de Caxias em 1986 apresentou o TXx de 36,8°C correspondente ao
257 mês de outubro. No ano de 2016 não foi possível gerar o índice devido à quantidade de falhas
258 nos registros, no entanto, em 2015, a temperatura máxima alcançou 41,7 °C em outubro e
259 42,7 °C no mês de dezembro.

260 O índice do valor mínimo mensal da temperatura máxima diária (TXn) mostrou que
261 todas as estações apresentaram tendências positivas, mas somente em 6 estações essas
262 tendências foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

263 Na estação de Bacabal, em 1986 o TXn foi 24,2°C em fevereiro. Em 2016 esse valor
264 aumentou para 28°C também no mês de fevereiro, correspondendo a um aumento de 3,8°C.
265 Na estação de Caxias, em 1986 o TXn foi de 25,3 °C no mês de fevereiro e em 2015 esse
266 registro teve aumento de 1,9°C atingindo 27,2 °C.

267 Todas estações apresentaram tendências positivas para o índice do valor máximo
268 mensal da temperatura mínima diária (TNx), porém em apenas 8 estações essas tendências
269 foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

270 Em 1988 a estação de Barra do Corda registrou o TNx de 24,2°C, enquanto no ano de
271 2016 obteve o registro de 26°C no mês de fevereiro e 27,1°C no mês de novembro. Em
272 Bacabal no ano de 1991 o TNx foi 25,4°C em fevereiro, em 2012 alcançou 26,4°C em
273 novembro.

274 O mesmo comportamento foi observado para o valor mínimo mensal da temperatura
275 mínima diária representado pelo índice TNn, indicando 8 estações com tendências positivas
276 estatisticamente significativas 3 no bioma amazônico e 5 no cerrado.

277 Em 1988 na estação de Barra do Corda, agosto foi o mês que correspondeu ao TNn,
278 com a temperatura de 14,2 °C. No ano de 2016 o mês de julho registrou o TNn de 16,5 °C. Na
279 Estação de Bacabal no ano de 1991 o mês de julho teve o TNn, com a temperatura de 19,1 °C.
280 No ano de 2012 o mês de janeiro registrou TNn com temperatura de 20,1 °C.

281 O índice que corresponde a dias quentes (Tx90p) apresentou tendências positivas
282 estatisticamente significativas em todas as estações, com exceção da estação de Zé Doca.

283 Em 1987 na estação de São Luís, bioma amazônico, 1,42% foi a porcentagem anual
284 dos dias acima do percentil 90 para temperatura máxima, enquanto no ano de 2016 essa
285 porcentagem aumentou para 49,36%. No bioma cerrado, em 1986 na estação de Balsas a
286 Tx90p foi de 0,55%, já em 2016 essa porcentagem atingiu 57,67% dos dias.

287 O índice de dias frios (Tx10p) apresentou tendências negativas estatisticamente
288 significativas em todas as estações, com exceção da estação Zé Doca.

289 Em 1986 na estação de São Luís a porcentagem anual dos dias abaixo do percentil 10
290 para temperatura máxima foi de 32,6%, já em 2016 essa porcentagem caiu para 1,11%.
291 Enquanto na estação de Carolina, bioma cerrado, o ano de 1987 a Tx10p foi de 7,6%, já no
292 ano de 2016 essa porcentagem caiu para 4,6% dos dias.

293 Em relação ao índice das noites quentes (Tn90p), esse também apresentou tendências
294 positivas estatisticamente significativas em todas as estações, menos na estação de Turiaçu e
295 Imperatriz.

296 Em 1987 na estação de Zé Doca, a porcentagem anual das noites acima do percentil 90
297 para temperatura mínima foi de 1,1%, enquanto no ano de 2016 essa porcentagem aumentou
298 para 35,04%. Na estação de Barra do Corda, no ano de 1988 a Tn90p foi de 2,1%, já no ano
299 de 2016 essa porcentagem aumentou para 67,04% dos dias.

300 Todos os índices mostraram tendências negativas para as noites frias (Tn10p), exceto
301 para a estação de Turiaçu. Contudo, apenas 6 das 12 estações apresentaram tendências
302 estatisticamente significativas.

303 Em 1987 na estação de Zé Doca a porcentagem anual das noites abaixo do percentil 10
304 para temperatura mínima foi de 21,53%, enquanto que no ano de 2016 a Tn10p caiu para
305 0,84%. Na estação de Alto Parnaíba, no ano de 1988 a Tn10p foi de 19,18%, já no ano de
306 2016 essa porcentagem diminuiu para 6,2% dos dias.

307 A estação de Bacabal foi a única estação para a qual não foi possível calcular todos os
308 índices porque o número de falhas nos dados foi maior que 20% da série. Os índices que não
309 foram gerados são: Tx10p, Tx90p, Tn10p, Tn90p.

310 A amplitude térmica diária (DTR) apresentou tendência positiva na maioria das
311 estações, porém apenas 9 foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$), sendo 2 negativos e
312 7 positivos.

313 Em 1986 na estação de Imperatriz, bioma cerrado, a DTR ficou em torno de 10,7 °C,
314 já em 2013 essa diferença aumentou para 11,4 °C. Enquanto que na estação de Turiaçu,

315 bioma amazônico, em 1986 a DTR anual foi de 6,9 °C, já no ano de 2016 aumentou para 8,1
316 °C.

317 Portanto, os resultados evidenciam um aumento no número de dias e noites quentes e
318 diminuição de dias e noites frias no Maranhão, com destaque para as estações de Caxias e
319 Chapadinha onde todos os índices apresentaram tendências significativas.

320 A estação de Imperatriz, apresentou um aumento em relação ao número de dias
321 quentes, aumento no valor máximo da temperatura máxima e diminuição de dias frios. A
322 estação de Zé Doca apresentou um aumento do número de noites quentes, aumento no valor
323 mínimo da temperatura máxima e diminuição de noites frias.

324

325 **Análise na detecção de tendências climáticas no padrão pluviométrico**

326

327 De maneira geral, a precipitação se manteve constante. Apenas 4 índices indicaram
328 tendências estatisticamente significativas ($p < 0,05$) em algumas estações.

329 O índice número de dias com precipitação acima de nn mm (Rnn mm) apresentou
330 tendência negativa em 11 estações, mas apenas nas estações de Zé Doca e Imperatriz essas
331 tendências foram estatisticamente significativas. A estação de Carolina foi a única que
332 apresentou tendência positiva, mas não foi estatisticamente significativa.

333 Na estação de Zé Doca o ano de 1987 apresentou 11 dias com a precipitação diária
334 acima de 28 mm, entretanto em 2012 foram apenas 8 dias e durante 2016, 12 dias. Embora o
335 ano de 2016 tenha apresentado mais dias acima da média de precipitação diária anual, é
336 possível notar ao longo da série temporal uma tendência de diminuição do número de dias
337 com a precipitação acima de 28 mm durante o ano na série temporal da estação de Zé Doca.
338 Na estação de Imperatriz o ano de 1986 teve 19 dias com R29 mm, no ano de 2015 foram
339 apenas 6 dias.

340 O índice quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos no mês (Rx5day)
341 mostrou tendências de aumento em 7 estações, mas apenas a estação de Carolina foi
342 estatisticamente significativa ($p < 0,05$) e, dentre as 5 estações que apresentaram tendência de
343 decréscimo, apenas a estação de Zé Doca foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

344 Na estação de Carolina, bioma cerrado, o mês de janeiro de 1986 foi o que apresentou
345 o maior valor da Rx5day com 148,8 mm, enquanto no ano de 2016, janeiro também foi o mês
346 que correspondeu ao maior registro do índice com 211,1 mm. Na estação de Zé Doca, bioma
347 amazônico, em 1988 o mês de abril teve o maior registro da Rx5day com 208,7 mm, decaindo

348 para 102 mm em abril de 2016. Entretanto, o mês que corresponde ao máximo anual de
349 precipitação em 5 dias em 2016 é fevereiro com 124,7 mm.

350 O índice de dias muito úmidos (R95p) mostrou tendência negativa para a maioria das
351 estações, mas apenas as estações de Imperatriz e Colinas apresentaram tendências negativas
352 com significância estatística ($p < 0,05$). Não houve tendências estatisticamente significativas
353 ($p < 0,05$) nas estações do bioma amazônico.

354 Na estação de Imperatriz, no ano de 1986 a precipitação total anual em que a
355 precipitação diária (RR) é maior do que o percentil 95 foi de 554,5 mm, já no ano de 2015
356 esse valor diminuiu para 70,7 mm. Na estação de Colinas no ano de 1986 a precipitação total
357 anual RR > 95 percentil foi de 462 mm, enquanto no ano de 2016 esse valor diminuiu para
358 124.

359 O índice de dias consecutivos secos (CDD) apresentou 9 estações com tendências
360 positivas e 3 com tendências negativas. Entretanto apenas nas estações de Zé Doca e Carolina
361 essas tendências foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$), com tendência positiva e
362 negativa, respectivamente.

363 Na estação de Carolina, o ano de 1986 teve 81 dias consecutivos secos, enquanto em
364 2016 esse número caiu para 44 dias. A estação de Zé Doca no ano de 1987 teve 54 dias,
365 contudo o ano com maior número de dias consecutivos secos foi 2009 com 96 dias, enquanto
366 que o ano de 2016 apresentou também 54 dias. Apesar disso, ao longo da série temporal é
367 possível notar uma tendência de aumento no número de dias consecutivos secos na estação de
368 Zé Doca.

369

370 **Correlação entre os índices de extremos climáticos de precipitação e anomalias** 371 **oceânicas**

372

373 A tabela 5 mostra a correlação entre os índices de extremos climáticos Rnn, R95p,
374 Rx5day e CDD e as médias anuais das anomalias oceânicas do MEI, PDO e AMO.

375 Apenas as estações de Balsas, Barra do Corda e Carolina no bioma Cerrado
376 apresentaram uma correlação estatística significativa ($p < 0,05$).

377 O índice Rx5day apresentou correlação negativa com o MEI nas estações de Balsas e
378 Barra do Corda e uma correlação negativa com o PDO na estação de Barra do Corda. Em
379 relação ao AMO o índice Rx5day apresentou correlação positiva.

380 O índice CDD apresentou uma correlação negativa com o AMO na estação de
381 Carolina.

382 Embora essas estações tenham apresentado correlações significativas o R^2 foi baixo,
383 indicando pouca influência em relação a esses eventos extremos nessas localidades.

384 Tabela 5 – Correlação entre índices de extremos climáticos de precipitação e anomalias de TSM

Biomass	Estações	MEI				PDO				AMO			
		Rnn	R95p	Rx5day	CDD	Rnn	R95p	Rx5day	CDD	Rnn	R95p	Rx5day	CDD
Amazônia	Bacabal	-0.134	0.075	-0.181	0.103	-0.137	0.093	-0.127	0.173	0.127	0.106	0.149	0.067
	São Luís	-0.168	-0.057	0.211	-0.106	0.026	-0.033	0.117	-0.135	0.101	-0.062	-0.139	0.223
	Turiaçu	0.052	-0.041	-0.035	-0.044	0.014	-0.027	0.000	-0.122	0.110	0.186	0.195	0.179
	Zé Doca	-0.034	0.051	0.020	-0.126	-0.032	-0.060	-0.020	-0.096	-0.124	-0.076	-0.188	0.318
Cerrado	Alto Parnaíba	-0.013	0.103	-0.005	0.130	0.011	0.184	0.025	0.089	0.073	0.106	0.154	0.079
	Balsas	0.020	-0.329	-0.425	0.035	0.049	-0.224	-0.194	0.149	0.023	0.070	0.170	-0.017
	Barra do Corda	-0.280	-0.306	-0.598	0.086	-0.071	-0.195	-0.463	0.246	0.094	0.045	0.087	-0.002
	Carolina	0.006	0.093	0.005	0.055	0.072	0.000	-0.184	0.201	0.238	0.251	0.382	-0.595
	Caxias	0.115	-0.120	0.038	-0.180	0.201	0.039	0.082	-0.181	0.119	-0.053	-0.153	0.078
	Chapadinha	-0.020	0.346	0.133	-0.176	-0.129	0.157	-0.077	-0.041	0.136	0.225	0.162	0.096
	Colinas	0.087	0.248	0.105	0.123	0.071	0.297	0.098	0.107	0.056	-0.077	-0.259	-0.248
	Imperatriz	-0.104	0.093	-0.066	0.011	0.111	0.231	0.122	0.190	-0.220	-0.348	-0.058	0.190

385 Os valores destacados em negritos apresentam alta significância ($p < 0,05$)

386

387 DISCUSSÃO

388

389 Os resultados obtidos neste artigo estão em acordo com outros estudos em escalas
390 global, regional e local (ALEXANDER *et al.*, 2006, POWELL e KEIM, 2015, ARAÚJO,
391 SANTOS e NASCIMENTO, 2015).

392 Os índices de extremos climáticos relacionados à temperatura indicam uma forte
393 tendência de aumento da temperatura diurna e noturna, com o aumento de dias e noites com
394 temperaturas acima da média registrada pela normal climatológica (1986-2016).

395 Outros estudos também detectaram alterações no clima pelo aumento da temperatura.
396 Barry *et al.* (2018), ao avaliar índices extremos em treze países na África Ocidental por 2
397 períodos 1960-2010 e 1981-2010, identificaram aumento significativos de 0,16 °C/década e
398 0,28 °C/década na média anual das temperaturas máxima e mínima, respectivamente para
399 todas as estações terrestres disponíveis durante os últimos 50 anos.

400 Brown *et al.* (2010), ao realizar um estudo de mudanças nos índices de extremos
401 climáticos no nordeste dos Estados Unidos no período de 1870 a 2015, identificaram um forte
402 aquecimento com aumento na frequência de eventos quentes (dias quentes e noites quentes) e
403 diminuição na frequência de eventos frios (dias frios e noites frias). Vincent *et al.* (2005)
404 encontraram resultado similar ao analisar tendências em índices de extremos climáticos da
405 temperatura diária na América do Sul (1960-2000), onde constataram um aumento
406 significativo na temperatura mínima diária com o aumento da porcentagem das noites quentes
407 e diminuição das noites frias.

408 Estudos realizados no Brasil seguem a mesma tendência com o aumento de dias e
409 noites quentes e diminuição de dias e noites frias (SANTOS e OLIVEIRA, 2017,
410 NATIVIDADE *et al.*, 2017).

411 Os índices de precipitação apresentaram poucas tendências estatisticamente
412 significativas e de forma variada. Na região sul do Maranhão, a estação de Carolina
413 apresentou índices que evidenciam um aumento da umidade, já no oeste maranhense, na
414 microrregião de Pindaré, a estação de Zé Doca indica um aumento das condições secas,
415 mostrando um aumento do período de estiagem.

416 Este resultado está de acordo com o estudo realizado na região de transição Amazônia-
417 Cerrado no Estado do Maranhão por Silva *et al.* (2016) que, ao analisar tendências utilizando
418 o teste de Mann-Kendall, verificaram um aumento da precipitação na estação de Carolina e
419 uma diminuição da precipitação no período seco na estação de Zé Doca. Almeida *et al.* (2017)

420 analisou a variabilidade espaço-temporal de tendências para Amazônia Legal Brasileira e
421 observaram que em relação a precipitação, não houve tendências significativas para a maioria
422 das regiões, entretanto, algumas estações apresentaram tendências de aumento para as chuvas
423 anuais, no período chuvoso e outras tendências de diminuição no período seco.

424 Resultados similares foram encontrados por Supari *et al.* (2017) na Indonésia ao
425 analisar índices de extremos climáticos. Observaram que a precipitação se mantém constante
426 sem muitas tendências estatisticamente significativas, porém observaram também tendências
427 de condições mais úmidas correspondentes ao índice SDII em todo o país, e RX1day, R99p
428 ao norte. Analisando sazonalmente, identificaram tendências negativas nos meses de junho,
429 julho e agosto (JJA), setembro, outubro e novembro (SON) e março, abril e maio (MAM) na
430 região sul.

