

UFMG

UFMG



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

TESE DE DOUTORADO

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COLORADO - EUA**

FABIANE REGINA DA CUNHA DANTAS ARAÚJO

Campina Grande – Paraíba

UFMG

UFMG

UFMG/BIBLIOTECA/BC

FABIANE REGINA DA CUNHA DANTAS ARAÚJO

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COLORADO - EUA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de doutor.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Subárea: Climatologia

Orientadores: Prof. Carlos Antônio Costa dos Santos

Prof. Enio Pereira de Souza

Campina Grande – Paraíba


Junho de 2012

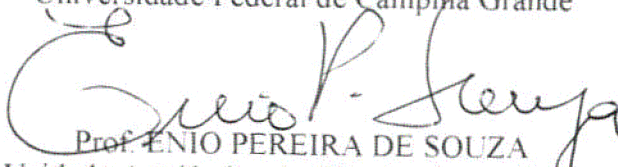
FABIANE REGINA DA CUNHA DANTAS ARAÚJO


ANÁLISE DE ÍNDICES DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COLORADO - EUA


TESE APROVADA EM 22/06/2012

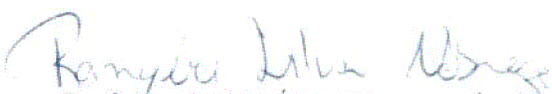
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. ENIO PEREIRA DE SOUZA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. RANYERE SILVA NÓBREGA
Departamento de Ciências Geográficas
Universidade Federal de Pernambuco


Prof. Dr. SAULO TASSO ARAÚJO DA SILVA
Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas
Universidade Federal Rural do Semiárido

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus o grande responsável por mais essa vitória alcançada. A todos meus familiares, em especial, Francisco C. Araújo do Nascimento (esposo), Maria do Socorro (mãe), Fernando Dantas (Pai) e Fernando (irmão) que me incentivaram a perseverar e acreditar sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me proporcionou a transformação de um sonho em realidade.

A meu esposo Frank pelo amor, paciência e ajuda indispensável na realização deste trabalho.

Aos meus queridos pais (Socorro e Fernando) e irmão (Nando) pelo apoio, incentivo e por estarem comigo em todos os momentos da minha vida.

A todos os meus familiares e amigos que me incentivaram a seguir em frente.

A meus orientadores Carlos Antônio Costa dos Santos e Enio Pereira de Souza, pela dedicação dispensada e motivação durante estes quatro anos de curso.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior) pela bolsa de estudo oferecida durante o curso.

A todos os professores que contribuíram com o meu aprendizado, em especial, a Célia Campos Braga.

A coordenação da Pós Graduação em Meteorologia administrada pelo professor Enio Pereira de Souza.

A secretaria da Pós Graduação em Meteorologia na pessoa de Divanete Rocha da Cruz pela atenção dada desde meu ingresso no mestrado.

À Biblioteca Central da UFCG pela disponibilização de material bibliográfico.

As amigas, Maria José, Valéria, Soetânia e demais amigos pela amizade e companheirismo. Contem sempre comigo!

A meus companheiros de trabalho do Departamento de Ciências Exatas e Naturais da UFERSA, em especial Lázaro e Vânia.

A todos, muito obrigada...

“Os covardes nunca tentaram, os fracos ficaram pelo caminho, só os fortes atingem o objetivo final”.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	iv
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Área Geográfica e Climatologia da BHRC	20
4.2 Material	22
4.3 Metodologia	23
5. RESULTADOS	31
5.1 Análises dos índices de temperatura para o Baixo e Alto Rio Colorado	31
5.2 Análises dos índices de precipitação para o Baixo e Alto Rio Colorado	43
5.3 Correlações entre os índices de temperatura para o Baixo e Alto Rio Colorado e índices de grande escala climáticos e oceânicos	55
5.4. Correlações entre os índices de precipitação para o Baixo e Alto Rio Colorado e índices de grande escala climáticos e oceânicos	65
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	73
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
8. ANEXOS	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Colorado.	21
FIGURA 2	Temperatura e precipitação média anual para o período de 1971 to 2000.	22
FIGURA 3	Áreas do Oceano Pacífico Equatorial, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4.	29
FIGURA 4	Distribuição espacial (figuras) e temporal (gráficos) das tendências dos índices extremos de temperatura na bacia hidrográfica do Rio Colorado, sendo os gráficos da esquerda correspondendo ao Baixo e os da direita ao Alto Rio Colorado.	39
FIGURA 5	Distribuição espacial (figuras) e temporal (gráficos) das tendências dos índices extremos de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Colorado, sendo os gráficos da esquerda correspondendo ao Baixo e os da direita ao Alto Rio Colorado.	50
FIGURA 6	Variabilidade temporal dos índices extremos de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Baixo Rio Colorado.	58
FIGURA 7	Variabilidade temporal dos índices extremos de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Alto Rio Colorado.	63
FIGURA 8	Variabilidade temporal dos índices extremos de precipitação e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Baixo Rio Colorado.	67
FIGURA 9	Variabilidade temporal dos índices extremos de precipitação e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Alto Rio Colorado.	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Índices extremos de temperatura para região do Baixo Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).	33
TABELA 2	Índices extremos de temperatura para região do Alto Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).	37
TABELA 3	Índices extremos de precipitação para região do Baixo Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).	45
TABELA 4	Índices extremos de precipitação para região do Alto Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).	48
TABELA 5	Porcentagem das estações mostrando tendências significativas e não significativas aos níveis de 5 e 10% para temperatura e precipitação na região do Baixo Rio Colorado, EUA.	54
TABELA 6	Porcentagem das estações mostrando tendências significativas e não significativas aos níveis de 5 e 10% para temperatura e precipitação na região do Alto Rio Colorado, EUA.	55
TABELA 7	Correlações entre os índices extremos de temperatura e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Baixo Rio Colorado.	56

TABELA 8	Correlações entre os índices extremos de temperatura e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Alto Rio Colorado.	61
TABELA 9	Correlações entre os índices extremos de chuva e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Baixo Rio Colorado.	66
TABELA 10	Correlações entre os índices extremos de chuva e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Alto Rio Colorado.	69
TABELA 11	Coordenadas Geográficas, altitudes e período de aquisição dos dados utilizados das 81 estações do Baixo Rio Colorado.	85
TABELA 12	Coordenadas Geográficas, altitudes e período de aquisição dos dados utilizados das 48 estações do Alto Rio Colorado.	87

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

AMO - Oscilação Multidecadal do Atlântico

ATD - Amplitude térmica diurna

BHRC - Bacia Hidrográfica do Rio Colorado

CCI / CLIVAR – International Research Programme on Climate Variability and Predictability

ETCCDMI - Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Índices (Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas)

DCS - Dias consecutivos secos

DCC - Dias consecutivos chuvosos

DF - Dias frios

DG - Dias gelados

DV - Dias de Verão

ENSO - El-Niño Oscilação Sul

EUA – Estados Unidos da América

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

ISID - Índice simples de intensidade diária

IVDN – Índice de vegetação por diferença normalizada

MCG - Modelos de Circulação Geral

NCDC - National Climate Data Centre

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

NT - Noites tropicais

OMM - Organização Mundial de Meteorologia

PDO - Oscilação Decadal do Pacífico

PNA - Pacífico América do Norte

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PRCPTOT - Precipitação total anual

R10mm - Número de dias com precipitação intensa

Rx1day - Máximo de precipitação em um dia

Rx5day - Máximo de precipitação em 5 dias consecutivos

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

TXn - Mínimo da temperatura máxima

TXx - Máximo da temperatura máxima

TNn - Mínimo da temperatura mínima

TNx - Máximo da temperatura mínima

ZCPS - Zona de Convergência do Pacífico Sul

SÍMBOLOS

CH₄ - Metano

CO₂ - Dióxido de carbono

H_2O - Óxido de hidrogênio

I' - Intensidade da precipitação

I - Número de dias em j

Km^2 - Quilômetro quadrado

mm – Milímetro

N - Número de dias chuvosos

N_2O - Óxido nitroso

P - Precipitação total anual e sazonal

R_{90p} - Precipitação extrema superior ao percentil 90

P_{95} - Percentil 95

RR_{ij} - Total diário de precipitação em um dia i e em um período j

RR_{kj} - Quantidade diária de precipitação para o intervalo de cinco dias terminando em k , período j

RR_{wj} - Quantidade diária de precipitação em dias chuvosos, $w(RR \geq 1mm)$ em um período j

Tn_{ij} - Temperatura mínima diária em um dia i e em um período j

Tn_{kj} - Temperatura mínima diária em um mês k , período j .

Tn_{ij} - Temperatura mínima diária em um dia i e em um período j

Tn_{kj} - Temperatura mínima diária em um mês k , período j .