431 Haylock *et al.* (2006), em seu estudo de tendências de precipitação total e extrema da
432 América do Sul no período de 1960-2000 e ligações com a temperatura da superfície do mar
433 (TSM), verificaram que o padrão de tendência da precipitação total e extrema mostraram
434 mudança em algumas regiões para condições mais úmidas no Equador e norte do Peru e na
435 região sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e no norte e centro da Argentina. Também foi
436 observado uma diminuição no sul do Peru e sul do Chile.

437 Da Silva *et al.* (2017) analisaram tendências de mudanças climáticas na precipitação
438 pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco no período de 1962 a 2011 e
439 observaram evidências de mudanças no clima de algumas bacias hidrográficas principais,
440 diagnosticando indícios de aceleração no processo de aridez das bacias dos rios Ipanema,
441 Brígida e Garças, e tendência de aumento dos eventos extremos máximos de precipitação para
442 as bacias dos rios Mundaú, Sirinhaém e Garças.

443 Em relação a correlação dos índices de extremos climáticos de precipitação com as
444 anomalias oceânicas, Aragão *et al.* (2018) constaram que grandes eventos de seca na
445 Amazônia nos anos de 2005, 2010 e 2015 ocorreram quando os índices de anomalias
446 oceânicas MEI, PDO e AMO foram positivos concomitantemente. O nordeste brasileiro tem
447 como principal manifestação da variabilidade climática, a seca, onde também está associada
448 às variabilidades de temperatura da superfície do mar nos Oceanos Pacífico e Atlântico
449 Tropical (MARENGO e SILVA DIAS, 2007; NOBRE *et al.*, 2006). Entretanto, em relação à
450 eventos de extremos climáticos, o estado do Maranhão demonstrou não receber uma
451 influência direta desses eventos em escala global.

452 Os resultados evidenciam o aumento da temperatura e manutenção dos regimes
453 pluviométricos. Dessa forma, a umidade deve apresentar tendência de altos valores, o que
454 pode favorecer o aumento na reprodução de vetores de doenças (HOPP e FOLEY, 2003), bem
455 como de doenças relacionadas ao saneamento básico.

456 No caso do Maranhão, esse quadro se agrava, pois, é o penúltimo estado no ranking de
457 índice de desenvolvimento humano com o IDHM de 0,639, ficando atrás apenas de Alagoas
458 com IDHM de 0,631 (BRASIL, 2013). Além disso, o Estado ocupa o 4º do Brasil em rede de
459 distribuição de água sem tratamento, com apenas 47 unidades, e o 14º lugar em relação a rede
460 coletora de esgoto, com apenas 14 unidades (IBGE, 2008).

461 O Maranhão também é um dos estados que apresentam alta incidência de focos de
462 queimadas do Brasil (<http://www.inpe.br/queimadas/portal>). Diante disso, com o aumento do
463 número de dias e noites quentes, a possibilidade de queimadas pode aumentar. Estudos
464 relatam o aumento de incêndios florestais induzidos pela seca tanto na Amazônia (ARAGÃO
465 *et al.*, 2018) quanto no Cerrado (MATAVELI *et al.*, 2018), além disso, as ações antrópicas
466 também contribuem para o aumento das queimadas, como por exemplo o desmatamento e
467 técnicas de manejo de culturas, bem como a manutenção de pasto para gado (FEARNSIDE,
468 2005; COCHRANE, 2009). Associado ao aumento da temperatura, umidade e queimadas,
469 doenças agravadas pelo clima como as respiratórias e cardiovasculares possuem tendência de
470 aumento (SMITH *et al.*, 2013; PATZ *et al.*, 2005).

471 Dessa forma, diante dos estudos relatados se espera que aumente o número de
472 incêndios, queimadas e emissões de carbono no bioma amazônico e cerrado, assim como
473 doenças relacionadas com os extremos climáticos no Estado do Maranhão.

474

475 CONCLUSÕES

476

477 Em relação às questões climáticas focadas neste estudo, (1) estão ocorrendo extremos
478 climáticos que configurem a mudança do clima na região de transição Amazônia-Cerrado, no
479 Maranhão? Os resultados evidenciam que estão ocorrendo extremos climáticos na região
480 estudada, com dias e noites mais quentes e, em algumas localidades, aumento da umidade,
481 aumento e diminuição no volume de chuvas.

482 2) Com que magnitude a temperatura e precipitação estão configurando as tendências
483 de mudança climática? Foi observado o aumento de dias com a temperatura máxima diária
484 acima dos limiares que variam entre 33°C a 37°C, bem como a ocorrência de noites mais
485 quentes, com aumento de dias com temperaturas mínimas superiores aos limiares 23°C a

486 25°C. Em relação à precipitação houve tendência de decréscimo nas estações de Zé Doca e
487 Imperatriz relativo aos limiares 25 mm a 34 mm diários. Em relação à umidade, foi observado
488 tendência de aumento em Carolina e decréscimo em Zé Doca.

489 3) Existe um padrão espacial definido para as mudanças climáticas nesta região
490 estudada? Foi observado um padrão espacial, pois houve aumento das temperaturas em todas
491 as estações estudadas. A precipitação e umidade também não demonstraram um padrão bem
492 definido, com apenas uma estação apresentando aumento no volume de chuvas e umidade e
493 outra de decréscimo com valores estatisticamente significativos. Entretanto, os índices
494 mostraram uma grande variação espaço-temporal em magnitude, evidenciando que o clima
495 está mudando de forma diferente em diferentes localidades no Estado do Maranhão.

496 4) A ocorrência de eventos climáticos extremos é influenciada por anomalias da
497 temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico? Os resultados não
498 evidenciaram um padrão de correlação entre os eventos extremos na região estudada e as
499 anomalias da temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico.

500

501

REFERÊNCIAS

502

503

504 ALEXANDER, L. V. ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.;
 505 GLEASON, B.; TANK, A.M.G.K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.;
 506 RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K.R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.;
 507 VINCENT, L.; STEPHENSON, D.B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR,
 508 M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. Global observed
 509 changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical*
 510 *Research: Atmospheres*, v. 111, n. D5, 2006.

511

512 ALMEIDA, C.T., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F., DELGADO, R.C., CUBO, P., e RAMOS, M. C.
 513 Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon,
 514 1973–2013. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 4, p. 2013-2026, 2017.

515

516 ARAGÃO, L.E.O.C.; ANDERSON, L.O.; FONSENCA, M.G.; ROSAN, T.M.;
 517 VEDOVATO, L.B.; WAGNER, F.H.; SILVA, C.V.J.; SILVA JUNIOR, C.H.L.; ARAI, E.;
 518 AGUIAR, A.P.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DEETER, M.N.; DOMINGUES, L.G.;
 519 GATTI, L.; GLOOR, M.; YADVINDER, M.; MARENGO, J.A.; MILLER, J.B.; PHILLIPS,
 520 O.L.; SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon
 521 deforestation carbon emissions. *Nature communications*, v. 9, n. 1, p. 536, 2018.

522

523 ARAÚJO, F.R.C.D.; SANTOS, C.A.C; NASCIMENTO, F.C.A. Study of temperature
 524 extreme indices over hydrographic basin of low Colorado river-USA. *Revista Brasileira de*
 525 *Meteorologia*, v. 30, n. 1, p. 29-36, 2015.

526

527 ASSIS, J.; LACERDA, F.F.; DO CARMO SOBRAL, M. Análise de detecção de tendências
 528 no padrão pluviométrico na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe. *Revista Brasileira de*
 529 *Geografia Física*, v. 5, n. 2, p. 320-331, 2012.

530

531 BARRY, A.A.; CAESAR, J.; KLEIN TANK, A.M.G.; AGUILAR, E.; MCSWEENEY, C.;
 532 CYRILLE, A.M.; NIKIEMA, M.P.; NARCISSE, K.B.; SIMA, F.; STAFFORD, G.;
 533 TOURAY, L.M.; AYILARI-NAA, J.A.; MENDES, C.L.; TOUNKARA, M.; GAR-GLAHN,
 534 E.V.S.; COULIBALY, M.S.; DIEH, M.F.; MOUHAIMOUNI, M.; OYEGADE, J.A.,

- 535 SAMBOU, E.; LAOGBESSI, E.T. West Africa climate extremes and climate change indices.
536 *International Journal of Climatology*, 2018.
537
- 538 BRASIL, A. *Atlas do Desenvolvimento humano no Brasil 2013*. Ranking. Disponível em:
539 <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking/>. Acesso em: 19 fev. 18.
540
- 541 BROWN, P.J.; BRADLEY, R.S.; KEIMIG, F.T. Changes in extreme climate indices for the
542 northeastern United States, 1870–2005. *Journal of Climate*, v. 23, n. 24, p. 6555-6572, 2010.
543
- 544 BÜRGER, G., MURDOCK, T.Q.; WERNER, A.T.; SOBIE, S.R.; e CANNON, A.J.
545 Downscaling extremes—An intercomparison of multiple statistical methods for present
546 climate. *Journal of Climate*, v. 25, n. 12, p. 4366-4388, 2012.
547
- 548 COCHRANE, M. A. *Tropical Fire Ecology: Climate change, Land use and Ecosystem*
549 *Dynamics*. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2009.
550
- 551 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Relatório do*
552 *diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão*.
553 BATISTELLA, M; BOLFE, E. L; VICTORIA, D. DE C.; ARAUJO, L. S. (Org.). –
554 Campinas, SP: Embrapa, 2013. 325 p.
555
- 556 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de
557 População e Indicadores Sociais. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008.
558
- 559 IPCC: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change*
560 *Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on
561 Climate Change. [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D.
562 Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)].
563 Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012, 582 pp.
564
- 565 IPCC: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I*
566 *to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Stocker,
567 T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex

- 568 and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and
569 New York, NY, USA, 2013, 1535 p.
570
- 571 GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-
572 Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, v.
573 100, p. 172-182, 2013.
574
- 575 GUMMADI, S.; RAO, K.P.C.; SEID, J.; LEGESSE, G.; KADIYALA, M. D. M.; TAKELE,
576 R.; AMEDE, T.; WHITBREAD, A. Spatio-temporal variability and trends of precipitation
577 and extreme rainfall events in Ethiopia in 1980–2010. *Theoretical and Applied Climatology*,
578 p. 1-14, 2017.
579
- 580 GUO, J.; SU, T.; LI, Z.; MIAO, Y.; LI, J.; LIU, H.; XU, H.; CRIBB, M.; ZHAI, P. Declining
581 frequency of summertime local-scale precipitation over eastern China from 1970 to 2010 and
582 its potential link to aerosols. *Geophysical Research Letters*, v. 44, n. 11, p. 5700-5708, 2017.
583
- 584 KATZ, R.W.; BROWN, B.G. Extreme events in a changing climate: variability is more
585 important than averages. *Climatic change*, v. 21, n. 3, p. 289-302, 1992.
586
- 587 KENDALL, M.G. *Rank correlation methods*, 2 ed, New York: Hafner, 1975.
588
- 589 KUNWAR, S.B.; BOHARA, A.K. Climate sensitivities and farmland values in Nepal: A
590 spatial panel Ricardian approach. *Journal of Development and Agricultural Economics*, v. 9,
591 n. 6, p. 145-161, 2017.
592
- 593 HASAN, H.; SALLEH, N.H.M. Climate change risk reduction through readiness: An
594 assessment of extreme temperature indices for Peninsular Malaysia. *Geografia-Malaysian*
595 *Journal of Society and Space*, v. 12, n. 10, 2017.
596
- 597 HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIACÃO,
598 Y.M.T.; BAEZ, J.; BARROS, V.R.; BERLATO, M.A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.;
599 CORRADI, V.; GARCIA, V.J.; GRIMM, A.M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.;
600 MARINO, M.B.; MONCUNILL, D.F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.;

- 601 RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J.L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in total and
602 extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature.
603 *Journal of climate*, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, 2006.
- 604
- 605 HOPP, M.J.; FOLEY, J.A. Worldwide fluctuations in dengue fever cases related to climate
606 variability. *Climate Research*, v. 25, n. 1, p. 85-94, 2003.
- 607
- 608 LÜ, M., JIANG, Y., CHEN, X., CHEN, J., WU, S., & LIU, J. Spatiotemporal Variations of
609 Extreme Precipitation under a Changing Climate in the Three Gorges Reservoir Area
610 (TGRA). *Atmosphere*, v. 9, n. 1, p. 24, 2018.
- 611
- 612 MANN, H.B., Nonparametric test against trend. *Econometria*, v. 13, 1945.
- 613
- 614 Maranhão (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. *Atlas do*
615 *Maranhão*. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico/ Laboratório de
616 Geoprocessamento - UEMA. 2. ed. São Luís: GEPLAN, 2002. 44 p.
- 617
- 618 MARENGO, J. A.; DIAS, P. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos
619 hídricos. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, v. 3, p. 63-109, 2006.
- 620
- 621 MATAVELI, G.A.V.; SILVA, M.E.S.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F.S.; KAWAKUBO,
622 F.S.; BERTANI, G.; COSTA, J.C.; RAMOS, R.C.; SILVA, V.V. Satellite observations for
623 describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. *Natural*
624 *Hazards and Earth System Sciences*, v. 18, n. 1, p. 125, 2018.
- 625
- 626 MUTIIBWA, D.; VAVRUS, S.J.; MCAFEE, S.A.; ALBRIGHT, T.P. Recent spatiotemporal
627 patterns in temperature extremes across conterminous United States. *Journal of Geophysical*
628 *Research: Atmospheres*, v. 120, n. 15, p. 7378-7392, 2015.
- 629
- 630 NATIVIDADE, U.A.; GARCIA, S.R.; TORRES, R.R. Trend of Observed and Projected
631 Extreme Climate Indices in Minas Gerais State. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n.
632 4, p. 600-614, 2017.
- 633

- 634 NAVEAU, P.; NOGAJ, M.; AMMANN, C.; YIOU, P.; COOLEY, D.; JOMELLI, V.
635 Statistical methods for the analysis of climate extremes. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 337,
636 n. 10-11, p. 1013-1022, 2005.
- 637
- 638 NOBRE, P.; MARENGO, J.A.; CAVALCANTI, I.F.A.; OBREGON, G. Seasonal-to-decadal
639 predictability and prediction of South American climate. *Journal of climate*, v. 19, n. 23, p.
640 5988-6004, 2006.
- 641
- 642 PATZ, J.A.; CAMPBELL-LENDRUM, D.; HOLLOWAY, T.; FOLEY, J.A. Impact of
643 regional climate change on human health. *Nature*, v. 438, n. 7066, p. 310, 2005.
- 644
- 645 PEDRON, I.T.; SILVA DIAS, M.A.; DE PAULA DIAS, S.; CARVALHO, L.; FREITAS,
646 E.D. Trends and variability in extremes of precipitation in Curitiba–Southern Brazil.
647 *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 3, p. 1250-1264, 2017.
- 648
- 649 POWELL, E.J.; KEIM, B.D. Trends in daily temperature and precipitation extremes for the
650 Southeastern United States: 1948–2012. *Journal of Climate*, v. 28, n. 4, p. 1592-1612, 2015.
- 651
- 652 RAMSAR SITES INFORMATION SERVICE. The List of Wetlands of International
653 Importance. Disponível em:<
654 <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf>>. Acesso em 18 de
655 maio de 2018.
- 656
- 657 ROBINNE, F.N.; BLADON, K.D.; MILLER, C.; PARISIEN, M.A.; MATHIEU, J.;
658 FLANNIGAN, M.D. A spatial evaluation of global wildfire-water risks to human and natural
659 systems. *Science of the Total Environment*, v. 610, p. 1193-1206, 2018.
- 660
- 661 SANTOS, C.A.C.; OLIVEIRA, V.G.. Trends in Extreme Climate Indices for Pará State,
662 Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 1, p. 13-24, 2017.
- 663
- 664 SILVA, F.B.; SANTOS, J.R.N.; FEITOSA, F.E.C.S.; SILVA, I.D.C.; ARAÚJO, M.L.S.;
665 GUTERRES, C.E.; SANTOS, J.S.; RIBEIRO, C.V.; BEZERRA, D.S.; NERES, R.L.