Tx_{ij} - Temperatura máxima diária em um dia i e em um período j

Tx_{kj} - Temperatura máxima diária em um mês k , período J

W - Número de dias chuvosos em j

Σ - Somatório

p - Correlação de Pearson

$^{\circ}\text{C}$ - Graus Celsius

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a tendência dos índices extremos de temperatura do ar e precipitação anuais na Bacia Hidrográfica do Rio Colorado (BHRC) situada no sudoeste dos EUA no período de 1970 a 2009, bem como, correlacioná-los com anomalias de TSM nos Oceanos Atlântico e Pacífico e com índices de teleconexão. Os dados de temperatura do ar e precipitação pluvial foram obtidos de estações meteorológicas distribuídas ao longo dos estados americanos que compõem a BHRC. Para analisar o comportamento das anomalias anuais de TSM nos oceanos e suas influências sobre os índices de extremos climáticos anuais na região estudada, utilizou-se o software RClimdex na obtenção das tendências dos extremos climáticos e o método de Pearson nas correlações entre as anomalias anuais de TSM e os índices de extremos climáticos obtidos. Os resultados mostram que o índice DV contribuiu para dias mais quentes em praticamente toda região. O índice NT predominou na região do Baixo Colorado. Os dias frios reduziram em toda região da bacia. Já os valores mínimos das temperaturas máxima e mínima aumentaram e os valores máximos das temperaturas máxima e mínima não indicaram variabilidade. Em relação à precipitação, observou-se que, os extremos na região do Baixo Colorado apresentaram tendências, em sua maior parte negativas, ao contrário do Alto Rio Colorado. Como se evidenciou poucas tendências estatisticamente significativas, os extremos de precipitação não apresentaram padrões bem definidos na BHRC. As correlações dos índices de temperatura do ar com as anomalias de TSM e índices de teleconexão indicaram maior contribuição da PDO, da AMO e do PNA sobre as duas regiões analisadas na bacia do Rio Colorado. As anomalias positivas de TSM contribuíram com aumento das temperaturas na região. Em relação a precipitação, constatou-se um melhor relacionamento entre seus índices extremos com a PDO e o PNA.

Palavras-Chaves: BHRC, temperatura, precipitação, anomalias.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the trend of the extreme temperature and annual precipitation indices in the Colorado River Basin (CRB) region located in the southwestern U.S. for the period from 1970 to 2009, as well as correlate them with SST anomalies in Atlantic and Pacific Oceans and teleconnection indices. The data of air temperature and precipitation were obtained from meteorological stations throughout the states that comprise the CRB. To analyze the trends in annual SST anomalies in the oceans and their influence on the annual indices of climate extremes in the region studied, the RCLimdex software has been used to obtain the trends of climatic extremes and to obtain the correlations between annual SST anomalies and indices of climate extremes obtained has been applied the method of Pearson. The results show that the index DV contributed to warmer weather in almost every region. The index NT predominated in the Lower Colorado. Cold days decreased in every region of the basin. Since the minimum values of maximum and minimum temperatures increased and the maximum values of maximum and minimum temperatures did not indicate variability. For precipitation, it was observed that the extremes in the Lower Colorado present trends in its most negative, unlike Higher Colorado. As it became clear a few statistically significant trends, the extreme precipitation patterns were not well defined in the CRB. The correlations of the indices of temperature with SST anomalies indicated greater contribution of the PDO, the AMO and the PNA on the two regions in the Colorado River basin. The positive SST anomalies contributed to rising temperatures in the region. For precipitation, we found a better relationship between their extreme rates with the PDO and the PNA.

Keywords: CRB, temperature, precipitation, anomalies.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global vem sendo alvo de muitas discussões em todo planeta. Esse fenômeno tem provocado alterações no clima terrestre causando uma série de mudanças no meio ambiente. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) divulgou que grande parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos são decorrentes de atividades antrópicas por meio de emissão de gases do efeito estufa (IPCC, 2007).

Alguns gases como o vapor d'água (H_2O), o metano (CH_4), o dióxido de carbono (CO_2) e o óxido nitroso (N_2O) são gases de efeito estufa. Embora seja visto, por muitos, como um evento prejudicial, o efeito estufa é um fenômeno responsável pelo equilíbrio térmico da superfície terrestre. O aumento da concentração de CO_2 produzido pela queima de combustíveis fósseis, bem como a emissão de outros gases oriundos das queimadas em florestas, pastagens e áreas agrícolas vem contribuindo com o aquecimento global.

A mudança climática pode acarretar outros impactos ambientais, além do aumento da temperatura, como desertificação, extinção de espécies, aumento no nível dos oceanos, intensificação de tempestades e furacões. Estes impactos podem gerar uma série de problemas, dentre eles econômicos, sociais e ambientais.

Do ponto de vista regional, os fatores que podem modificar o clima são o desmatamento e a degradação ambiental, contribuindo assim para alterações no sistema global. Já do ponto de vista local, a temperatura do ar e a precipitação pluvial são elementos meteorológicos que podem ser empregados na detecção de mudanças climáticas (SANTOS, 2006).

Em regiões semiáridas, a exemplo do Vale do Rio Colorado, nos Estados Unidos, dentre outras, a precipitação é um fator de extrema importância no que diz respeito às condições do clima local.

A partir das tendências de precipitação e temperatura do ar para um determinado local pode-se identificar possíveis mudanças no clima fazendo uma análise dos chamados “Índices de Detecção de Mudanças Climáticas” criados pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) (ZHANG; YANG, 2004). Um dos principais objetivos da criação destes índices é a utilização em estudos de monitoramento e detecção de alterações climáticas auxiliados por ferramentas, como os Modelos de Circulação Geral (MCGs) capazes de projetar o clima de diversas regiões do globo. Nas cidades áridas do norte do México, por exemplo, alguns modelos mostraram precipitações mais elevadas do que outros que apontaram declínio na precipitação anual decorrentes do aquecimento global (O'BRIEN; LIVERMAN, 1992).

Muitas pesquisas têm investigado questões relacionadas às mudanças ocorridas no clima. Utilizando o modelo RegCM3, Dufek (2008) analisou os padrões espaciais de tendência de alguns índices climáticos anuais e sazonais de temperatura e precipitação na América do Sul. Verificando tendências de índices de extremos de temperatura e precipitação sobre a Austrália, Alexander e Arblaster (2009) utilizaram modelos climáticos mostrando em um dos resultados um aumento significativo na temperatura e períodos de estiagem intercalados.

Santos et al. (2009) utilizaram diferentes índices de detecção de mudanças climáticas a fim de obter novas informações a cerca das tendências na precipitação total e eventos extremos de precipitação sobre o Estado do Ceará. Rusticucci et al. (2010) examinaram oito modelos globais do IPCC acoplados com os modelos climáticos usados no WCRP CMIP3 Multimodel Dataset, com o objetivo de simular índices anuais de temperaturas extremas e eventos climáticos de precipitação na América do Sul.

Em síntese, muitos são os fatores mencionados pelos cientistas de todo mundo que provocam mudanças no clima e que conseqüentemente vêm trazendo problemas ao longo dos tempos. Isto vem ocorrendo desde o período da Revolução Industrial, no século XVIII. O que era uma ameaça em pequena escala, agora vem tomando proporções bem maiores com o passar dos tempos devido o avanço dos setores industriais e outros.

Nesta pesquisa, foram abordados índices de extremos climáticos dependentes da precipitação e da temperatura na região da bacia hidrográfica do Rio Colorado (EUA) a qual é de extrema importância para a economia de grande parte da população norte americana que depende direta ou indiretamente dela, como é o caso dos estados do Novo México, Colorado, Utah, Arizona, Nevada e Califórnia, regiões estas que foram alvo neste estudo devido o fato de que a principal fonte de abastecimento de água para uso doméstico, industrial, comercial e irrigação provem do Rio Colorado.

Segundo Barnett e Pierce (2009), o Rio Colorado fornece água para 27 milhões de pessoas e é responsável pela irrigação de mais de 3 milhões de hectares de terras agrícolas, porém os autores argumentam ainda que alguns modelos climáticos projetam que até 2050 o sudoeste dos EUA sofrerá algumas mudanças climáticas que poderão causar transtornos sobre a região, como aumento da temperatura.

Além dos índices de extremos climáticos é importante investigar a influência das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e teleconexões sobre a região de estudo. As principais anomalias analisadas nesta pesquisa foram a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), o Pacífico América do Norte (PNA) e os eventos de Niños. Estas anomalias são de fundamental importância no que diz respeito ao regimes climáticos da região.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar as tendências dos índices de extremos climáticos anuais dependentes de temperatura e precipitação na região da Bacia Hidrográfica do Rio Colorado situada no sudoeste dos EUA e correlacioná-los com anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Atlântico e Pacífico.

2.2. Objetivos Específicos

- Obter a distribuição espacial e temporal dos índices de extremos climáticos na Bacia Hidrográfica do Rio Colorado;
- Aplicar o teste estatístico de Fisher para analisar as tendências dos índices extremos de temperatura e precipitação;
- Investigar os possíveis impactos da variabilidade climática recente sobre a área de estudo;
- Correlacionar os índices de extremos climáticos com a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) e do padrão Pacífico América do Norte (PNA), assim como, com os padrões de Niño 1+2, 3, 3.4 e 4.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tema “Mudanças Climáticas e Aquecimento Global” veio à tona na década de 1980, a partir de estudos que indicavam um aumento na temperatura terrestre associado ao aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera. Porém, a fim de obter resultados mais confiáveis, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), em 1988, órgão de grande autoridade nas questões climáticas. O IPCC, em 2001, define mudanças climáticas como sendo mudanças temporais do clima devido a processos naturais ou causadas pela ação antrópica (SANTOS, 2006).