- 666 Evidências de Mudanças Climáticas na Região de Transição Amazônia-Cerrado no Estado do
667 Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 3, p. 330-336, 2016.
- 668
- 669 SHI, J., CUI, L., WEN, K., TIAN, Z., WEI, P., ZHANG, B. Trends in the consecutive days of
670 temperature and precipitation extremes in China during 1961–2015. *Environmental research*,
671 v. 161, p. 381-391, 2018.
- 672
- 673 DA SILVA, R.O.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; DE SOUZA, W.M. Tendências de
674 mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de
675 Pernambuco. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 3, 2017.
- 676
- 677 SMITH, L.T.; ARAGAO, L.E.; SABEL, C.E.; NAKAYA, T. Drought impacts on children's
678 respiratory health in the Brazilian Amazon. *Scientific reports*, v. 4, p. 3726, 2014.
- 679
- 680 TANGANG, F.; JUNENG, L.; ALDRIAN, E. Observed changes in extreme temperature and
681 precipitation over Indonesia. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 4, p. 1979-1997,
682 2017.
- 683
- 684 VICENT, L.A.; PETERSON, T.C.; BARROS, V.R.; MARINO, M.B.; RUSTICUCCI, M.;
685 CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M.A.;
686 GRIMM, A.M.; MARENGO, J.A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D.F.; REBELLO, E.;
687 ANUNCIAÇÃO, Y.M.T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J.L.; BAEZ, J.; CORONEL, D.;
688 GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M.R.; KAROLY, D. Observed
689 trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. *Journal of*
690 *climate*, v. 18, n. 23, p. 5011-5023, 2005.
- 691
- 692 WORLD METEOROLOGICAL ASSOCIATION. The global climate 2001–2010: A decade
693 of climate extremes, summary report. *Geneva, Switzerland: WMO*, 16p, 2013.
- 694
- 695 YANG, C.; XU, J. A semi-parametric regression approach to climatological quantile
696 estimation for generating percentile-based temperature extremes indices. *Atmospheric Science*
697 *Letters*, v. 18, n. 2, p. 60-66, 2017.
- 698

699 Ye, J.S.; Gong, Y.H.; Zhang, F.; Ren, J.; Bai, X.K.; Zheng, Y. Which Temperature and
700 Precipitation Extremes Best Explain the Variation of Warm versus Cold Years and Wet
701 versus Dry Years?. *Journal of Climate*, v. 31, n. 1, p. 45-59, 2018.

702

703 ZHANG, X.; YANG, F. RCLimDex (1.0) user manual. *Climate Research Branch*
704 *Environment Canada*, v. 22, 2004.

705

706

MATERIAL SUPPLEMENTAR

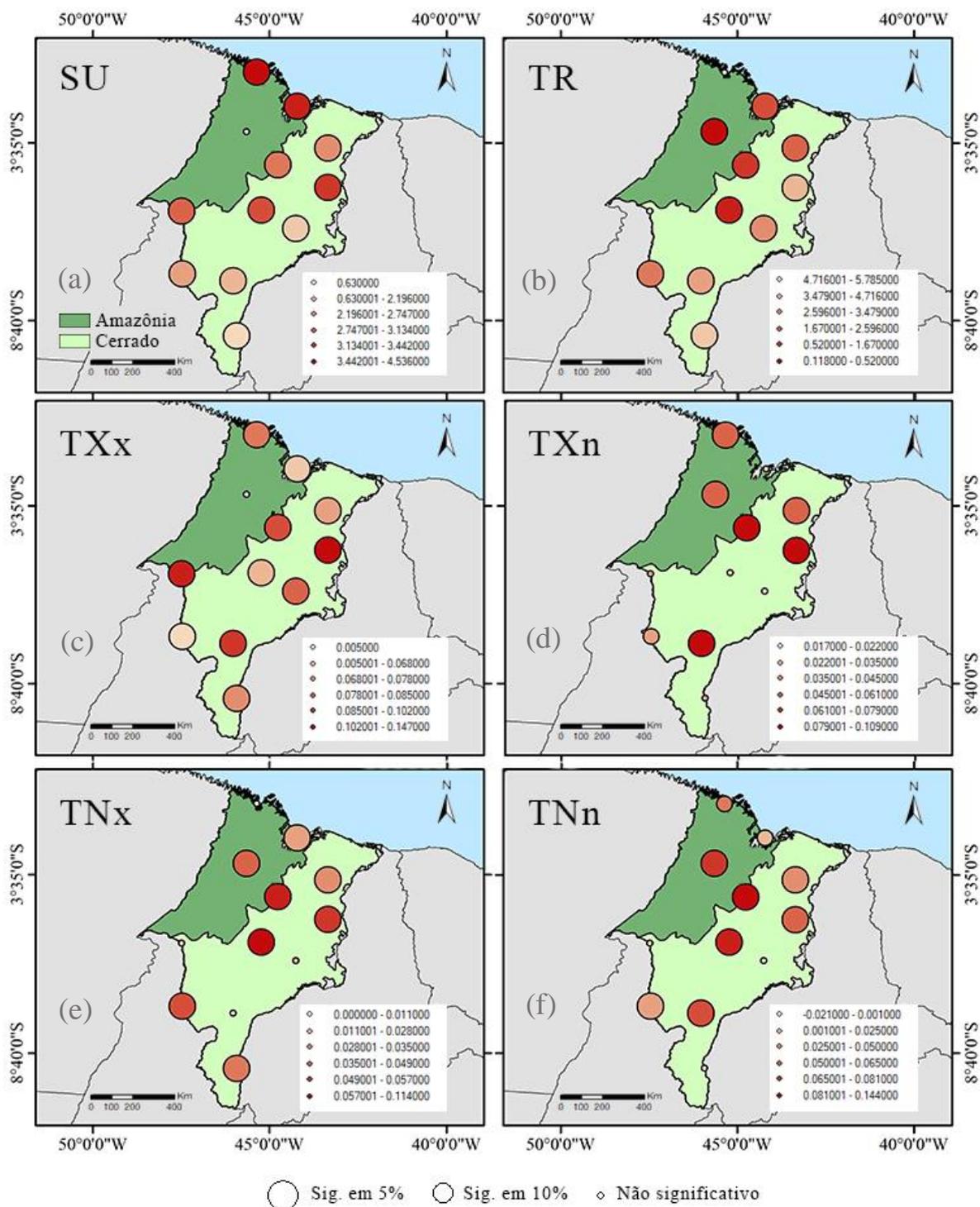


Figura 2 – Espacialização das tendências dos índices de extremos climáticos da temperatura máxima e mínima para o Estado do Maranhão de 1986 a 2016, em que: (a) SU, (b) TR, (c) TXx, (d) TXn, (e) TNx e (f) TNn. Os círculos maiores apresentam nível de significância de 0,05, os médios de 0,05 a 0,1 e os menores os valores não significativos.

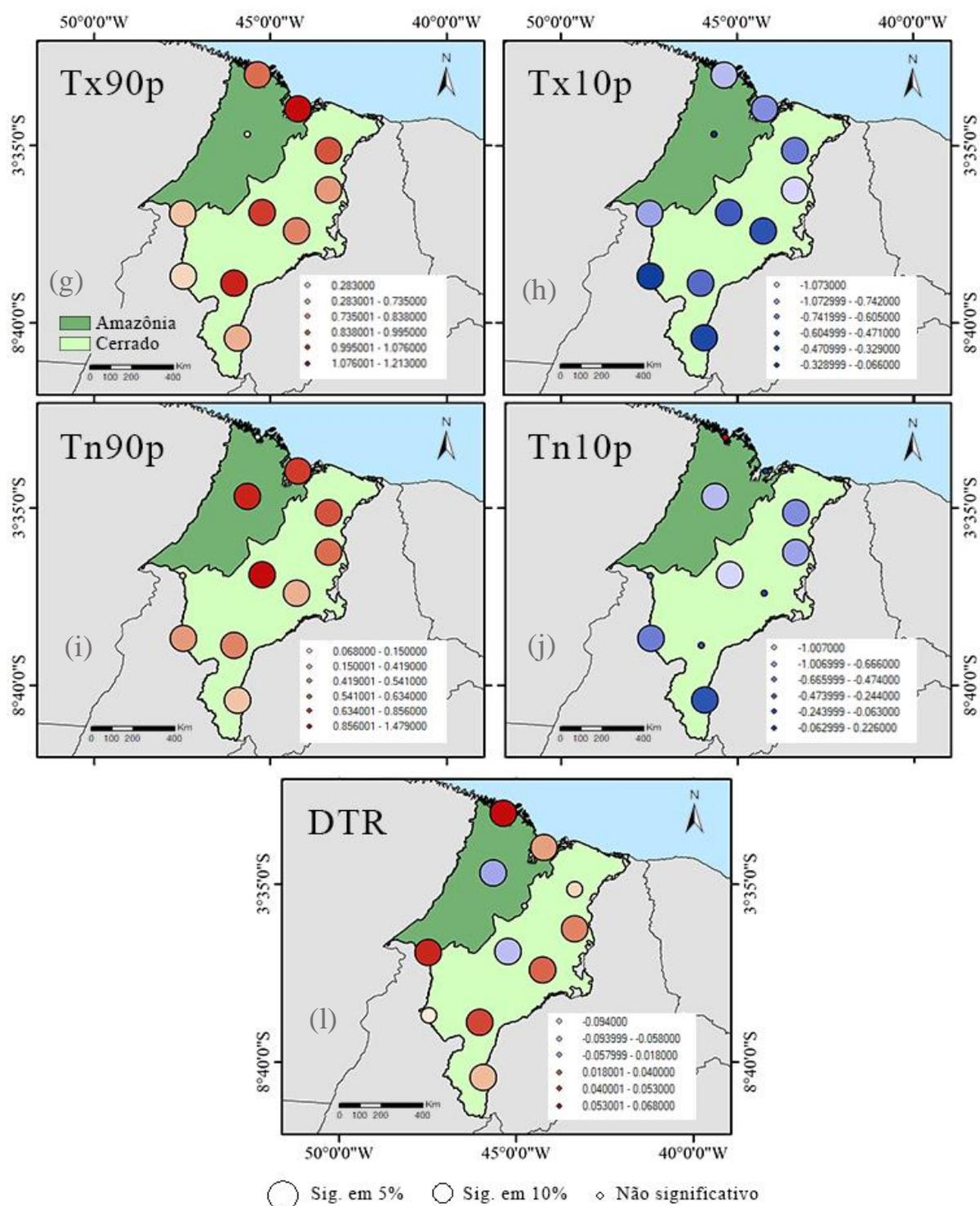


Figura 3 – Espacialização das tendências dos índices de extremos climáticos da temperatura máxima e mínima para o Estado do Maranhão de 1986 a 2016, em que: (g) Tx90p, (h) Tx10p, (i) Tn90p, (j) Tn10p e (l) DTR. Os círculos maiores apresentam nível de significância de 0,05, os médios de 0,05 a 0,1 e os menores os valores não significativos.

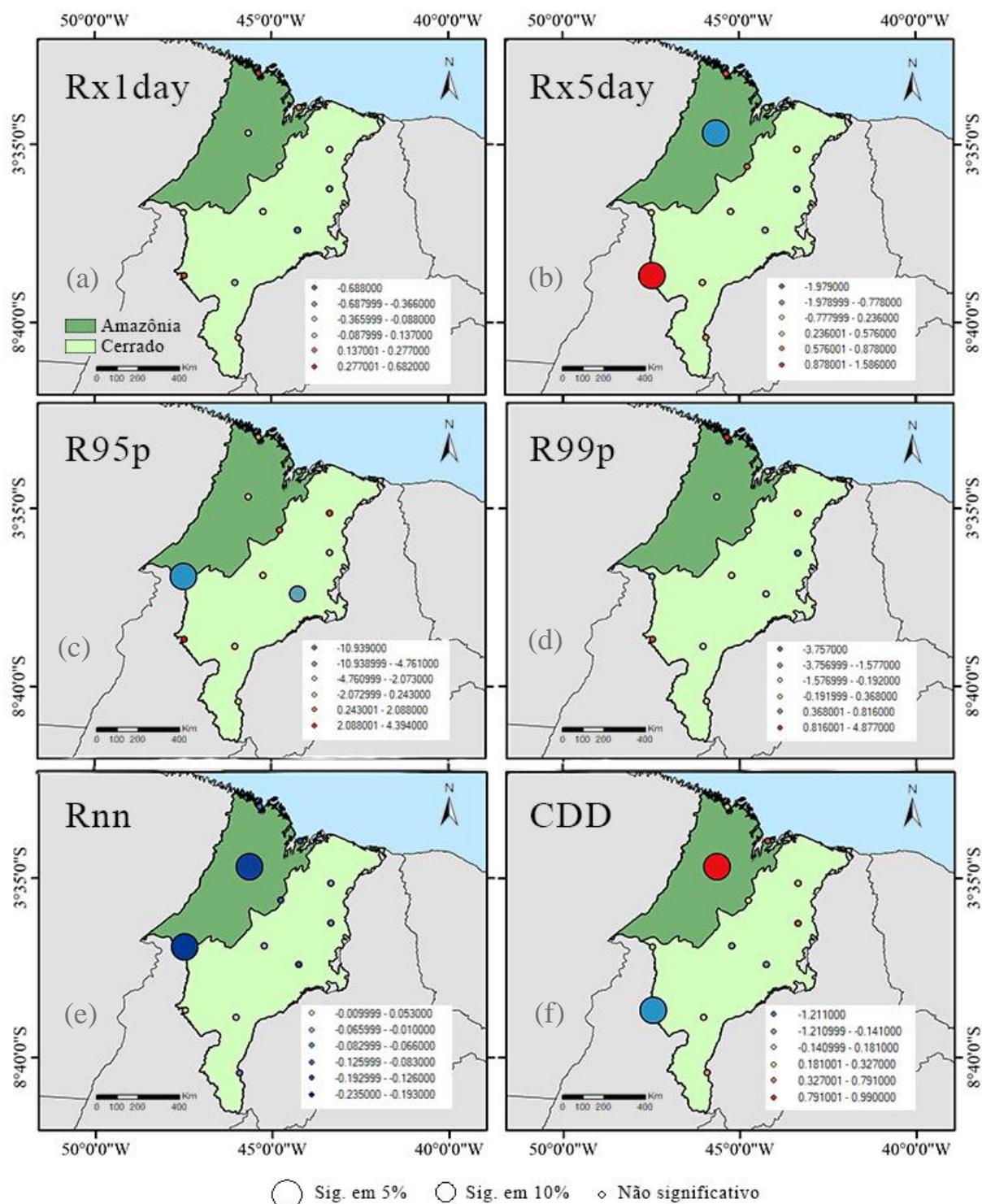


Figura 4 – Espacialização das tendências dos índices de extremos climáticos da precipitação para o Estado do Maranhão de 1986 a 2016 em que: (a) Rx1day, (b) Rx5day, (c) R95p, (d) R99p, (e) Rnn e (f) CDD. Os círculos maiores apresentam nível de significância de 0,05, os médios de 0,05 a 0,1 e os menores os valores não significativos.