Diferentes definições são encontradas na literatura sobre mudanças climáticas, porém essa diferenciação pode acarretar dúvidas quanto ao fator causador dessas mudanças, pois alguns estudiosos afirmam que apenas fatores antrópicos provocam mudanças no clima, já outros defendem que o efeito humano associado ou não aos fatores climáticos naturais podem gerar também essas alterações. Existem também aqueles que mencionam que as mudanças no clima ocorrem apenas por fatores naturais. A partir destes questionamentos e com o intuito de facilitar o entendimento sobre mudanças climáticas, Tucci (2002) adotou duas terminologias para efeito de análise: o

termo *Variabilidade Climática* para indicar as variações de clima em função dos agentes naturais do globo terrestre e suas interações e o termo *Modificações Climáticas* referente às variações climáticas devido às atividades humanas.

Diversas discussões a cerca das mudanças climáticas, tendo como causa o aquecimento global, têm sido realizadas em todo mundo, nas últimas décadas. Estudos mostram que as atividades humanas geradoras do aumento de gases do efeito estufa, como, por exemplo, a queima de combustíveis fósseis, tem contribuído com o aquecimento global. Em 1997, como consequência de uma série de eventos em que foram discutidas questões relacionadas à preservação do meio ambiente, dentre elas, a *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*, foi estabelecido o Protocolo de Kyoto no Japão com o objetivo de estimular os países envolvidos a reduzirem a emissão de gases causadores do efeito estufa (BAPTISTA et al., 2009).

Os efeitos das mudanças climáticas vêm se tornando cada vez mais evidentes. Segundo cientistas do IPCC (2000) nos últimos cem anos, a temperatura do planeta teve um aumento de 0,7°C. Alguns eventos extremos, como secas, furacões, tempestades tropicais, ondas de calor e de frio, têm afetado diferentes partes do planeta causando grandes catástrofes, como por exemplo, o furacão Catarina no Brasil em 2004. Outros impactos como alterações na biodiversidade das espécies, aumento no nível do mar e impactos na saúde, na agricultura e na geração de energia hidrelétrica também estão sendo observados, tanto no Brasil como no restante do planeta (MARENGO, 2006).

Analisando a variabilidade do clima a curto e a longo prazo, Molion (2005) propõe que o aquecimento do planeta está relacionado ao fenômeno denominado Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e não tem ligação com efeitos antrópicos. Em seu estudo ele conclui que a variabilidade da temperatura média global pode estar

relacionada com a PDO que dura de 20 a 30 anos. Este fenômeno é bem semelhante ao El- Niño que persiste num período de 6 a 18 meses.

No que se refere a modelos climáticos, Molion (2007) questiona os modelos de simulação de clima utilizados pelo IPCC, pois afirma que os mesmos não tem representado bem as características principais do clima, como a temperatura média global, a diferença de temperatura entre os polos e o Equador, a intensidade e posicionamento das altas subtropicais e das correntes de jato. Outros processos físicos como nuvens e aerossóis, segundo o autor, também não são bem representados por esses modelos.

Soon e Baliunas (2003) também questionaram os modelos do IPCC, pois segundo eles, para se fazer uma análise mais precisa do clima é importante validar os dados a partir de uma média de temperatura em longo prazo. Assim, para o IPCC afirmar um possível aquecimento no século XX seria interessante comparar o clima dos últimos mil anos a fim de se obter informações mais precisas.

Os questionamentos sobre as mudanças climáticas vem se tornando cada vez mais frequentes, pois não existe um consenso científico estabelecido a cerca deste assunto (OLIVEIRA; VECCHIA, 2009). Sendo assim, diante de inúmeras divergências de opiniões e a fim de analisar as questões relacionadas às mudanças climáticas, a OMM criou um grupo de pesquisa que elaborou os chamados Índices de Detecção de Mudanças Climáticas dependentes de fatores naturais, como precipitação e temperatura do ar que podem provocar extremos climáticos. Diversos estudos com diferentes finalidades sobre extremos climáticos vêm sendo realizados por muitos cientistas, em todo mundo, por ser um tema que vem gerando muitas discussões a cerca de suas causas e conseqüências.

Manton et. al (2001) analisaram tendências diárias de temperatura e precipitação entre os anos de 1961 a 1998 no Sudoeste Asiático e Pacífico Sul. Seus resultados mostram que foram detectados aumentos significativos quanto ao número anual de dias e noites quentes, com reduções significativas no número anual de dias e noites frios. Com relação às tendências de chuva extremas houve uma coerência considerável em toda região.

Salinger e Griffiths (2001) verificaram tendências de temperatura diária e de chuva na Nova Zelândia. A análise foi realizada em dois períodos: de 1951-1998 para descrever as tendências mais significativas nos parâmetros de temperatura e pluviosidade, e de 1930-1998, para verificar a frequência dos extremos diários de temperaturas máximas e mínimas devido à circulação atmosférica. Os resultados mostraram que não houve evolução significativa quanto aos extremos de temperatura máxima (dias quentes). No entanto, verificou-se um aumento significativo nas temperaturas mínimas associado à diminuição na frequência de noites frias em relação ao período de 48 anos. As tendências dos extremos de precipitação analisados mostraram um padrão de resposta zonal. Evidenciou-se que o índice P_{95} indicou diminuição da precipitação com frequência de um dia no norte e leste da região de estudo e aumento no oeste. A diminuição do índice de seca, também investigado, pode indicar chuvas mais frequentes produzindo distúrbios sinóticos de oeste que ocorrem em um regime de maior circulação, onde os eventos extremos de chuva são mais predominantes.

Frich et al. (2002) elaboraram um novo conjunto de dados globais indicadores de frequência e/ou severidade dos extremos climáticos ocorridos durante a segunda metade do século XX. Este período foi escolhido por fornecer a melhor cobertura espacial das séries homogêneas diárias. Os autores optaram por dez índices de extremos climáticos

os quais foram baseados em séries de temperaturas máximas e mínimas diárias, bem como nos totais diários de precipitação. Os resultados da pesquisa mostraram que as áreas analisadas, em todo globo terrestre, tornaram-se mais quentes e úmidas durante o período estudado e que dos dez indicadores analisados em escala global, nas últimas cinco décadas, sete forneceram resultados significativos.

Ventura et al. (2002) fizeram uma análise de um conjunto histórico de dados meteorológicos coletados na estação agrometeorológica da Universidade de Bolonha (Itália) nos anos de 1952 a 1999. Tendências de temperatura e precipitação foram analisadas indicando que a temperatura média anual apresentou um aumento significativo da ordem de $0,7^{\circ}$ C durante o período estudado e que a precipitação total anual diminuiu mostrando uma tendência significativamente negativa no inverno.

Griffiths et al. (2003) analisaram dados diários de precipitação de 22 estações localizadas no Pacífico Sul entre os anos de 1961 a 2000, com intuito de avaliar índices de extremos climáticos de precipitação e sua relação com a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). Foi observado que, na região compreendida entre 180 e 155° W e ao norte da ZCPS, houve um aumento significativo dos índices extremos de precipitação ao longo do período estudado que é concomitante com o aumento da precipitação média anual nesta região.

Roy e Jr. (2004) estudaram tendências de índices de precipitação diária na Índia a partir de registros de 3838 estações, sendo que apenas 129 apresentaram séries de dados completas para o período de 1910 a 2000. Com base nestas séries foram geradas séries temporais anuais de sete diferentes índices de eventos extremos de precipitação. Os resultados mais relevantes indicaram que em todo o país os eventos extremos são mais comuns em julho, durante a estação das monções, e menos comuns nos meses de inverno.

Moberg e Jones (2005) utilizaram seis índices extremos de precipitação e quatro índices extremos de temperatura a partir das tendências analisadas no século XX calculados através de dados observacionais diários obtidos por estações situadas na Europa Central e Ocidental. Os resultados evidenciaram que houve um aumento significativo das tendências de precipitação ao longo do século XX predominante no inverno. Com relação aos períodos secos, não apresentaram aumentos significativos. No verão, os índices de precipitação apresentaram tendências pouco significantes. Já as tendências de temperatura indicaram aumento em toda região de estudo, tanto no inverno como no verão.

Qian e Lin (2005), a partir de um conjunto de dados diários de precipitação, analisaram características regionais de índices de chuva na China durante o período de 1961 a 2000. Os autores mostraram tendências negativas dos índices de intensidade de precipitação e de frequência dos dias chuvosos em três diferentes regiões da China. A tendência de precipitação anual e de precipitação no verão mostrou uma diminuição das chuvas na porção sudeste e nordeste da China. No noroeste ocorreram tendências positivas de intensidade. Já a duração de dias chuvosos e chuvas fortes contribuíram com o aumento de inundações no sudeste da China e da região de Xinjiang nas últimas duas décadas. Com o enfraquecimento do período chuvoso na região do Rio Amarelo, incluindo a parte norte da China ocorreu um aumento na frequência de dias secos nesta região.