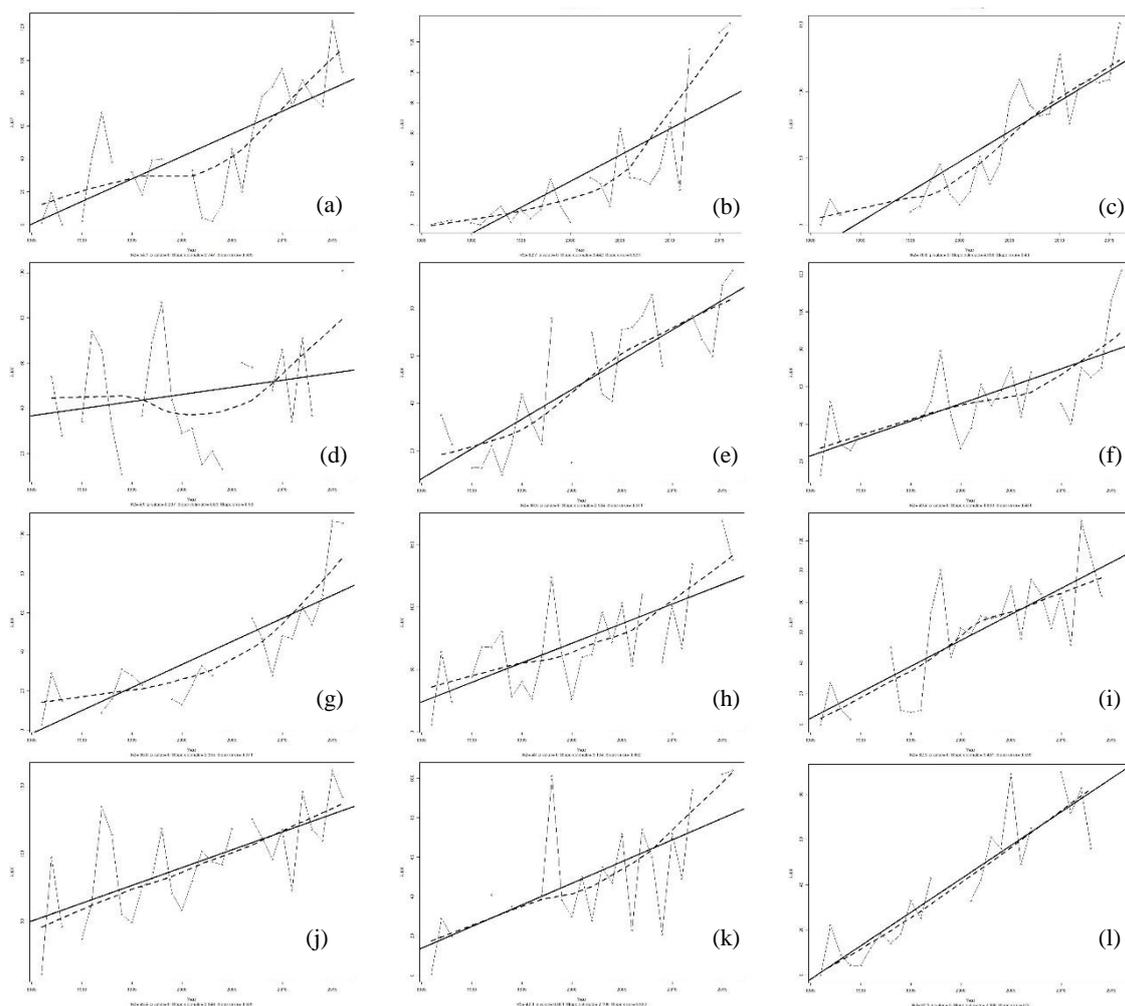


Figura 5 – Série anual e tendência do índice SU (dias de verão) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

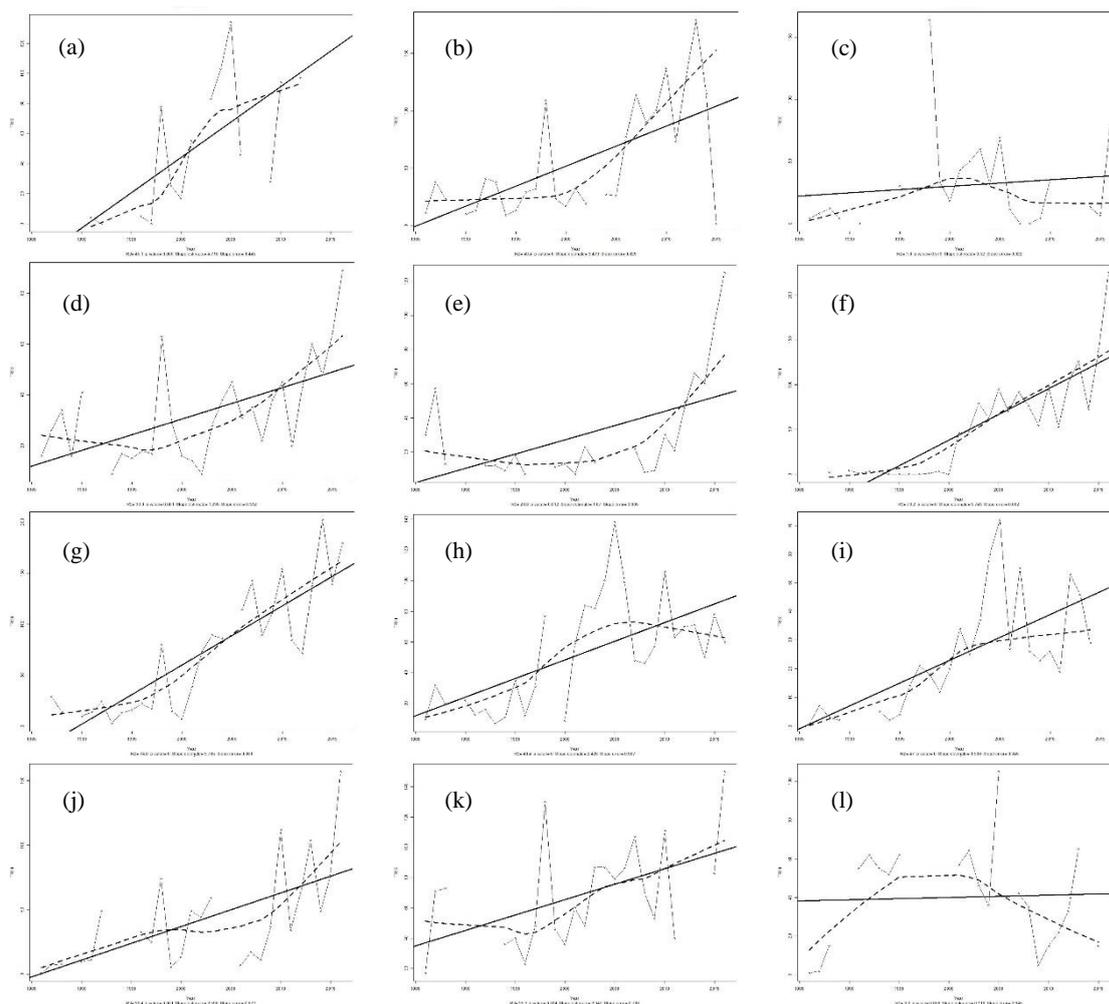


Figura 6 – Série anual e tendência do índice TR (noites tropicais) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

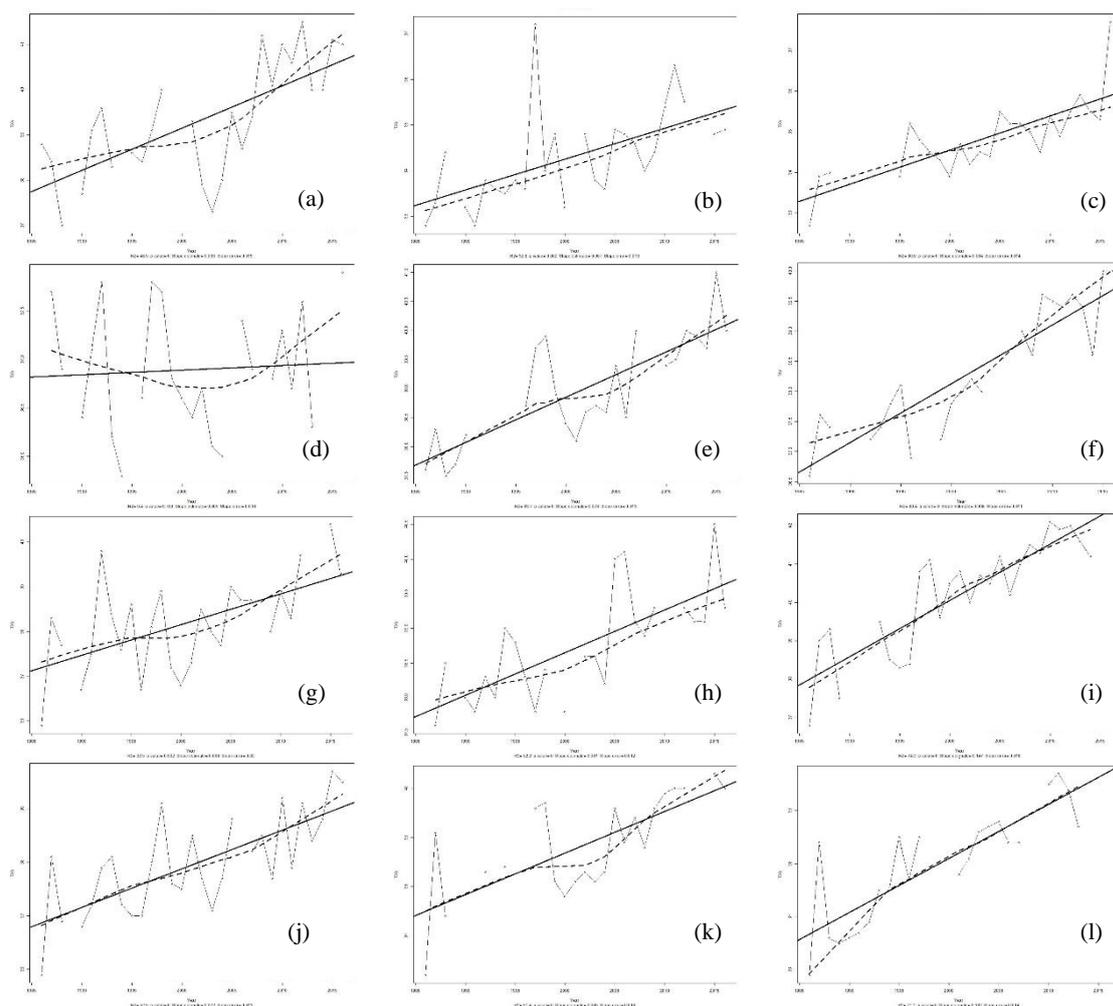


Figura 7 – Série anual e tendência do índice TXx (dia mais quente) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

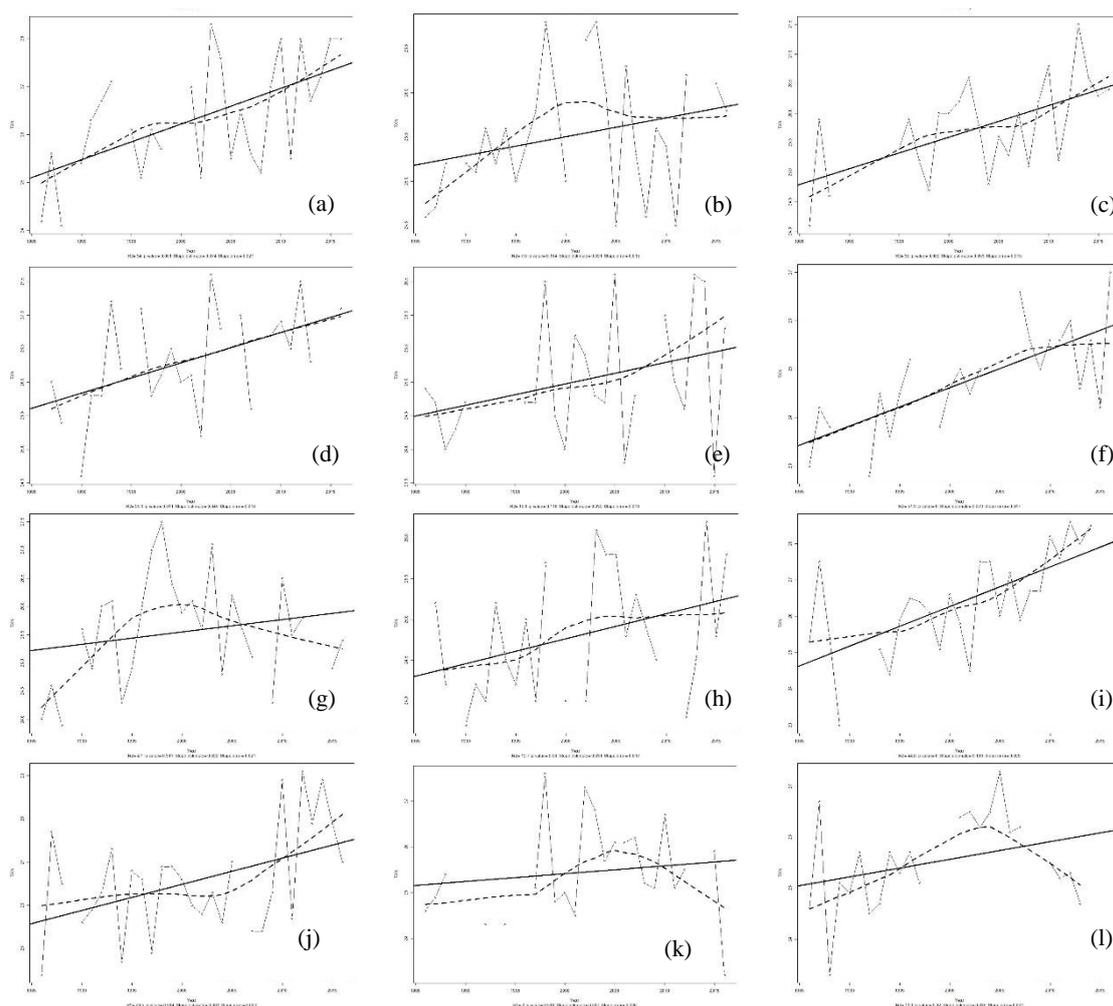


Figura 8 – Série anual e tendência do índice TXn (dia mais frio) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

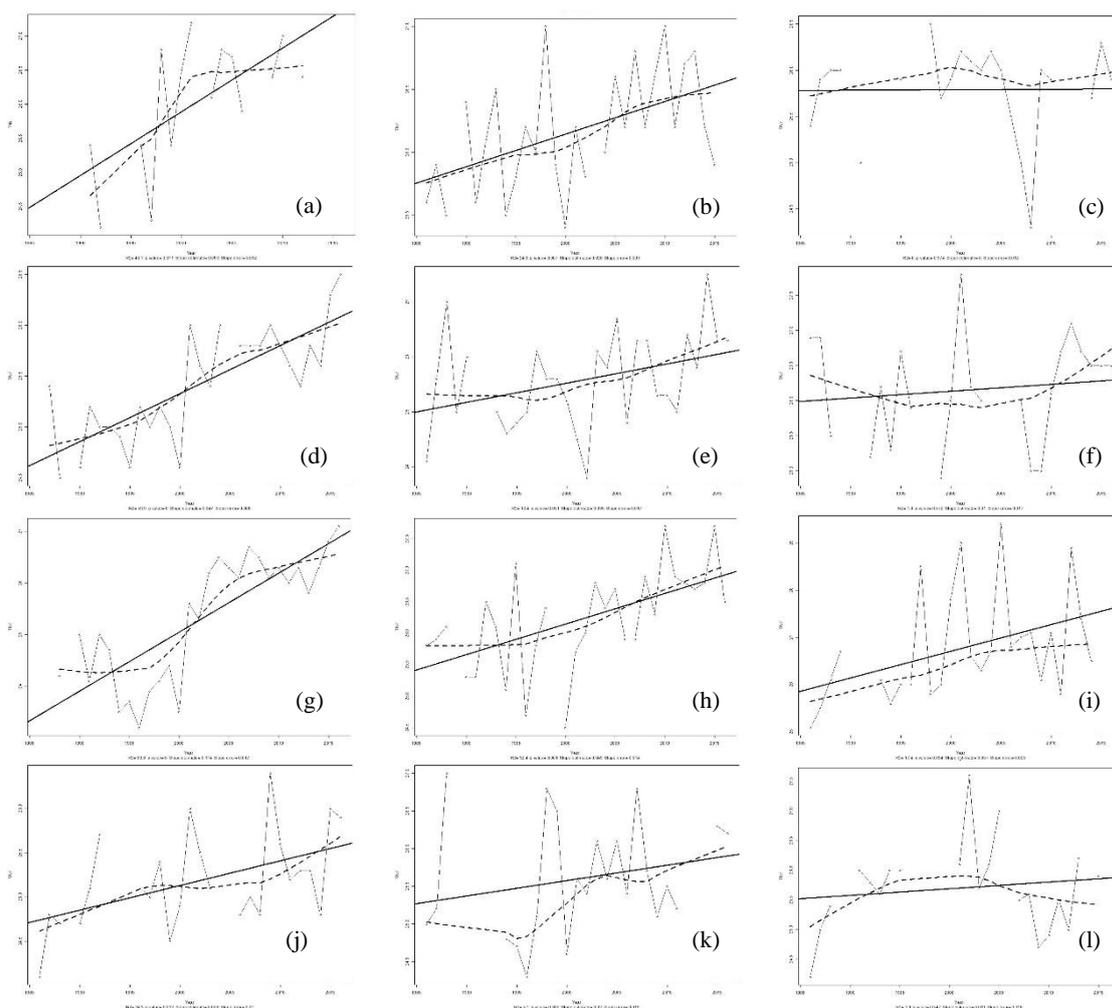


Figura 9 – Série anual e tendência do índice TNx (noite mais quente) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