Zhang et al. (2005) investigaram extremos climáticos de temperatura e precipitação durante os anos de 1950 a 2003 com dados obtidos de 52 estações distribuídas em 15 países do Oriente Médio. Os resultados mostraram tendências de temperatura positivas estatisticamente significativas indicando aumento de temperatura

na região. Os índices extremos de precipitação, no geral, apresentaram pouca significância estatística.

Alexander et al. (2006) analisaram índices extremos de temperatura e precipitação a partir de dados diários entre 1951 e 2003 em algumas regiões da Europa, dos Estados Unidos, do Brasil e da África. Os resultados evidenciaram alterações significativas nos extremos de temperatura associados com o aquecimento, principalmente os índices derivados da temperatura mínima diária. Os índices de precipitação não apresentaram tendências bem definidas sobre as regiões de estudo.

Klein Tank et al. (2006) estudaram mudanças nos índices de extremos climáticos baseados numa série de observações diárias de temperatura e precipitação de 116 estações meteorológicas localizadas nas regiões Central e Sul do continente Asiático. Com relação à precipitação, os resultados indicaram que a maioria dos índices regionais de extremos chuvosos apresentaram poucas alterações para o período de 1961 a 2000. Já as tendências de extremos de temperatura mínima entre os anos de 1901 a 2000 foram consistentes com as tendências em longo prazo. No entanto, as tendências de extremos de temperatura máxima são opostas às tendências observadas na primeira metade do século XX.

Santos (2006) estimou a tendência dos índices de detecção de mudanças climáticas relacionadas à precipitação pluvial diária para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba analisando suas relações com o IVDN, anomalias de temperatura e áreas de produção agrícola do Agreste, Zona da Mata e Litoral e do Sertão. Dentre os resultados obtidos constatou-se que nos dois estados houve um aumento do número de dias chuvosos, bem como no total anual de chuva, embora com menor ocorrência de eventos extremos.

Santos e Brito (2007) verificaram tendências de índices de detecção de mudanças climáticas, nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, dependentes da precipitação pluvial diária a fim de analisar suas relações com o IVDN e anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, Atlântico Tropical Norte e Atlântico Tropical Sul. Foram utilizados na pesquisa dados de precipitação de 44 postos, no período de 1935 a 2000 e de TSM obtidos da NOAA entre 1950 a 2000. Os resultados revelaram que correlações entre as tendências dos índices e as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico mostraram influência das anomalias de TSM dos dois oceanos sobre a região de estudo e que o IVDN do sertão com predominância de Caatinga é mais dependente dos extremos de precipitação do que o da região leste composta pela Mata Atlântica.

Rodrigo e Trigo (2007) analisaram tendências de precipitação diária para 22 localidades na Península Ibérica entre 1951 e 2002. Foram investigados a precipitação total anual e sazonal (P), o número de dias chuvosos (N), a intensidade da precipitação (I'), o percentil 95 (P_{95}) e a percentagem de dias chuvosos acima do percentil 95 (%). A análise das tendências anuais e sazonais para estas variáveis foi feita através do método estatístico de Mann-Kendall e de um modelo de regressão linear. Os resultados mais relevantes indicam uma tendência decrescente das variáveis P, I' e P_{95} em grande parte das estações localizadas no sul e no norte durante o inverno, em algumas estações do sul durante a primavera e verão, bem como em algumas estações do sul e do norte no outono.

Marengo e Camargo (2008) avaliaram tendências de temperatura do ar mínima e máxima, amplitude térmica diurna (ATD) e índices de extremos de temperatura para o sul do Brasil entre 1960 e 2002. Em quase todas as estações meteorológicas analisadas foram observados um aumento acentuado nas temperaturas noturnas (temperatura

mínima) e um pequeno aumento nas temperaturas diurnas (temperatura máxima). Quanto a ATD observou-se tendências negativas na maior parte da região de estudo, sendo estas tendências bem acentuadas no início de 1980.

Costa e Soares (2009) estudaram tendências de precipitação diária baseados em dados obtidos de estações localizadas no sul de Portugal e avaliaram padrões temporais de precipitação para o período de 1955 a 1999. Foi aplicado aos dados um teste de homogeneidade, além de outros testes estatísticos, dentre eles uma nova técnica baseada no teste Ellipse denominado *SUR + teste Ellipse*. Os resultados mostraram que esta técnica é uma ferramenta valiosa para testes de homogeneidade de séries temporais do clima quando a quantidade de estações é numerosa. Com base nesta técnica, três índices indicando eventos de chuva e mais três relacionados a condições de seca foram avaliados a partir de modelos de regressão e técnicas de suavização evidenciando aumento na intensidade da seca e aumento a curto prazo da tendência da precipitação sobre a região nas últimas três décadas do século XX.

Santos et al. (2009) fizeram uma análise de diferentes índices de detecção de mudanças climáticas, baseados em dados de precipitação pluvial diária de 18 postos representando todas as microrregiões do estado de Ceará, no período compreendido entre 1935 e 2006 utilizando o software RCLimdex. Os autores observaram que ocorreram mudanças locais na precipitação e um aumento nas condições de umidade sobre o Ceará.

Wang e Yan (2009) analisaram tendências de seis índices de precipitação na China durante os anos de 1961 a 2007 com base em observações diárias de 587 estações. O método utilizado para estimar as tendências foi o de Mann-Kendall. Os resultados são de grande relevância para investigar os mecanismos das mudanças climáticas na China, uma vez que, os extremos de precipitação evidenciaram

comportamentos sazonais diferentes, como por exemplo, o índice R90p no sul do país aumentou no inverno, porém diminuiu no Outono e, no norte, aumentou na primavera, mas diminuiu no verão.

Satyamurty et al. (2010), com base em séries de precipitação de 18 estações localizadas ao longo dos principais rios da Bacia Amazônica verificaram a existência de tendências significativas durante os anos de 1925 a 2007. Para cada estação os autores analisaram a estação chuvosa e a estação seca. Dentre as estações avaliadas algumas mostraram tendências positivas e outras negativas. Segundo os autores, diante desta situação é difícil definir um padrão de aumento ou diminuição.

Santos et al. (2010) analisaram as tendências anuais de 20 índices extremos de temperatura e precipitação no Estado de Utah, EUA. Os dados foram obtidos a partir de 28 estações meteorológicas no período de 1º de janeiro de 1930 a 31 de dezembro de 2006 com auxílio do software RCLimdex. As análises destes índices indicaram um aumento na temperatura do ar no estado de Utah durante o último século, que não mostrou tendências predominantes, pois verificou-se uma grande variação em toda a área durante o período estudado.

Im et al. (2011) investigaram as tendências dos índices de extremos climáticos sobre a Coréia do Sul entre 1971 e 2010 fazendo uso das temperaturas mínima e máxima, bem como da precipitação com auxílio de um modelo climático regional. O teste de Mann- Kendall foi usado para detectar a significância estatística das tendências analisadas. Os índices baseados na temperatura mínima apresentaram resultados significantes, ao contrário daqueles baseados na temperatura máxima. Já os índices de intensidade e frequência da precipitação mostraram um aumento significativo.

Subash et al. (2011) desenvolveram um estudo durante os meses de monção, bem como para quatro estações localizadas em diferentes zonas agro-ecológicas de

Bihar (Índia) a fim de investigar ocorrências de eventos extremos de precipitação e os possíveis danos que estes podem causar sobre a produção agrícola da região. Utilizaram o teste não-paramétrico de Mann-Kendall para detecção das tendências. Para determinação da inclinação das linhas de tendência foi aplicado o método linear dos mínimos quadrados. Dentre os resultados mais relevantes, a correlação entre os índices extremos de chuva durante a temporada de monção e o índice de anomalia de produtividade indicaram que quase todos os índices extremos de precipitação contribuíram positivamente para a produtividade do arroz.

Hu et al. (2012), baseados na região do Rio Amarelo na China estudaram tendências de índices extremos de temperatura e precipitação nos anos de 1960 a 2006. Tendências significativamente positivas foram observadas durante o período estudado caracterizando aumento das temperaturas mínimas. Por outro lado, os índices extremos de precipitação não apresentaram mudanças sazonais significativas.

Kenawy et al. (2012) observaram índices extremos de temperatura no nordeste da Espanha durante o período entre 1920 e 2006 com dados obtidos de 19 estações. Os resultados mais relevantes mostraram que, em geral, a média das temperaturas máximas e mínimas tem aumentado significativamente, principalmente a partir de 1960, ao contrário da amplitude térmica diária que apresentou variabilidade pouco significativa.

Os regimes climáticos e as variações anuais na Bacia Hidrográfica do Rio Colorado (BHRC) são constituídos pela combinação da condição climática, das forçantes externas naturais e das forçantes externas antropogênicas. A BHRC recebe influência de sistemas de circulação da atmosfera, como as altas subtropicais, e dos padrões de anomalias de TSM e teleconexões dos oceanos Atlântico e Pacífico, sendo eles, a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), o Pacífico América do Norte (PNA) e o El-Nino Oscilação Sul (ENSO).

A PDO é uma variação de TSM do Pacífico Norte que oscila em escala decadal (20 a 30 anos) com predominância de duas fases (positiva e negativa). Na fase positiva, as águas superficiais estão mais quentes que o normal e na fase negativa ocorre o oposto. Gershunov e Barnett (1998) afirmam que a PDO influencia a estabilidade e a intensidade do ENSO. Uma vez que a fase positiva favorece águas mais quentes nas regiões do ENSO, naturalmente haveria uma maior frequência de El Niños. De fato, entre 1947 e 1976 houve mais eventos de La Niña e de 1977 a 2006 houve mais El Niños (WEBB et al., 2004, ELLIS et al., 2010, MATTER et al., 2010).

De acordo com Edwards e Redmond (2005), a fase positiva do ENSO ou El Niño, traz invernos frios e chuvosos para o sudoeste dos EUA, e quentes e secos para o noroeste do Pacífico e norte das Montanhas Rochosas. Já a fase oposta, negativa do ENSO ou La Niña, tem sido associada com invernos secos e quentes no sudoeste durante os últimos 75 anos. Estes fenômenos têm sido associados à precipitação, enchentes e secas em todo o oeste dos Estados Unidos.

Outro padrão de anomalia que está relacionado ao ENSO e que atua sobre a BHRC é a AMO que oscila em escala multidecadal e, assim como a PDO, varia entre duas fases (positiva e negativa) e dura de 20 a 30 anos. Segundo Enfield et al. (2001), os padrões de inverno associados com o ENSO na América do Norte sofrem alterações durante as distintas fases da AMO. Blakemore e Thomas (2007) afirmam que a precipitação na região do Baixo Rio Colorado recebe influência da PDO, da AMO e dos padrões de Niño. No Alto Rio Colorado, a PDO e a AMO são as duas anomalias de TSM que mais atuam na região, segundo McCabe et al. (2007). O ENSO e a PDO são os dois fenômenos mais importante no processo de precipitação sobre a BHRC e os mais confiáveis em termos de previsão (HURKMANS et al., 2009). De acordo com Mantua e Hare (2002), a PDO vem se somando ao ENSO para explicar a variabilidade interanual

e interdecadal da precipitação, em regiões do planeta onde esses dois fenômenos naturais se manifestam.

O Padrão Pacífico América do Norte (PNA) é um dos principais modos de variabilidade de baixa frequência na região extratropical do Hemisfério Norte e atua no campo de 500hPa. O PNA tende a ter maior impacto sobre a variabilidade da temperatura à superfície durante o inverno. As anomalias de precipitação associadas incluem totais abaixo da média sobre a porção superior do meio-oeste norte americano e totais acima da média desde o Golfo do Alasca até o noroeste dos EUA. O PNA é fortemente influenciado pelo fenômeno ENSO e sua fase positiva tende a estar associada aos episódios quentes (El Niño) enquanto que a fase negativa tende a estar associada com episódios frios (La Niña) (SEVERO, 2008).

Os efeitos das referidas anomalias de TSM influenciam também o regime hidroclimático da BHRC e são essencialmente estáveis entre outono e início da primavera, o que significa que os padrões de temperatura e precipitação contribuem com o desenvolvimento de neve durante o inverno (MATTER et al., 2010).

O escoamento na BHRC é provocado por chuva e pelo degelo das montanhas rochosas. Porém, nos últimos tempos, a BHRC tem passado por secas severas sem precedentes no registro hidroclimático, devido ao aumento da temperatura associado às mudanças climáticas e estas, por sua vez, vêm gerando grande preocupação em toda região da bacia, uma vez que o rio Colorado é uma rica fonte de subsistência (CHRISTENSEN; LETTENMAIER, 2006, HURKMANS et al., 2009).

No que diz respeito ao gerenciamento das águas na bacia do Colorado, existe conflitos socioambientais relacionados à gestão de recursos hídricos devido à escassez de água superficial e ao uso indevido das águas subterrâneas. Outro fator relevante é o fato de o delta localizar-se no México, gerando conflitos e tratados bilaterais entre

México e os Estados Unidos. A mobilização para tentar resolver estes conflitos pode ser observada pelo histórico das principais ações legais e dos projetos desenvolvidos ao longo das últimas décadas (VIANA, 2005).

Ainda, segundo Viana (2005), a escassez dos recursos hídricos é um problema que tem afetado várias outras regiões em todo o mundo, como por exemplo, o Oriente Médio e o Nordeste brasileiro que apresenta parte do seu território em processo de desertificação.

Os trabalhos relacionados neste capítulo serviram de base para desenvolvimento desta pesquisa. Os estudos ligados aos índices de detecção de extremos climáticos e as anomalias de TSM e teleconexões foram primordiais na discussão dos resultados onde se esperou atingir os objetivos propostos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área Geográfica e Climatologia da BHRC

A área geográfica de estudo refere-se a Bacia Hidrográfica do Rio Colorado (BHRC), localizada nos EUA. A BHRC abrange uma área de aproximadamente 634.550 km² e se estende por todo sudoeste dos Estados Unidos e parte noroeste do México e divide-se em Alto e Baixo Rio Colorado (Figura 1). Foi analisada apenas a parte americana da BHRC que representa 98,7% da área total da bacia.

A referida área é banhada pelo Rio Colorado e por seus afluentes que apresentam variabilidade temporal considerável. Este rio origina-se nas montanhas rochosas do Colorado e segue até o Golfo da Califórnia, e é responsável pelo abastecimento de sete estados norte-americanos (Wyoming, Colorado, Utah, Novo México, Arizona, Nevada e Califórnia) e dos estados de Sonora e Baixa Califórnia no México (CHRISTENSEN; LETTENMAIER, 2006; ELLIS et al., 2010). Nele está localizada uma das fontes mais importantes do sudoeste dos Estados Unidos que é o lago Mead, originado após a construção da barragem Hoover em 1937. Este é responsável pelo abastecimento, irrigação de mais de 2,5 milhões de hectares de terras cultiváveis e fornece eletricidade para cidades como Las Vegas, Phoenix, Los Angeles, Tucson e San Diego (KARAMANOS, 2010).

WATER MANAGEMENT, 2007; COLORADO RIVER BASIN WATER SUPPLY AND DEMAND STUDY STUDY TEAM, 2011).

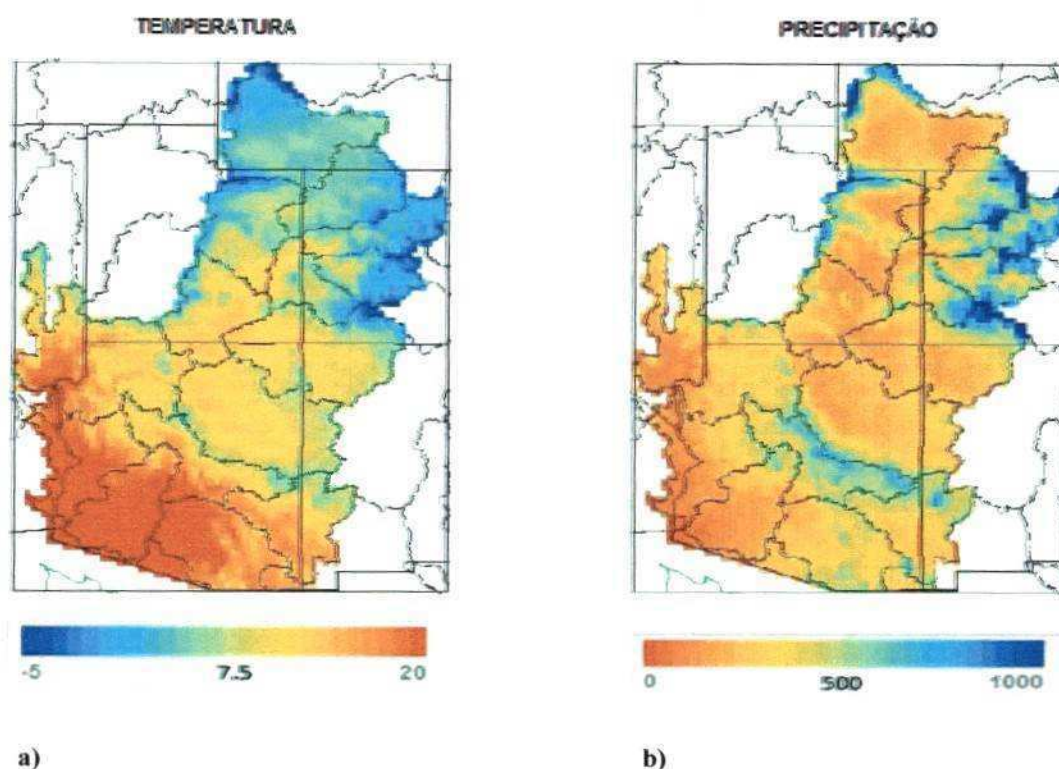


Figura 2: a) Temperatura média anual (°C) e b) Precipitação média anual (mm) para o período de 1971 to 2000 (Fonte: COLORADO RIVER BASIN WATER SUPPLY AND DEMAND STUDY STUDY TEAM, 2011).

4.2. Material

Os dados de temperatura do ar (máxima e mínima) e precipitação pluvial foram obtidos de estações meteorológicas distribuídas ao longo dos seguintes estados americanos: Novo México, Colorado, Utah, Arizona, Nevada e Califórnia através do Centro Nacional de Dados Climáticos dos Estados Unidos (National Climatic Data Center).