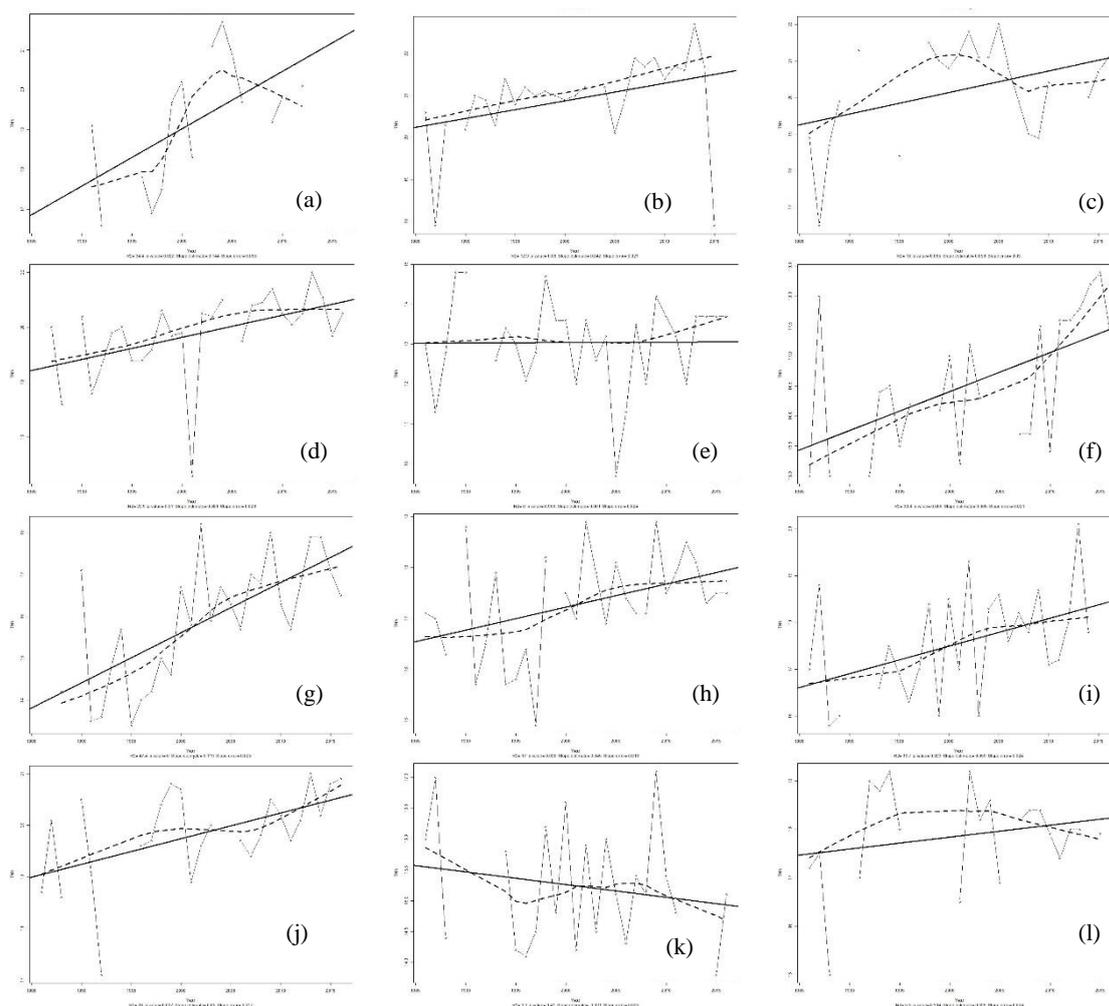


Figura 10 – Série anual e tendência do índice TNx (noite mais fria) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

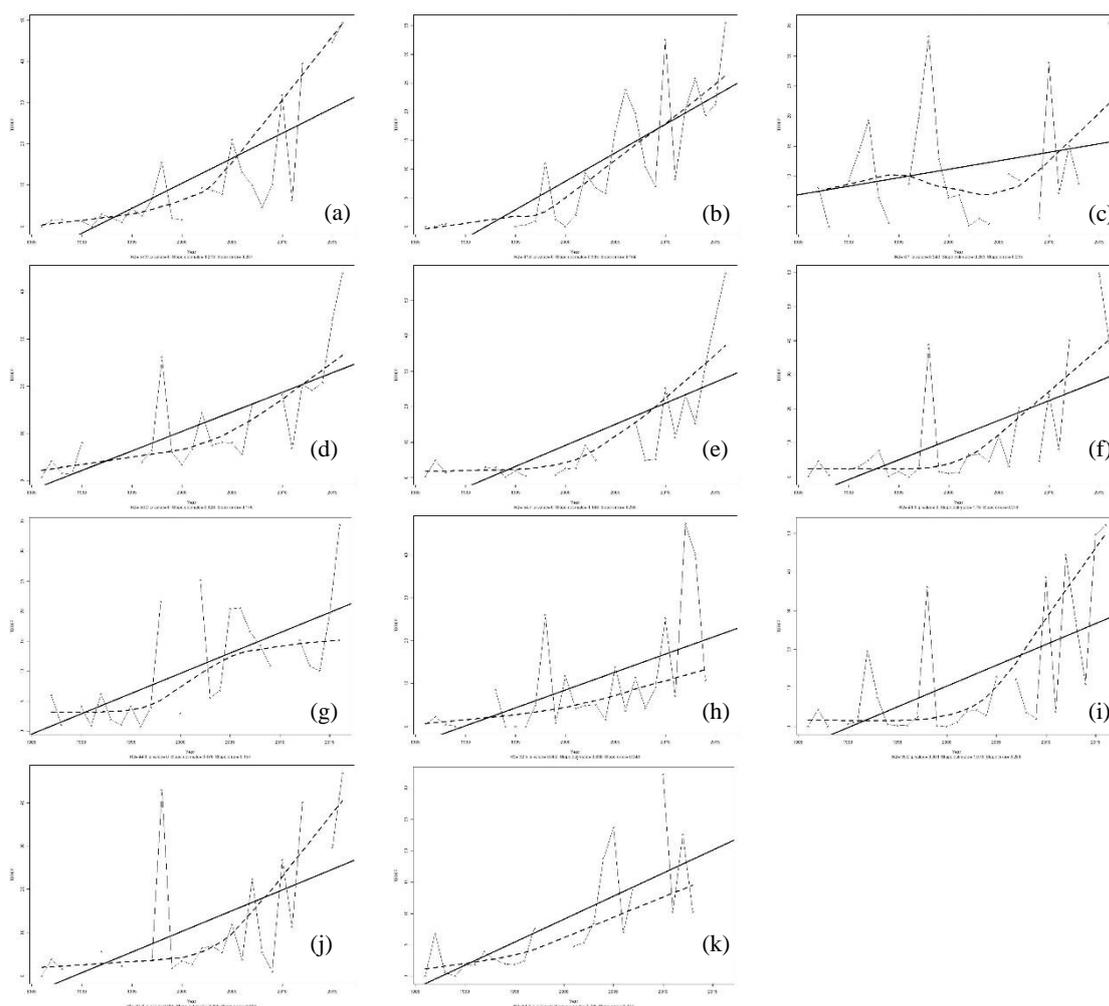


Figura 11 – Série anual e tendência do índice Tx90p (dias quentes) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiacu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

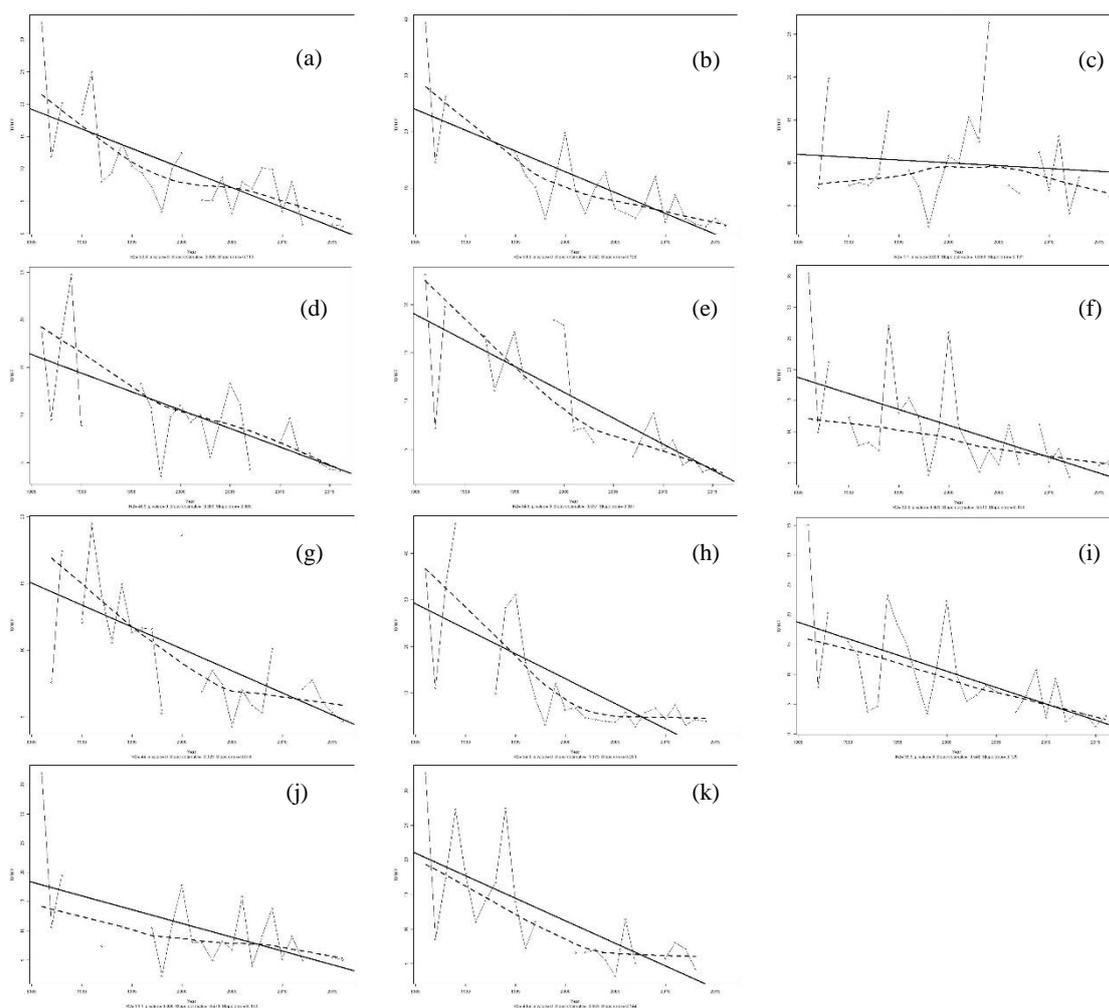


Figura 12 – Série anual e tendência do índice Tx10p (dias frios) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

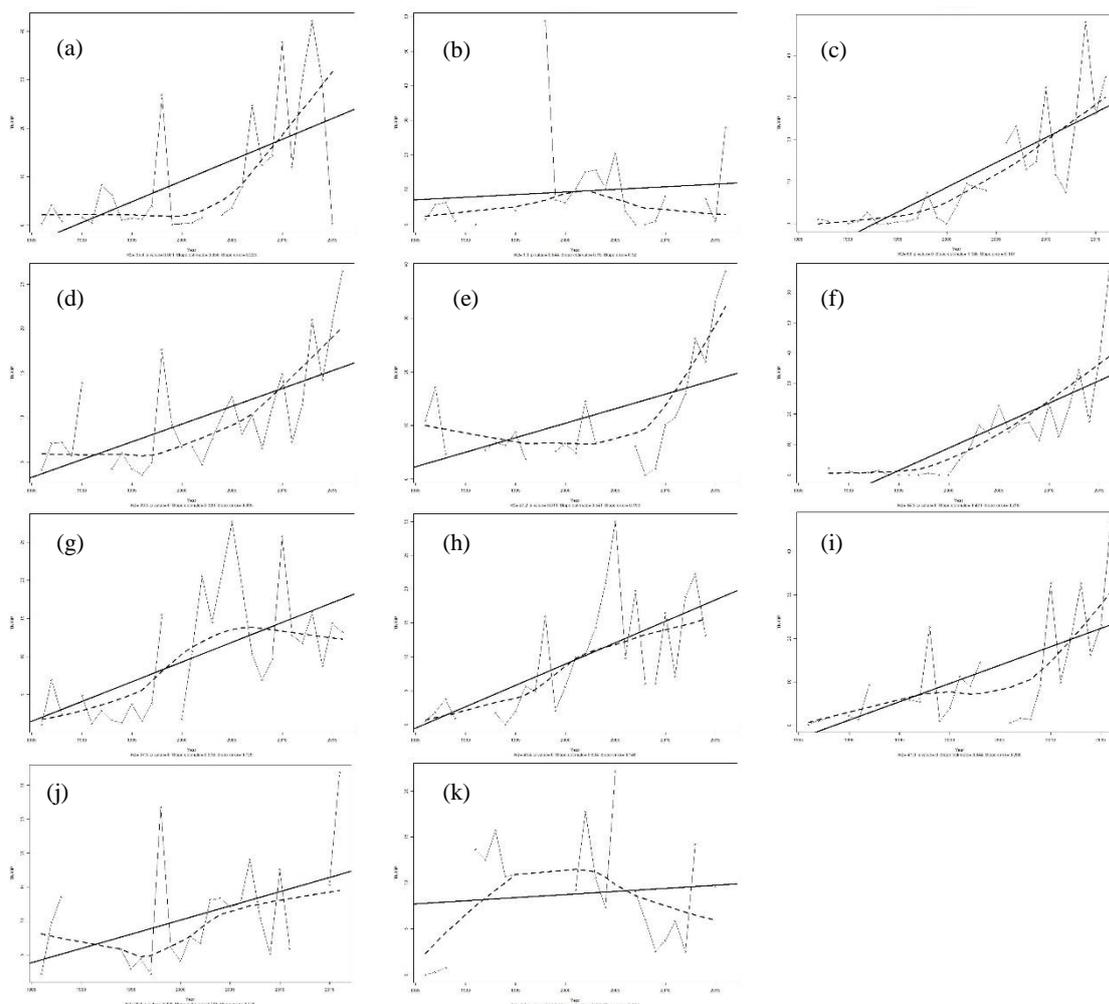


Figura 13 – Série anual e tendência do índice Tn90p (noites quentes) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