A escolha das estações foi baseada naquelas que apresentaram período igual ou superior a 30 anos de dados, sem falhas e bem distribuídas ao longo da área de estudo. Os dados das anomalias de TSM das áreas do Atlântico e Pacífico correlacionados com

os índices climáticos foram obtidos através do website <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>.

Foram escolhidas, 81 estações na região do Baixo Colorado compreendendo os estados do Arizona (em sua maior parte), Califórnia, Nevada, parte sudoeste do Novo México e parte sudoeste de Utah e 48 estações na região do Alto Colorado composta pelos estados do Colorado, parte noroeste do Novo México, nordeste e sudeste do estado de Utah e por uma pequena parte localizada à nordeste do estado do Arizona.

4.3. Metodologia

O cálculo dos índices de extremos climáticos de temperatura e precipitação foram obtidos através do RCLimdex que é um software desenvolvido para linguagem computacional R. Este programa desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Centre (NCDC) da NOAA é muito utilizado para o cálculo de índices extremos climáticos e auxiliam no monitoramento e na detecção de mudanças climáticas. O software calcula todos os 27 indicadores básicos recomendados pelos especialistas do CCI / CLIVAR (ETCCDMI), bem como, outros índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário podendo ser executado tanto em ambientes Windows quanto UNIX.

O Rclimdex é um pacote gratuito e encontra-se disponível para download no website da ETCCDMI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>). Um pré-requisito para o cálculo dos índices é o controle de qualidade dos dados (ZHANG; YANG, 2004). O controle de qualidade do RCLimdex procede-se da seguinte forma: Substitui todos os dados faltosos (atualmente codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R, bem como todos os valores que não são representativos por -99.9 que incluem quantidades de precipitação diárias menores que zero, assim como,

precipitações superiores a 100 mm. O controle de qualidade também identifica valores extremos nas temperaturas diárias máximas e mínimas, além de verificar temperatura máxima menor que a temperatura mínima diária. Estes valores são diários e se situam fora de uma região definida pelo usuário. Essa região é definida, atualmente, como n vezes o desvio padrão do dia, ou seja, $(\text{media} - n \times \text{std}, \text{com média} + n \times \text{std})$. Onde std representa o desvio padrão para o dia e $n = 4$ é uma entrada do usuário (ZHANG; YANG, 2004).

Para o processamento dos dados, é necessário que os arquivos estejam em formato de texto ASCII, distribuídos em colunas organizadas na seguinte sequência: ano, mês, dia, precipitação em milímetros (mm), temperatura máxima e temperatura mínima em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Ressalta-se, ainda, que os dados devem estar em ordem cronológica e os dados faltosos substituídos por -99.9 (CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY, 2004).

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes índices de extremos de precipitação e temperatura conforme Zhang e Yang (2004):

1) Rx1day (Máximo de precipitação em um dia)

Seja RR_{ij} o total diário de precipitação em um dia i e em um período j . Então, os valores máximos de 1 dia para o período j são:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (1)$$

2) Rx5day (Máximo de precipitação em 5 dias consecutivos)

Seja RR_{kj} a quantidade diária de precipitação para o intervalo de cinco dias terminando em k , período j . Então os valores máximos para o período j são:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (2)$$

3) ISID (Índice simples de intensidade diária)

Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação em dias chuvosos, $w(RR \geq 1mm)$ em um período j . Se W representa o número de dias chuvosos em j , então:

$$ISID_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (3)$$

4) R10mm (Número de dias com precipitação intensa)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i e em um período j . O índice R10mm indica o número de dias com precipitação intensa anual quando:

$$RR_{ij} \geq 10mm \quad (4)$$

5) DCS (Dias consecutivos secos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i em um período j . O índice DCS indica o número máximo de dias consecutivos secos quando:

$$RR_{ij} < 1mm \quad (5)$$

6) DCC (Dias consecutivos chuvosos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i em um período j . O índice DCC indica máximo de dias consecutivos chuvosos quando:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (6)$$

7) PRCPTOT (Precipitação total anual)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i e em um dia j . Se I representa o número de dias em j , então:

$$PRCPTOT = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (7)$$

8) DV (Dias de Verão)

Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária em um dia i e em um período j . O índice DV indica o número máximo de dias anuais quando:

$$Tx_{ij} > 25^{\circ}C \quad (8)$$

9) DG (Dias gelados)

Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária em um dia i e em um período j . O índice DG indica o número máximo de dias anuais quando:

$$Tx_{ij} < 0^{\circ}C \quad (9)$$

10) NT (Noites tropicais)

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária em um dia i e em um período j . O índice NT indica o número mínimo de dias anuais quando:

$$Tn_{ij} > 20^{\circ}C \quad (10)$$

11) DF (Dias frios)

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária em um dia i e em um período j . O índice DF indica o número mínimo de dias frios quando:

$$Tn_{ij} < 0^{\circ}C \quad (11)$$

12) TXx (Maior temperatura máxima diária)

Seja Tx_{kj} a temperatura máxima diária em um mês k , período j . O índice TXx indica o maior valor mensal das temperaturas máximas diárias quando:

$$TXx_{kj} = \max(Tx_{kj}) \quad (12)$$

13) TXn (Menor temperatura máxima diária)

Seja Tx_{kj} a temperatura máxima diária em um mês k , período j . O índice TXn indica o menor valor mensal das temperaturas máximas diárias quando:

$$TXn_{kj} = \min(Tx_{kj}) \quad (13)$$

14) TNx (Maior temperatura mínima diária)

Seja Tn_{kj} a temperatura mínima diária em um mês k , período j . O índice TNx indica o maior valor mensal das temperaturas mínimas diárias quando:

$$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj}) \quad (14)$$

15) T_{Nn} (Menor temperatura mínima diária)

Seja Tn_{kj} a temperatura mínima diária em um mês k , período j . O índice TNn indica o menor valor mensal das temperaturas mínimas diárias quando:

$$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj}) \quad (15)$$

16) ATD (Amplitude térmica diária)

Sejam Tx_{ij} e Tn_{ij} as temperaturas diárias máximas e mínimas respectivamente em um dia i e em um período j . Se I representa o número de dias em j , então o índice ATD indica a diferença média mensal entre Tx_{ij} e Tn_{ij} quando:

$$ATD = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I} \quad (16)$$

Após o processamento destes índices, os dados foram armazenados em arquivos que contêm informações anuais sobre cada um deles. Neste estudo, de acordo com os objetivos gerais, foram obtidos as tendências anuais dos índices de extremos climáticos através do RClindex pelo método dos mínimos quadrados e a significância estatística da tendência pelo teste de Fisher. Este método é utilizado quando se deseja trabalhar com variáveis categóricas e quando o tamanho das amostras independentes é pequeno, isto é, duas variáveis só podem ser catalogadas em duas possíveis categorias ou níveis, logo em tabelas de contingência 2x2.

Grupos independentes	Positivo	Negativo	Total
Grupo I	A	B	A+B (Fixo)
Grupo II	C	D	C+D (Fixo)
Total	A+C	B+D	N (Fixo)



H_0 : independência
 H_1 : dependência

O método está baseado na distribuição hipergeométrica, calculando a probabilidade de observar um determinado conjunto de frequências em uma tabela 2x2, quando se consideram fixos os totais marginais, sob a hipótese de nulidade, ou seja independência de variáveis.

$$\alpha = \frac{\binom{A+C}{A} \binom{B+D}{B}}{\binom{N}{A+B}} = \frac{(A+B)!(C+D)!(A+C)!(B+D)!}{N!A!B!C!D!} \quad (17)$$

Essa probabilidade, na realidade é o α - valor, ou seja a probabilidade de rejeitar a hipótese nula sob a suposição de independência, em outras palavras, é a probabilidade de afirmar que são dependentes quando na realidade as variáveis são independentes (SIEGEL, 1956, SIEGEL; CASTELLAN, 2006). Esse valor deve ser comparado com o nível de significância determinado pelo pesquisador.

Estudos têm mostrado dependência entre a precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Colorado com as anomalias de TSM e teleconexões de áreas dos Oceanos Pacífico e Atlântico Norte (HURKMANS et al., 2009; ELLIS et al., 2010; MATTER et al., 2010). Logo, os índices de extremos climáticos anuais foram correlacionados com as anomalias anuais de TSM e teleconexões dos referidos oceanos. Os índices referentes às anomalias anuais de TSM foram: Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), Pacífico América do Norte (PNA), Niños 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 (Figura 3).

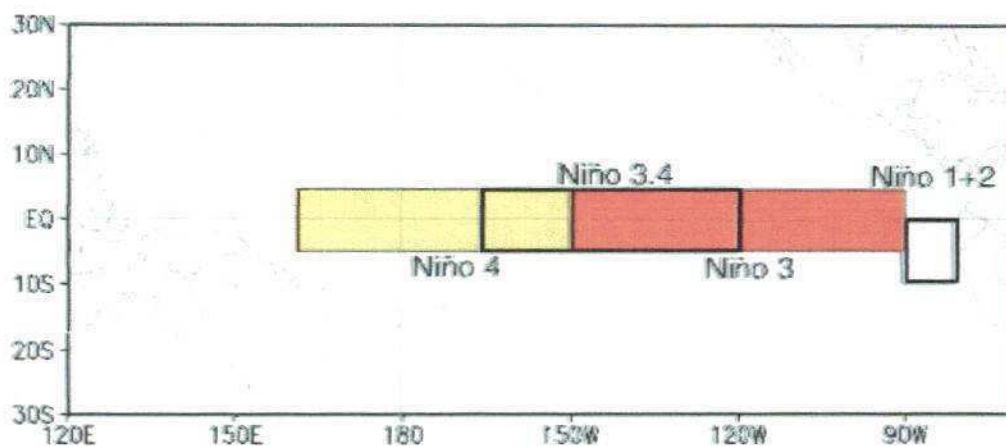


FIGURA 3: Áreas do Oceano Pacífico Equatorial, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4. (Fonte: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml)

Com o intuito de analisar o comportamento das anomalias anuais de TSM nos oceanos e suas influências sobre os índices de extremos climáticos anuais para a região estudada, foi utilizado o método de Pearson, descrito a seguir, na obtenção da correlação entre as anomalias anuais de TSM e teleconexões, no período de 1970 a 2009, e os índices de extremos climáticos anuais obtidos.

O método de correlação de Pearson (p) é uma medida de associação linear entre duas variáveis, conforme descrito por Filho e Júnior (2009). É expressa pela fórmula:

$$p = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{sx} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{sy} \right) \quad (18)$$

O coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 e 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor evidencia a força da relação entre as variáveis. Assim, quanto mais perto de 1 independentemente do sinal maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. Opostamente, quanto mais próximo de zero menor é a força da relação.

Os índices foram correlacionados individualmente com a anomalia de TSM de cada área estudada e as correlações, com significância estatística ao nível de 5%, foram apresentadas em forma de tabelas. A significância estatística foi obtida através do teste

t-Student aplicada a uma série que apresenta N graus de liberdade, correspondentes aos anos da série histórica de dados analisados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análises dos índices de temperatura para o Baixo e Alto Rio Colorado

As Tabelas 1 e 2 mostram as tendências dos índices extremos de temperatura nas regiões do Baixo e Alto Rio Colorado, respectivamente. Os valores destacados e em negrito apresentaram significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), enquanto que, os apenas destacados apresentaram significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,1$). Apenas as tendências estatisticamente significativas foram abordadas nas discussões dos resultados.

Analisando as tendências de temperatura estatisticamente significantes na região do Baixo Rio Colorado (Tabela 1) observa-se que o índice Dias de Verão (DV) mostrou tendências positivas em 41 estações e negativa em apenas 1 referente a estação McNary localizada a 2237 m de altitude, evidenciando um aumento no número de dias em que a temperatura do ar foi maior que 25 °C. O índice Dias Gelados (DG) que representa o número de dias em que a temperatura máxima diária foi menor que 0°C mostrou apenas tendências negativas em 14 estações. As tendências de DV e DG indicam aumento e diminuição das temperaturas, respectivamente, sobre a região estudada nas últimas décadas. As distribuições espaciais destes índices são mostradas nas Figuras 4a e 4b.

O índice Noites Tropicais (NT) mostrou 40 estações com tendências positivas e apenas 1 com tendência negativa o que resultou no aumento do número de dias em que a temperatura mínima do ar foi maior que 20 °C. Os Dias Frios (DF) indicaram 1 estação com tendência positiva e 51 com tendências negativas o que ocasionou uma diminuição do número mínimo de dias em que a temperatura mínima diária foi menor que 0°C. Estes dois índices concordam entre si e apresentam homogeneidade em praticamente toda região do Baixo Rio Colorado, conforme a distribuição espacial mostrada nas Figuras 4c e 4d. Estes índices mostram que nas últimas décadas houve aumento considerável nas temperaturas mínimas diárias. Os padrões representados nestes resultados concordam com os encontrados por Manton et al. (2001) e Frich et al. (2002) para diferentes regiões do planeta.

O índice que representa o máximo valor da temperatura máxima anual (TXx) apresentou 12 estações com tendências positivas e 5 com tendências negativas. Dessa forma, não é possível identificar um padrão de aumento do valor máximo da temperatura máxima diária. Para o índice que representa o valor mínimo da temperatura máxima anual (TXn), 27 estações apresentaram tendências positivas e 1 apresentou tendência negativa o que indica um aumento do valor mínimo da temperatura máxima diária, concordando com as tendências apresentadas para os índices NT e DF. As Figuras 4e e 4f mostram as distribuições espaciais destes dois índices, respectivamente.

O índice que representa o máximo valor da temperatura mínima anual (TNx) indicou 24 estações com tendências positivas e 1 com tendência negativa mostrando com isso que o valor máximo da temperatura mínima diária aumentou (Figura 4g). Foi observado o mesmo comportamento para o valor mínimo da temperatura mínima diária representado pelo índice (TNn) com tendências positivas em 38 estações e tendências negativas em apenas 2 (Figura 4h). A Amplitude Térmica Diária (ATD) mostrou que 13

estações evidenciaram tendências positivas enquanto que 32 apresentaram tendências negativas. Com isso, a diferença anual entre as temperaturas máximas e mínimas diárias diminuiu decorrente do aumento anual observado das temperaturas mínimas diárias e não verificado nas temperaturas máximas. Isto pode ser visualizado pela distribuição espacial do índice na Figura 4i. Um resultado semelhante foi encontrado por Zhang et al. (2005) no Oriente Médio. Todos os resultados apresentados para a região do Baixo Rio Colorado estão de acordo com os apresentados por Frich et al. (2002) e Alexander et al. (2006).

Tabela 1: Índices extremos de temperatura para região do Baixo Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).

Estações	DV	DG	NT	DF	TXx	TXn	TNx	TNn	ATD
Alpine	0,391	-0,053	0	-0,871	0,011	0,082	-0,004	0,208	-0,026
Anvil RCH	0,093	0	0,17	0,335	-0,018	0,059	-0,002	-0,176	0,057
Blach Rivers Pumps	0,907	-0,069	0	-0,128	0,043	0,082	0,002	0,123	0,048
Blue Ridge RS	-0,045	0,081	0	-0,423	-0,033	0,013	-0,003	0,078	-0,03
Bouse	0,113	0	0,565	-0,332	0,003	0,022	0,011	0,073	-0,027
Bright Angel RS	0,55	-0,477	0	-0,719	0,09	0,163	0,055	0,262	-0,028
Canelo	0,861	-0,009	0,037	-0,749	0,001	0,045	0,041	0,141	-0,014
Casa Grande NM	0,158	0	0,571	-0,425	-0,007	-0,04	0,066	0,072	-0,047
Cascabel	0,366	0	-0,025	-0,09	0,008	0,032	-0,001	0,027	0,036
Castle Hot Springs	0,315	0	0,595	-0,188	-0,019	0	0,04	0,038	-0,034
Chino Valley	0,143	-0,02	0,253	-1,235	0,008	0	0,099	0,07	-0,062
Chiricaua MN	0,798	-0,016	0,028	-0,755	0,022	0,096	-0,004	0,129	-0,002
Clinfton	0,198	0	1,209	-0,637	0,054	0,063	0,107	0,098	-0,071
Colorado City	0,384	-0,005	-0,015	-0,198	0,057	0	-0,007	0,1	0,01
Cordes	0,378	-0,011	0,227	-0,336	-0,012	0,067	0,008	0,063	-0,007
Coronado MN HQ	-0,124	-0,003	0,027	-0,054	-0,034	-0,008	-0,028	0,05	-0,037
Douglas	0,84	-0,005	0,517	-1,262	0,025	0,071	0,017	0,118	-0,027
Douglas Bisbee Intl	0,862	-0,004	0,305	-0,246	0,035	0,059	0,036	0,034	0,024
Duncan	0,828	0	0,606	-1,009	-70,066	0,076	-13,358	0,035	-2,058
Flagstaff AP	-0,083	-0,189	0	-0,297	-0,017	0,08	0,017	0,128	-0,014
Ft Thomas 2 SW	0,506	-0,002	0,673	-0,006	-0,004	0,036	0,02	-0,017	-0,015
FT Valley	0,215	-0,116	0	-0,417	0,006	0,038	0,026	0,15	-0,013
Ganado	0,45	-0,093	0	-0,397	-0,019	0,119	-0,014	0,104	0,013
Holbrook	0,798	-0,079	0,161	-1,424	0,001	0,113	0,119	0,186	-0,045
Jerome	0,229	-0,033	0,832	-0,568	0,031	0,021	0	0,083	-0,044
Keams Canyon	0,298	0,011	-0,025	-0,158	-0,051	-0,003	-0,053	0,074	-0,02