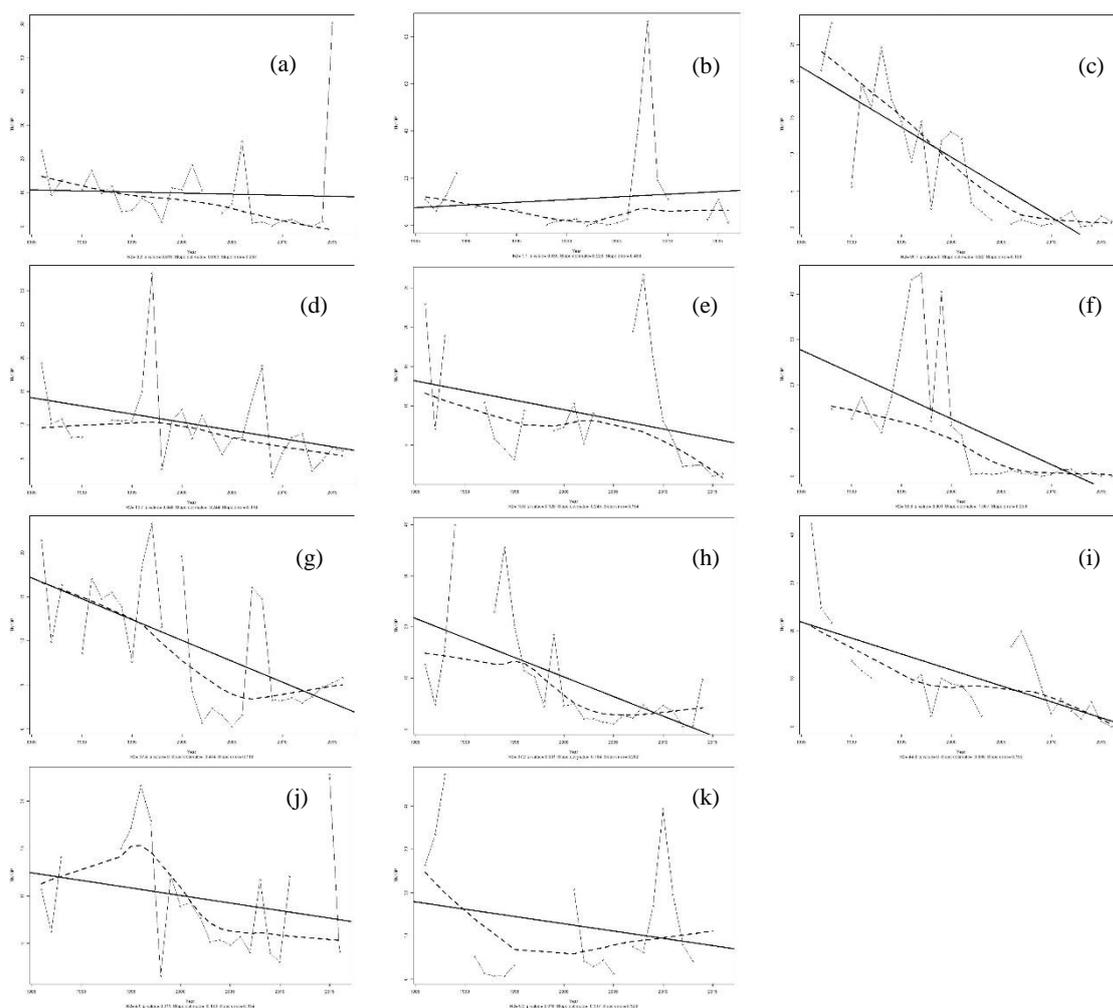


Figura 14 – Série anual e tendência do índice Tn10p (noites frias) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

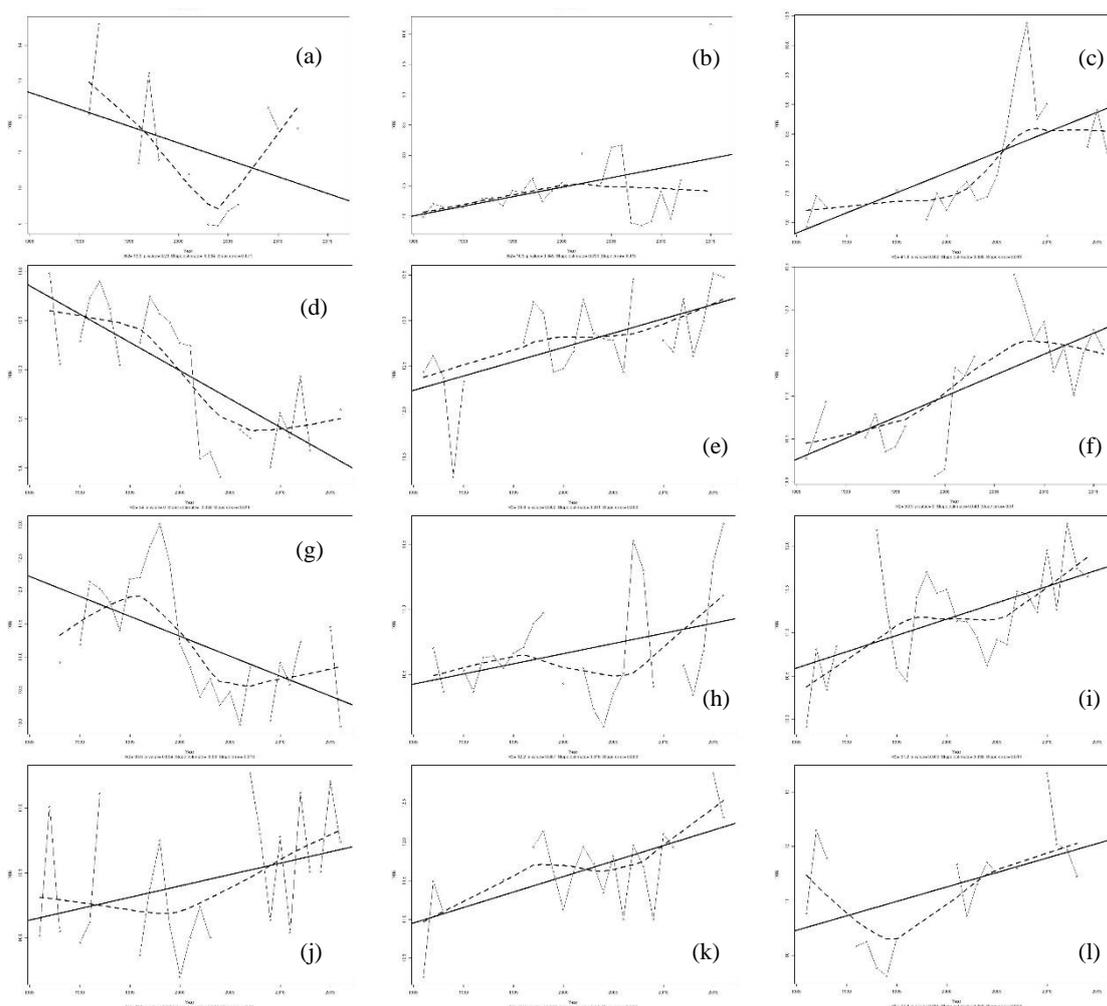


Figura 15 – Série anual e tendência do índice DTR (variação de temperatura diária) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiaçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

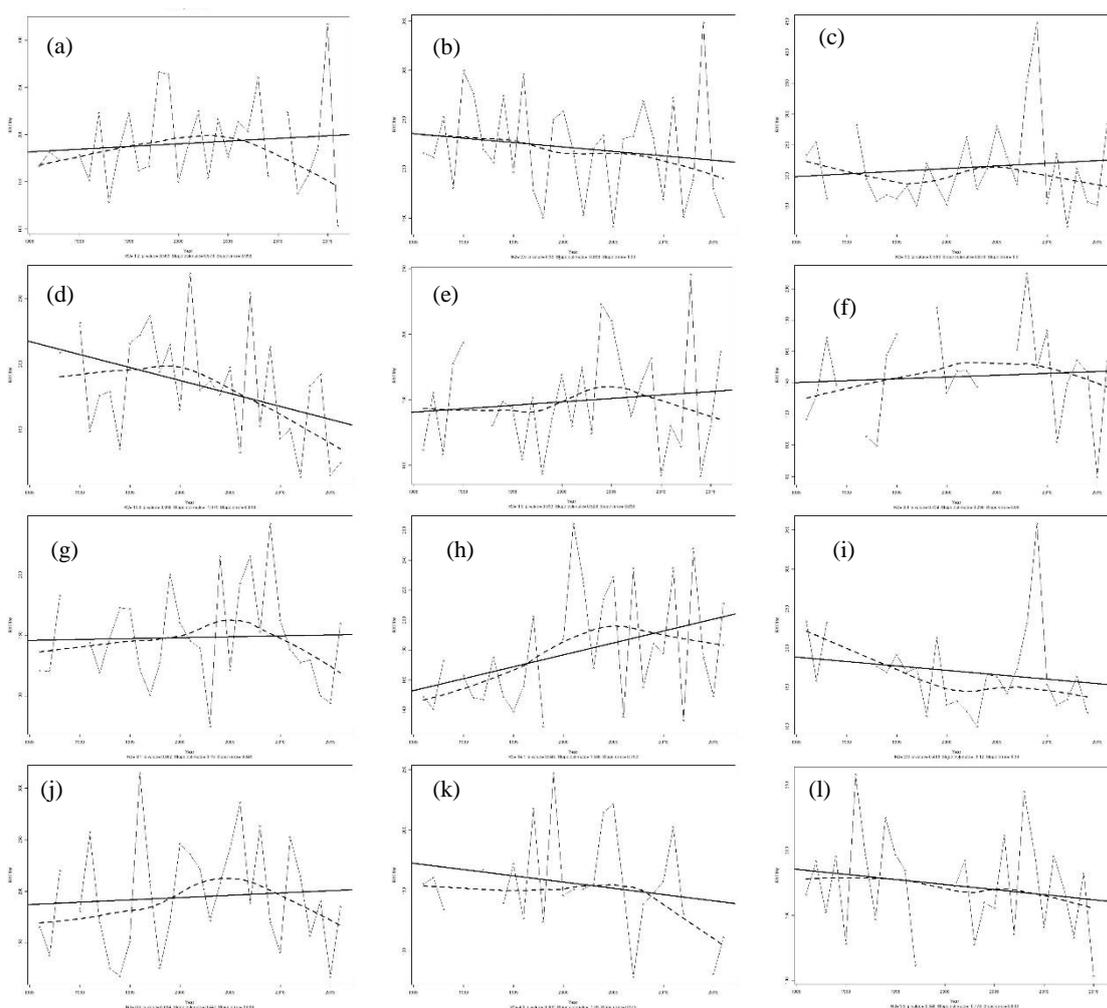


Figura 16 – Série anual e tendência do índice Rx5day (quantidade máxima de precipitação em cinco dias) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

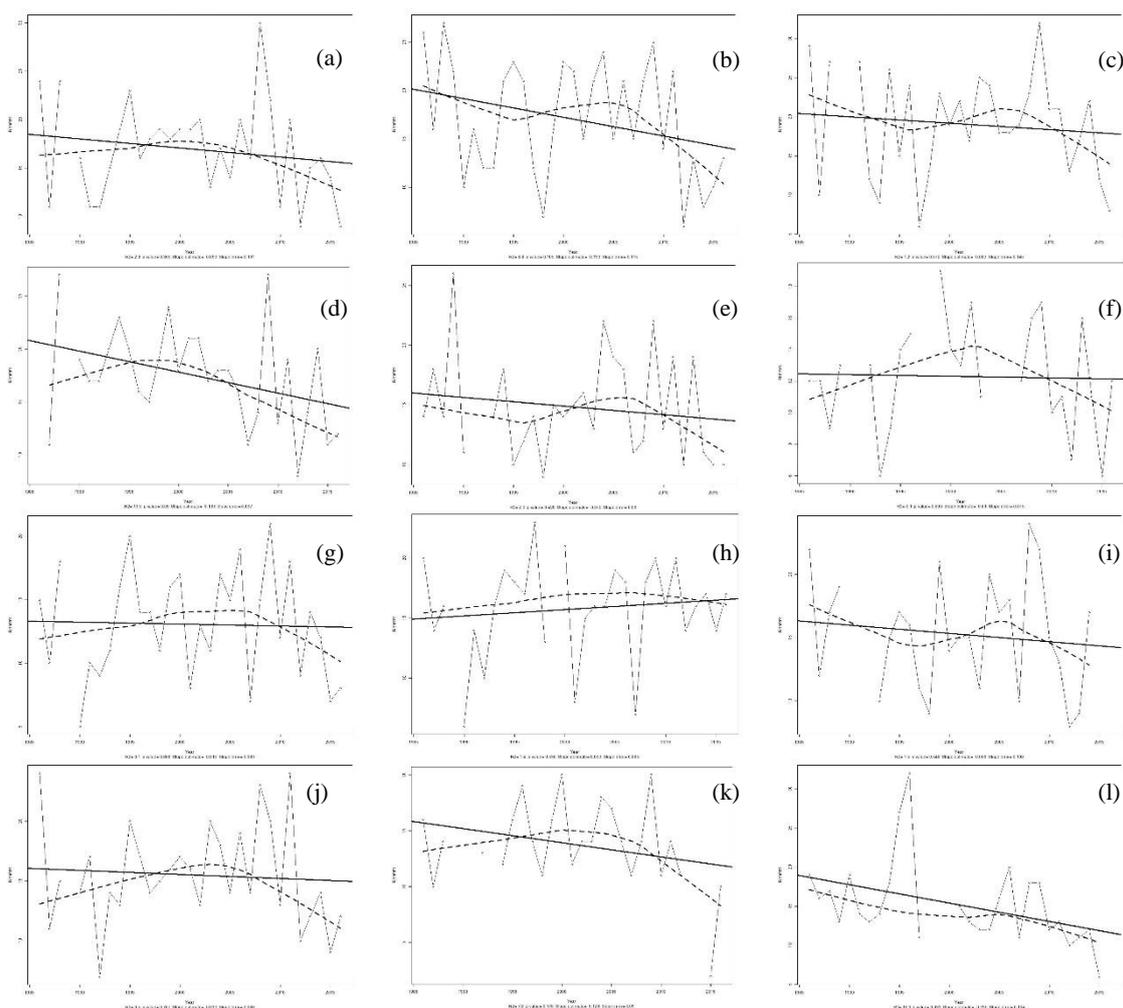


Figura 17 – Série anual e tendência do índice Rnn (número de dias com a precipitação acima do limiar definido) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiagu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

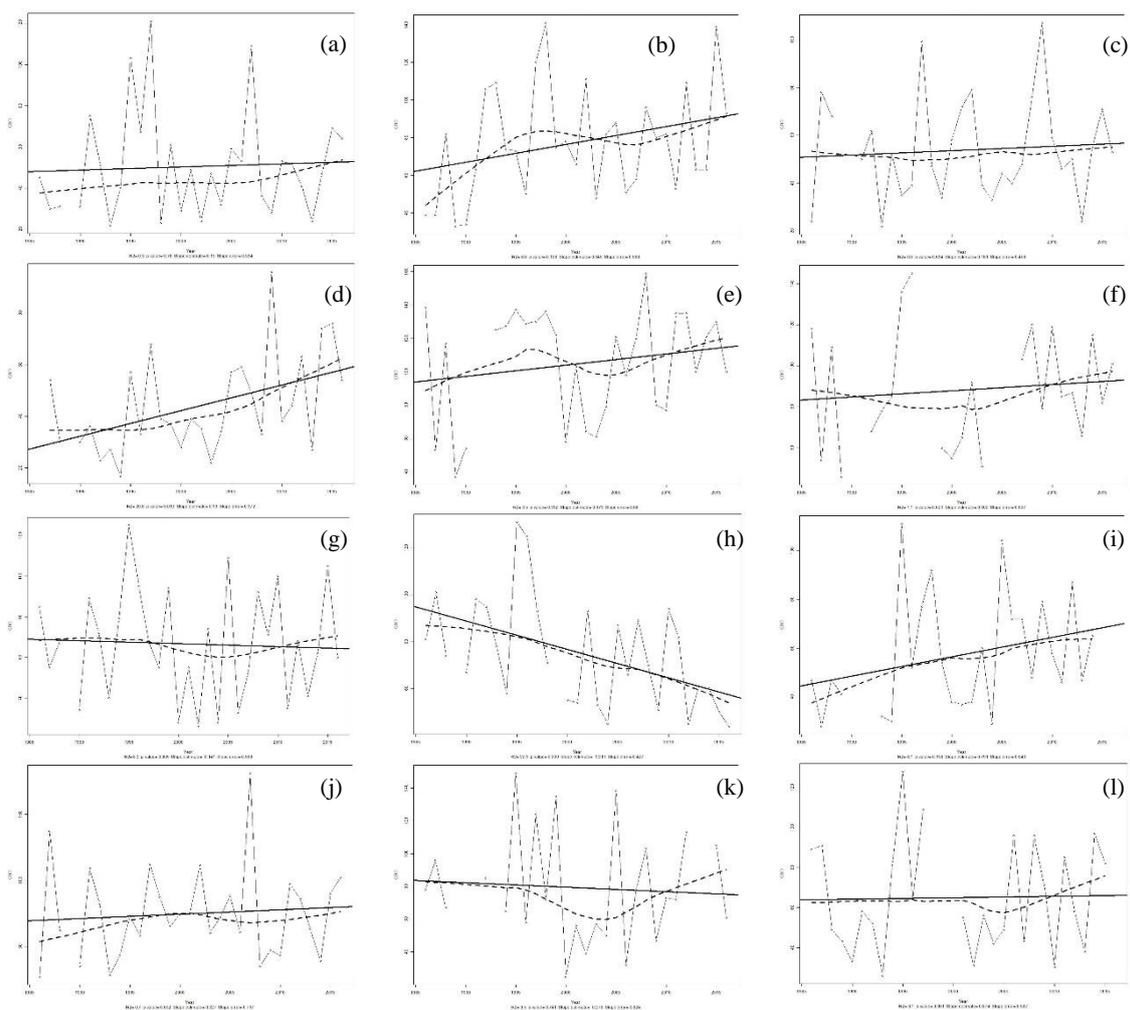


Figura 18 – Série anual e tendência do índice CDD (dias consecutivos secos) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

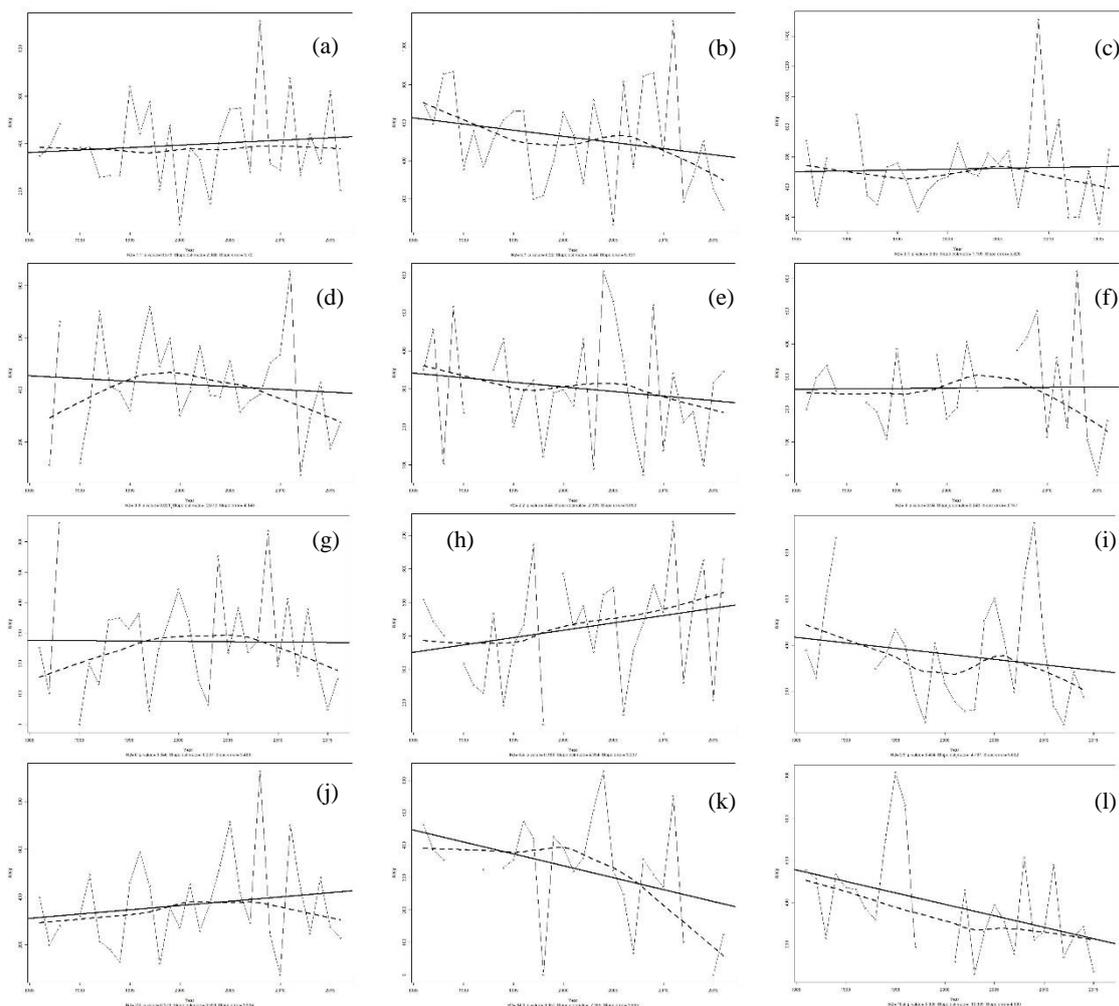


Figura 19 – Série anual e tendência do índice R95p (dias muito úmidos) para as estações do bioma amazônico (a) Bacabal, (b) São Luís, (c) Turiçu e (d) Zé Doca, e bioma cerrado (e) Alto Parnaíba, (f) Balsas, (g) Barra do Corda, (h) Carolina, (i) Caxias, (j) Chapadinha, (k) Colinas e (l) Imperatriz.

4 CONCLUSÕES

Considerando a complexidade das mudanças climáticas e extremos climáticos e diante da escassez de trabalhos relacionados a mudanças climáticas no Estado do Maranhão, o presente estudo contribui com a caracterização da ocorrência de extremos climáticos no Estado, fornecendo subsídio para o planejamento ambiental, manejo da agricultura, saúde humana, entre outras áreas.

Muito embora os resultados apresentarem um aumento nos índices de temperatura máxima e mínima, assim como também em alguns índices pluviométricos, essas mudanças não estão necessariamente associadas a uma mudança global, mas principalmente às ações antropogênicas locais, através da modificação espaço-temporal da vegetação e uso e cobertura do solo.

Dessa forma, há uma necessidade de outros estudos a fim de complementar e contribuir para uma melhor compreensão dessas mudanças no clima no Estado do Maranhão.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 111, n. D5, 2006.

Aragão, J.O.R. **A influência dos Oceanos Atlântico e Pacífico sobre a circulação atmosférica e a chuva na Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil: Simulação e Observação**. In: SBMET. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão - SP, p.830-833, 1996.

ARAGÃO, L.E.O.C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 536, 2018.

Assis, J.M.O.; Lacerda, F.F.; Sobral, M.C.M. Análise de detecção de tendências no padrão pluviométrico na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, p.320-331, 2012.

ARAUJO, N. S. **Deteção de tendências de mudanças climáticas para os estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em meteorologia, UFCG, 2009.

BARNETT, Tim et al. Detecting and attributing external influences on the climate system: A review of recent advances. **Journal of Climate**, v. 18, n. 9, p. 1291-1314, 2005.

Brasil, A. **Atlas do Desenvolvimento humano no Brasil 2013**. Ranking. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking/>. Acesso em: 27 nov. 15.

BRONDIZIO, Eduardo S.; MORAN, Emilio F. Human dimensions of climate change: the vulnerability of small farmers in the Amazon. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1803-1809, 2008.

Bürger, G., T.Q. Murdock, A.T. Werner, S.R. Sobie, A.J. Cannon. Downscaling Extremes—An Intercomparison of Multiple Statistical Methods for Present Climate. **J. Climate**, 25, 4366–4388 p. 2012.

CONCEIÇÃO, M.A. **Sensoriamento Remoto e Direito à Intimidade**. Tese (Doutorado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Direito. Belo Horizonte. 2011.

Cubasch, U., et al. Projections of future climate change. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**, J. T. Houghton et al., Eds., Cambridge University Press, 525–582 p. 2001.

Davis, C.L. **Climate Risk and Vulnerability: A Handbook for Southern Africa**. Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa. 2011.

DONAT, M. G. et al. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: the HadEX2 dataset. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 5, p. 2098-2118, 2013.

EEROLA, T. T. Climate changes at the Neoproterozoic-Cambrian transition. In: Zhuravlev, and Riding, R. (Eds.) **The Ecology of the Cambrian Radiation**. Columbia University Press, New York, p. 90-106, 2001.

Eerola, T. Let it burn? More emissions for the debate on climate change (em finlandês, com sumário em inglês). *Geologi* 4-5, 124-127. 2003.

Ferreira, A. G, Mello, N. G. S. Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n. 1, 2005.

GARCÍA-CUETO, O. Rafael et al. Analysis and modeling of extreme temperatures in several cities in northwestern Mexico under climate change conditions. **Theoretical and applied climatology**, v. 116, n. 1-2, p. 211-225, 2014.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis – Contribution of Working Group I to the IPCC**. Cambridge Univ. Press, New York, 2001

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. **Climate Change and Biodiversity**. Cambridge, University Press, 86 p. 2002

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Mudanças Climáticas: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Bruxelas. 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: Summary for policymakers. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, C. B. Field et al., Eds., Cambridge University Press, 1–19 p. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. T. F. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, 1535 pp.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013. Disponível em:

<http://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml#UXXbFcqy00M>
Acesso em: 20/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2014: synthesis report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, RK Pachauri and LA Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.**

FALVEY, Mark; GARREAUD, René D. Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 114, n. D4, 2009.

Franchito, S.H.; Rao, V.B.; Vasques, A.C.; Santo C. M. E.; Conforte J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, D02105, p. 1-9, 2009.

GRIMM, Alice M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, n. 4, p. 537-554, 2011.

HE, Jinyun et al. Climate characteristics of the extreme drought events in Southwest China during recent 50 years. **Acta Geographica Sinica**, v. 9, n. 006, 2011.

HUNTINGFORD, Chris et al. Using a GCM analogue model to investigate the potential for Amazonian forest dieback. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 177-185, 2004.

HUNTINGFORD, Chris et al. Towards quantifying uncertainty in predictions of Amazon 'dieback'. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1857-1864, 2008.

Karl, T.R.; Melillo, J.M.; Peterson, T.C. **Global Climate Change in the United States**. (eds). Cambridge University Press. 2009.

Katz, R. W., and B. G. Brown, Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. **Climatic Change**, 21, 289–302 p. 1992.

Klare, M.T. *Resource Wars – The new landscape of global conflict*. New York: Metropolitan Books, 461 p. 2001.

Landgrebe, D.A. The Quantitative Approach: Concept and Rationale. In: SWAIN, P. H; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGRAW-HILL, p. 1-20, 1978.

LAPOLA, David M.; OYAMA, Marcos D.; NOBRE, Carlos A. Exploring the range of climate biome projections for tropical South America: the role of CO₂ fertilization and seasonality. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 23, n. 3, 2009.

Le Treut, H. **Historical Overview of Climate Change**. In: **Climate Change 2007: The physical science Basis. Contribution of working Group I to the fourth Assessment Report o the intergovenamental panel on Climate Change**. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY. USA. 2007.

LENTON, Timothy M., et al. Tipping elements in the Earth's climate system. **Proceedings of the national Academy of Sciences**, v. 105, n. 6, p. 1786-1793, 2008.

Lenton, T. M.; Footit, A.; Dlugoleck, A. Major tipping points in the Earth's climate system and consequences for the insurance sector. **Tyndall Centre for Climate Change Research Rep.**, 104 pp, 2009.

LEWIS, Simon L. et al. The 2010 amazon drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 554-554, 2011.

Lillesand, T. M.; Kieffer, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2ed. New York, John Wiley & Sons, 1987. 721p.

MALHI, Yadvinder et al. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **science**, v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.

MARENGO, José A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of climate**, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008.

MORAN, Emilio F. et al. Human strategies for coping with El Niño related drought in Amazônia. **Climatic Change**, v. 77, n. 3-4, p. 343-361, 2006.

NEPSTAD, Daniel C.; ALENCAR, Ane A.; MOREIRA, Adriana G. **Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire**. Rain Forest Unit, The World Bank, 1999.

NICHOLLS, Neville; ALEXANDER, Lisa. Has the climate become more variable or extreme? Progress 1992-2006. **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 1, p. 77-87, 2007.

Nóbrega, R.N. **Modelagem de Impactos do Desmatamento nos recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Jamari (RO) Utilizando Dados de Superfície e do TRMM**. 2008. 213p. 2008. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande-PBUCFG, Campina Grande, 2008.

O'GORMAN, Paul A. Contrasting responses of mean and extreme snowfall to climate change. **Nature**, v. 512, n. 7515, p. 416-418, 2014.

OLIVEIRA, S. M. B. de. **Base científica para compreensão do aquecimento global**. In. VIEGA, José de Eli da; Aquecimento Global: Frias Contendas. São Paulo: Editora Senac, 2008.

OLIVEIRA, M. E. D. de. **Estimativas de Emissões de N₂O e CH₄ na cultura da cana de açúcar no Estado de São Paulo**. Piracicaba - SP (Tese de Doutorado), 2014.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R.L.G.; SEVERO, D.L. Tendência das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.

PLUMMER, Neil et al. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. **Climatic Change**, v. 42, n. 1, p. 183-202, 1999.

POLLO, R.A. **Diagnóstico do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Paraíso no município de São Manuel (SP), por meio de geotecnologias**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) - Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2013.

POWELL, Emily J.; KEIM, Barry D. Trends in daily temperature and precipitation extremes for the Southeastern United States: 1948–2012. **Journal of Climate**, v. 28, n. 4, p. 1592-1612, 2015.

CÂMARA, G., MEDEIROS, J.S. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In. ASSAD, E.D.; SANO, E.E. Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura. Brasília, EMBRAPA, 1993.

SANTOS, Carlos Antonio Costa dos; BRITO, José Ivaldo Barbosa de. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SCHÄR, Christoph et al. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. **Nature**, v. 427, n. 6972, p. 332-336, 2004.

SELVEY, Linda A. et al. The impact of climate-related extreme events on public health workforce and infrastructure—how can we be better prepared?. **Australian and New Zealand journal of public health**, v. 38, n. 3, p. 208-210, 2014.

Sena, J.P. DE O.; Lucena, D.B. Identificação de tendência da precipitação na Microrregião do cariri paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1400-1416, 2013.

SILVA, Gildarte Barbosa; AZEVEDO, PV de. Índices de tendências de mudanças climáticas no Estado da Bahia. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 3, 2008.

Silva, A.M., Costa, D.L.C.R., Lins, C.J.C. Precipitações no Nordeste Brasileiro: tendências de variação e possíveis implicações na agricultura. **Anais... Semana do Meio Ambiente**, Recife, 2008.

Smith, Eric A., et al. "International global precipitation measurement (GPM) program and mission: An overview." *Measuring precipitation from space. Springer Netherlands*, 611-653, 2007.

Solomon, S.; QIN, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (E.D). **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: Cambridge University, p.996, 2007.

Souza, W. M; Azevedo, P. V. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 143-159. 2012.

SUN, Liqiang et al. Climate variability and corn yields in semiarid Ceará, Brazil. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 46, n. 2, p. 226-240, 2007.

TRAMBLAY, Yves et al. Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco. **Global and Planetary Change**, v. 82, p. 104-114, 2012.

TREWIN, Blair. A daily homogenized temperature data set for Australia. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 6, p. 1510-1529, 2013.

Todd, B.D.; Scott, D.E.; Pechmann, J.H.K.; Gibons, J.W. Climate change correlates with rapid delays and advancements in reproductive timing in an amphibian community. **Proceedings of The Royal Society**, p.2191-2197, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 150 p. Relatório técnico, 2002.

VAN DER SCHRIER, G.; VAN ULDEN, A.; VAN OLDENBORGH, G. J. The construction of a Central Netherlands temperature. **Climate of the Past**, v. 7, n. 2, p. 527, 2011.

VINCENT, Lucie A. et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. **Journal of climate**, v. 18, n. 23, p. 5011-5023, 2005.

WANG, Lei et al. Changes in climate extremes and catastrophic events in the mongolian plateau from 1951 to 2012. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 55, n. 5, p. 1169-1182, 2016.

WILLIAMS, Claude N.; MENNE, Matthew J.; THORNE, Peter W. Benchmarking the performance of pairwise homogenization of surface temperatures in the United States. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D5, 2012.

WINKLER, P. Revision and necessary correction of the long-term temperature series of Hohenpeissenberg, 1781–2006. **Theoretical and applied climatology**, v. 98, n. 3-4, p. 259-268, 2009.

YILMAZ, A. G.; HOSSAIN, I.; PERERA, B. J. C. Effect of climate change and variability on extreme rainfall intensity-frequency-duration relationships: a case study of Melbourne. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 10, p. 4065, 2014.

OYAMA, Marcos Daisuke; NOBRE, Carlos Afonso. Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: A GCM simulation study. **Journal of Climate**, v. 17, n. 16, p. 3203-3213, 2004.

ZHAI, P. M.; PAN, X. H. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century. **Acta Geographica Sinica**, v. 58, n. S1, p. 1-10, 2003.

Zhang, X., Yang, F. RClimDex. User Guide. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22p. 2004.

ZHANG, Xuebin et al. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 110, n. D22, 2005.

ZHANG, Ying et al. Response of groundwater to climate change under extreme climate conditions in North China Plain. **Journal of Earth Science**, v. 25, n. 3, p. 612-618, 2014.

Atividades Desenvolvidas no Período

Artigos Publicados

Silva Junior, C.H.L.; Almeida, C.T.; Santos, J.R.N.; Anderson, L.O.; Aragão, L.E.O.C.; Silva, F.B. Spatiotemporal Rainfall Trends in the Brazilian Legal Amazon Between the Years 1998 and 2015. **Water Resources Management and Governance**, 2018.

NETO, W.R.N.; PEREIRA, D.C.A.; SANTOS, J.R.N.; MONTEIRO, A.S.; VILLIS, P.C.M.; FILLHO, V.E.M. Análise da potabilidade das águas dos poços rasos escavados da comunidade do Taim em São Luís - Maranhão. **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (SÃO PAULO)**, v. 31, p. 272, 2017.

FEITOSA, F.E.C.S; BELO, R.C.R; SANTOS, J.R.N.; ARAUJO, M.L.S.; SANTOS, J.S.; BRITO, F.S. Influence of Time Changes and Climate Variability on Photovoltaic Energy Production in the State of Maranhão. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 10, p. 1959-1973, 2017.

Artigos Submetidos

Santos, J.R.N.; Araujo, M.L.S.; Silva Junior, C.H.L.; Santos, J.S.; Almeida, J.L.; Lima, T.V.; Silva, F.B. Tendências de extremos climáticos na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2018.

Araujo, M.L.S.; Bolfe, E.; Santos, J.R.N.; Silva, F.B.; Santos, J.S. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). **Land Use Policy**, 2018.

Silva, L.; Oliveira, L.; Silva, F.; Santos, J.; Araújo, M.; Miranda, R.; Santos, D.; Holanda, R.; SANTOS, J. Correlation between Socioeconomic and Climatic Variables and Hospitalizations for Mycoses: A Spatio-Temporal Dynamic Study in a Low Income State in Brazil. **Clinical Microbiology and Infection**, 2018.

ANEXO: Normas para submissão na Revista

Regulamento para apresentação de contribuições

1. Objetivo

O presente regulamento objetiva uniformizar a apresentação das contribuições a serem encaminhadas para publicação na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.

2. Formas de contribuição

2.1. As formas de contribuição são:

- Artigo Técnico
- Nota Técnica
- Revisão da Literatura
- Discussão de Nota Técnica, Artigo Técnico ou Revisão da Literatura

2.2. Artigo Técnico é uma exposição completa e original, totalmente documentada e interpretada, de um trabalho de relevância.

2.3. Nota Técnica é um trabalho sumário podendo corresponder a:

- artigo com resultados ainda parciais
- considerações sobre aspectos pouco abrangentes da área
- desenvolvimento de considerações técnicas relativas a algum aspecto da Engenharia Sanitária e Ambiental
- alguma outra abordagem sumária pertinente, a juízo dos Editores.

2.4. Revisão da Literatura corresponde a um artigo, no qual é levantado o estado da arte de algum tema relevante e inovador, na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, cuja abordagem deve ser suficientemente crítica e capaz de identificar avanços, lacunas e desafios científicos, à luz da literatura nacional e internacional. Trabalhos de revisão sistemática e meta-análise podem ser incluídos nessa categoria de artigo.

2.5. Discussão é uma avaliação crítica ou ampliação do conteúdo de uma Nota Técnica, Artigo Técnico ou Revisão da Literatura publicado na Revista. As discussões serão publicadas, sempre que possível, conjuntamente com a resposta do(s) autor(es). A Revista tem como linha editorial o incentivo à publicação de artigos de discussão.

2.6. Não serão aceitos relatórios, traduções e nem artigos já publicados ou submetidos à publicação em outros veículos, ou que impliquem em promoção comercial de determinada marca, produto ou empresa.

3. Encaminhamento das contribuições

3.1. A inscrição das contribuições será feita pelo sistema da SCielo, através do link: <http://submission.scielo.br/index.php/esa/index>. Não serão aceitas inscrições de artigos por fax, e-mail ou correio.

3.2. O primeiro passo para o acesso ao sistema é o Cadastro, bastando clicar em “Cadastrar-se” no link no canto superior direito. A partir daí, clicar em “Engenharia Sanitária e Ambiental”, que fará a vinculação do cadastro junto à Revista.

3.3. Feito isso, o próprio sistema mostrará, passo a passo, como submeter a sua contribuição.

3.4. Realizada a submissão, o autor receberá um e-mail acusando o recebimento da mesma. E a partir do código dado pelo próprio sistema que o autor poderá acompanhar o processo de avaliação do seu trabalho.

3.5. A Revista Engenharia Sanitária e Ambiental cobra taxa de submissão no valor de: R\$ 100,00.

A taxa destina-se a não sócios da ABES. Caso o autor principal seja sócio, enviar e-mail para esa@abesdn.org.br, informando número de matrícula ABES para isentar-se da taxa. Observação: A taxa de submissão não será restituída caso o manuscrito seja recusado, e o pagamento da taxa não garante o aceite do artigo, que passará normalmente pelo processo de avaliação. Associe-se à ABES: <http://socio.abes-dn.org.br/>

3.6. Qualquer dúvida, favor enviar e-mail para esa@abes-dn.org.br.

4. Formato das contribuições

4.1. As contribuições devem ser preparadas pelos autores no formato “.doc” aberto para edição usando o recurso de numeração de linhas do Microsoft Word (Arquivo – Configurar página – Layout – Números de linha – Numerar linhas – Contínua – OK – OK).

4.2. As contribuições devem ser enviadas no formato “.doc” pelo Sistema de Envio de Artigos. Todos os demais formatos de arquivos, inclusive os compactados, serão bloqueados.

4.3. Após o processo avaliativo, as contribuições aprovadas para publicação deverão sofrer correções e ser enviadas em sua versão final para diagramação.

4.3. Os trabalhos submetidos devem estar de acordo com as normas da ABNT/NBR 14724:2011– Trabalhos Acadêmicos

4.4. Poderão ser incluídos figuras, gráficos e ilustrações, desde que o tamanho do arquivo não ultrapasse 10MB.

4.5. O texto integral do artigo não poderá exceder 20 (vinte) páginas para Artigo Técnico e Revisão da Literatura e 8 (oito) páginas para Nota Técnica e Discussão, atendendo ao formato estabelecido nos itens a seguir.

4.6. O Artigo Técnico e a Nota Técnica deverão seguir a seguinte sequência de apresentação:

- Título do artigo em português (até 200 caracteres) e em inglês
- Resumo em português e em inglês, de 100 a 250 palavras (conforme NBR 14724).
- Palavras-chave em português e em inglês
- Título resumido do artigo em português (até 60 caracteres) para o cabeçalho
- Texto do artigo (sem divisão em colunas)
- Referências
- Anexos (se houver)

i. Agradecimentos, se houver, deverão ser incluídos somente na versão final do artigo aprovado para publicação.

ii. O Nome do(s) autor(es), Currículo resumido(s) do(s) autor(es), endereço para correspondência (profissional) devem constar somente nos metadados do Sistema Scielo, preenchidos no momento de cadastro. **IMPORTANTE:** não colocar estas informações no envio da contribuição original.

4.7. O texto deverá ser formatado para um tamanho de página A-4, margens 3 cm para esquerda e superior, e 2 cm inferior e direita (conforme NBR 14724). As páginas deverão ser devidamente numeradas. Deve ser empregada fonte

Times New Roman, corpo 12, exceto no título que deverá ter corpo 16. O espaçamento entre as linhas deverá ser 1,5.

4.8. O corpo do artigo deve ser organizado segundo um encadeamento lógico, contendo subtítulos “Introdução”, “Metodologia”, “Resultados”, “Discussão”, (ou “Resultados e Discussão”), “Conclusões” e “Referências”. Na redação não deve ser empregada a primeira pessoa e o estilo a ser adotado deve ser objetivo e sóbrio, compatível com o recomendável para um texto científico.

4.10. Deverá ser evitada a subdivisão do texto em um grande número de subtítulos ou itens, admitindo-se um máximo de cabeçalhos de terceira ordem.

4.11. O conteúdo do trabalho deve ser submetido a criteriosa revisão ortográfica.

4.12. Termos grafados em itálico ou negrito poderão ser utilizados no corpo do artigo.

4.13. As discussões deverão ser submetidas no máximo até 6 (seis) meses após a publicação do Artigo, Nota Técnica ou Revisão da Literatura.

4.14. Somente serão aceitos trabalhos em português Brasil.

5. Figuras e ilustrações

As figuras e ilustrações devem observar os seguintes critérios:

5.1. Os arquivos das figuras e ilustrações, sem bordas ao redor, devem ser inseridas no arquivo do texto, de maneira que possam ser editados por meio do MS Word for Windows.

5.2. Os textos e legendas não devem ficar muito pequenos ou muito grandes em relação à figura. 5.3. As figuras devem ser intercaladas nos locais apropriados e apresentar um título.

5.4. A inclusão de fotografias não é aconselhável; porém, se os autores julgarem que são importantes para esclarecer aspectos relevantes do artigo, deverão ser inseridas em resolução mínima de 300 dpi.

5.5. Todos os gráficos, desenhos, figuras e fotografias devem ser denominados “Figura”, e numerados sequencialmente em algarismos arábicos. Toda figura deve ser mencionada no texto.

5.6 O número e título da Figura devem ser colocados centralizados, imediatamente abaixo da figura. O título deve ser claro e autoexplicativo.

5.7. As páginas internas da Revista são impressas em uma só cor, não sendo permitida, portanto, a adoção de cores na diferenciação das variáveis nos gráficos e diagramas.

6. Quadros e tabelas

Os quadros e tabelas deverão atender os seguintes critérios:

6.1. Os quadros e tabelas devem ser claros e objetivos, sem linhas de grade. As unidades correspondentes a todos os termos usados devem ser claramente identificadas.

6.2. Todos os quadros ou tabelas devem ser denominados “Quadro” ou “Tabela”, numerados sequencialmente em algarismos arábicos e mencionados no texto.

6.3. Cada quadro e tabela, além da numeração, deve possuir um título. O número e o título devem ser colocados centralizados, imediatamente acima do quadro ou tabela. O título deve ser claro e autoexplicativo.

6.4. Um quadro e uma tabela não poderão ser maiores do que uma folha A-4.

6.5. Quadros e tabelas devem aparecer, preferencialmente, intercalados nos locais apropriados do texto, a critério do autor.

6.6. As páginas internas da Revista são impressas em uma só cor, não sendo permitida, portanto, a adoção de cores na diferenciação das variáveis nos quadros e tabelas.

7. Equações

As equações podem ser editadas pela equipe responsável pela diagramação. Portanto, os seguintes critérios devem ser satisfeitos:

7.1. As equações devem ser claras e legíveis, e escritas com a mesma fonte do corpo do texto, sem a utilização de itálico ou negrito.

7.2. As equações e fórmulas devem ser denominadas “Equação” e numeradas sequencialmente em algarismos arábicos. A numeração à direita da equação deve ser entre parênteses. Todas as equações devem ser mencionadas no texto.

7.3. Todos os símbolos usados devem ser definidos imediatamente após a equação (caso não tenham sido definidos anteriormente), incluindo as suas unidades ou dimensões.

8. Unidades

8.1. Todas as unidades mencionadas no texto, tabelas, quadros e figuras devem ser expressas de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI).

8.2. Deve-se evitar o uso da barra de fração na expressão das unidades. Exemplo: Ao invés de mg/L ou m³/s, deve-se utilizar mg.L⁻¹ e m³.s⁻¹.

9. Referências

As referências citadas no texto e listadas ao final do artigo deverão estar de acordo com a norma NBR 6023/2002. A título de esclarecimento são apresentadas algumas diretrizes:

9.1. As referências citadas no texto devem conter o sobrenome do(s) autor(es), em caixa alta, seguidos pelo ano da publicação, observando-se os seguintes critérios:

9.1.1. Quando houver mais de um trabalho, as citações devem ser em ordem alfabética.

9.1.2. Trabalhos com mais de três autores devem ser referenciados ao primeiro autor, seguido por “et al.” (em itálico e com ponto).

9.1.3. Quando houver mais de uma publicação do mesmo autor, no mesmo ano, o ano da publicação deve ser seguido dos componentes “a, b, c...”, em ordem alfabética. Exemplos:.... estudos efetuados por Silva (1994a, 1994b) e por Machado *et al.* (1995a) revelaram...; ... estudos recentes (SOUZA,1993; SILVA, WILSON e OLIVEIRA, 1994; MACHADO *et al.*, 1995b) revelaram...

9.2. Ao final do trabalho deverá ser apresentada uma lista de todas as referências citadas no texto, de acordo com os seguintes critérios, entre outros:

9.2.1. As referências devem ser relacionadas em ordem alfabética, de acordo com o sobrenome do primeiro autor.

9.2.2. Devem ser referenciados todos os autores (independentemente do número de autores) pelo sobrenome seguido pelas iniciais de cada autor,

separados por vírgulas. Exemplo: SMITH, P.J.; WATSON, L.R.M.; GREEN, C.M...

9.2.3. O título do periódico referenciado deverá ser apresentado em itálico. As indicações de volume, número e página deverão ser identificados pela letra inicial (“v”, “n”ou “p”), seguida de ponto. Não devem ser utilizadas aspas antes e depois do título do trabalho.

Exemplo: JEWELL, W.J.; NELSON, Y.M.; WILSON, M.S. Methanotrophic bacteria for nutrient removal from wastewater: attached film systems. *Water Environment Research*, v. 64, n. 6, 1992, p. 756-65.

9.2.4. O título do livro deve ser apresentado em itálico. Devem ser incluídos a edição, o local, a editora, o número de páginas e a data.

Exemplo: FRANÇA, J.L.; VASCONCELOS A.C. *Manual para Normalização de Publicações Técnico-Científicas*. 8 ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007, 255 p.

9.2.5. Em capítulos de livros e trabalhos de congressos, a obra principal (título do livro ou denominação do congresso) é referenciada em itálico e vem precedida da expressão “In”.

Exemplos: Anais - CAIXINHAS, R.D. Avaliação do impacto ambiental de empreendimentos hidro-agrícolas. In: *Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 5 Anais...* Lisboa: APRH, 1992, p. 203-11.

Capítulo de Livro - KUKOR, J.J.; OLSEN, R.H.; IVES, K. Diversity of toluene degradation following exposure to BTEX in situ. In: KAMELY, D.; CHAKABARTY, A.; OLSEN, R.H. (Eds.) *Biotechnology and Biodegradation*. Portfolio Publishing Company, The Woodlands, E.U.A.,1989, p. 405-421.

10. Julgamento

10.1. Após avaliação prévia realizada pelos Editores da Revista, se considerado pertinente, cópias da contribuição, sem identificação dos autores, serão enviadas a pelo menos dois avaliadores, especialistas da área, indicados pelos Editores.

10.2. Em qualquer etapa de julgamento do trabalho, serão levados em consideração a obediência às disposições regulamentares, o relacionamento do tema à Engenharia Sanitária e Ambiental, adequação do título, do resumo

e das palavras-chave, existência de encadeamento lógico, ineditismo e qualidade da contribuição.

10.3. Na análise dos editores e dos avaliadores a contribuição será classificada segundo uma das seguintes categorias:

- Aceito
- Revisões requeridas
- Rejeitar

11. Comunicação aos autores

O autor principal será comunicado do resultado da avaliação e no caso de artigos recusados, receberão as devidas justificativas.