Continuação Tabela 1

Estações	DV	DG	NT	DF	TXx	TXn	TNx	TNn	ATD
Kit Peak	0,293	-0,107	0,146	-0,829	-0,002	0,044	0,082	0,069	-0,036
Kofa Mine	0,282	0	0,826	-0,037	0,015	0,009	0,039	0,08	-0,035
Laveen 3 SSE	0,595	0	1,281	-0,519	0,082	0,005	0,05	0,127	-0,046
Litchfield Park	-0,059	0	1,363	-0,529	-0,028	-0,005	0,062	0,102	-0,137
Maricopa 4	0,688	0	0,497	-0,424	0,011	0,081	0,026	0,029	0,004
McNary 2 N	-0,729	0,099	0	-0,82	-0,033	0,027	0,007	0,152	-0,099
Oracle 2 SE	-0,07	0	0,646	0,079	-0,017	-0,093	0,011	0,028	-0,061
Organ Pipe Cactus NM	0,515	0	0,674	-0,292	-0,005	0,065	0,031	0,058	-0,027
Payson	0,302	-0,016	0,037	-1,146	0,004	0,032	0,026	0,162	-0,039
Pearce Sunsites	0,115	-0,003	0,038	0,234	-0,016	-0,014	-0,03	0,047	0
Petrifield Forest	0,595	-0,047	0,052	-0,647	0,03	0,115	0,044	0,11	0,009
Phanton Ranch	0,51	-0,001	-0,289	0,239	0,001	0,055	0,004	-0,112	0,035
Phoenix AP	0,399	0	0,958	-0,165	0,003	0,037	0,061	0,119	-0,064
Roosevelt	0,893	0	0,448	-0,136	0,028	0,012	0,029	0,007	0,032
Sacaton	0,543	0	-0,068	-1,235	-0,03	-0,06	-0,031	0,257	-0,055
Saffordagricult	0,654	0	0,338	-0,606	-0,003	0,076	0	0,056	0,005
Saint Johns	-0,12	-0,004	-0,007	-0,458	-0,007	0,068	0,001	0,137	-0,036
San Carlos RSRV	0,701	0	0,311	-0,445	0,023	0,035	0,001	0,134	0,012
Snowflake	0,433	-0,043	-0,033	-0,696	1,555	0,089	0	0,125	0,296
Springerville	1,266	-0,019	0	0,036	0,072	0,072	-0,014	-0,001	0,082
Tacna 3 NE	0,433	0	1,184	-0,577	0,057	0,031	0,107	0,02	-0,062
Tombstone	0,767	-0,004	-0,089	0,215	0,01	0,046	-0,014	0,005	0,046
Tuba City	0,093	-0,166	0,679	-1,152	-0,071	0,177	0,204	0,293	-0,017
Tucson Intl AP	0,812	0	0,706	-0,139	0,032	0,042	0,035	0,039	0,012
Tumacacori	-0,356	0	0,333	-0,155	-0,094	-0,062	0,006	0,05	-0,06
Walnut Crees	0,656	-0,047	0,017	-0,656	0,008	0,098	0,054	0,116	0,017
Wikieup	0,622	0	0,065	0,037	-0,009	0,076	-0,021	-0,002	0,009
Willcox	0,506	-0,005	0,262	-0,937	-0,004	0,068	0,014	0,057	-0,023
Winslow AP	0,316	-0,169	0,017	-0,131	0,003	0,142	0,007	0,105	0,026
Wupatki NM	0,031	-0,044	0,348	-0,236	-0,022	0,04	-0,034	0,073	-0,044
Youngtown	0,446	0	1,409	-0,373	0,005	0,038	0,076	0,1	-0,077
Blythe	0,2	0	0,585	-0,321	-0,001	0,067	0,048	0,113	-0,039
Blythe AOS	0,433	0	0,24	-0,179	-0,01	0,058	0,01	0,064	0,009
Iron MTN	0,423	0	0,256	-0,092	0,049	0,07	-0,001	0,073	0,027
Needles	0,442	0	0,534	-0,118	0,025	0,095	0,043	0,087	-0,004
Parker RSVR	0,392	0	0,313	-0,06	0,013	0,094	0,028	0,075	0,009
Caliente	0,079	-0,128	0,021	-0,598	-0,005	0,057	0,005	0,125	-0,044
Desert NWR	0,223	-0,012	0,071	-0,526	0,019	0,08	0,004	0,156	-0,014
Elgin	-0,269	-0,074	-0,03	-0,711	0,095	0,157	-0,003	0,083	-0,06
Las Vegas AP	0,241	-0,003	1,24	-0,681	0	0,069	0,087	0,174	-0,082
Lund	0,361	-0,011	0,002	-0,247	0,031	0,016	0,036	0,014	0,005
Overton	0,04	0	1,006	0,611	0,02	-0,08	-0,061	-0,118	0,016
Pahrnagat WR	0,594	-0,039	0,085	-0,744	0,052	0,048	-0,019	0,079	0,004
Ruth	0,462	-0,099	0	-0,566	0,02	0,032	-0,018	0,023	0,027
Searchlight	0,029	-0,016	0,672	-0,19	0	0,012	0,002	0,098	-0,051
Animas 3 ESSE	0,303	-0,021	0,582	-1,569	-0,019	0,109	0,052	0,219	-0,09

Continuação Tabela 1

Estações	DV	DG	NT	DF	TXx	TXn	TNx	TNn	ATD
Cliff 11 SE	-0,21	-0,019	-0,021	0,036	-0,059	0,054	-0,043	0,034	-0,005
Lordsburg 4 SE	0,828	-0,01	0,131	-0,598	0,042	0,14	0,001	0,032	0,03
Mimbres	1,095	-0,045	-0,007	-0,89	0,016	0,133	-0,047	0,18	0,02
Quemado	0,143	-0,011	0	-0,317	-0,057	0,049	0,029	0,093	0,015
Redrock 1 NNE	0,016	-0,01	0,176	-0,501	-0,053	0,068	0,018	0,018	-0,04
Reserve RS	0,626	0,054	0	-1,574	-0,048	-0,182	0	0,102	-0,022
White Signal	-0,415	-0,023	0,019	-0,466	-0,034	-0,002	0,046	0,061	-0,058
Zuni	1,281	-0,085	0,004	0,297	0,075	0,125	0,002	-0,045	0,134
Zion NP	0,516	-0,03	0,018	-0,09	0,06	0,049	0,007	0,109	0,043

Na região do Alto Rio Colorado (Tabela 2), as tendências de temperatura estatisticamente significantes evidenciaram que o índice DV mostrou apenas tendências positivas em 24 estações (Figura 4a). Já o índice DG, apresentou 4 tendências positivas e 16 negativas (Figura 4b). Para o índice NT foram observadas 8 tendências positivas e 1 negativa (Figura 4c), enquanto que, o índice DF mostrou 5 tendências positivas e 23 negativas (Figura 4d). Estes resultados indicam aumento dos dias de verão e consequentemente diminuição dos dias frios na região, concordando com os resultados encontrados por Frich et al. (2002) e por Alexander et al. (2006), enquanto que os índices DG e NT não apresentaram característica de aumento ou diminuição.

O índice TXx apresentou apenas 14 estações com tendências positivas (Figura 4e). Para o TXn, observou-se apenas tendências positivas em 21 estações (Figura 4f). O índice TNx indicou 7 estações com tendências positivas e 3 com tendências negativas. Para o índice TNn, 26 estações apresentaram tendências positivas e apenas 1 mostrou tendência negativa. Os resultados dos índices TXn e TNn indicam que houve um aumento no valor mínimo das temperaturas máxima e mínima (Figuras 4g e 4h). Aumento significativo das temperaturas máximas e mínimas, principalmente a partir de 1960 em diferentes partes do planeta foi observado também por Hu et al. (2012) e Kenawy et al. (2012).

O índice ATD mostrou 12 estações com tendências positivas e 9 com tendências negativas, o que não indica aumento da diferença média anual entre as temperaturas máximas e mínimas diárias (Figura 4i).

Analisando a variabilidade temporal obtida através dos valores médios das tendências dos índices extremos de temperatura de cada região (Alto e Baixo Rio Colorado) do período estudado mostrada na Figura 4, observou-se que, o índice DV aumentou tanto no Baixo como no Alto Rio Colorado (Figura 4a). Para os Dias Gelados (DG) houve diminuição nas tendências para ambas as regiões (Figura 4b). O índice NT apresentou tendências positivas para as duas regiões sendo mais evidente na região do Baixo Rio Colorado (Figura 4c). Em relação aos dias frios, as tendências foram negativas e com valores próximos (Figura 4d). Para o índice TXx, o Baixo Rio Colorado apresentou-se positivamente e no Alto Rio Colorado negativamente (Figura 4e), indicando que as temperaturas máximas têm aumentado consideravelmente na parte sul da Bacia. O índice TXn revelou tendências positivas ao longo da série nas duas regiões (Figura 4f). O mesmo ocorreu para os índices TNx e TNn (Figuras 4g e 4h). Por fim, o índice ATD mostrou tendências opostas com diminuição no Baixo e aumento no Alto Rio Colorado (Figura 4i). O padrão de temperatura observado na BHRC evidenciando dias mais quentes e temperaturas mínimas mais elevadas, pode estar relacionado com sistemas de circulação atmosférica que influenciam o clima na região, a exemplo, das altas subtropicais que atuam em zonas de alta pressão caracterizadas por subsidência de ar quente e seco ocasionando baixa umidade e conseqüentemente pouca formação de nuvens e diminuição da precipitação. Nestas zonas formam-se os grandes desertos, como o de Sonora localizado entre os EUA e o México (AYOADE, 1991; VAREJÃO SILVA, 2000).

Tabela 2: Índices extremos de temperatura para região do Alto Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).

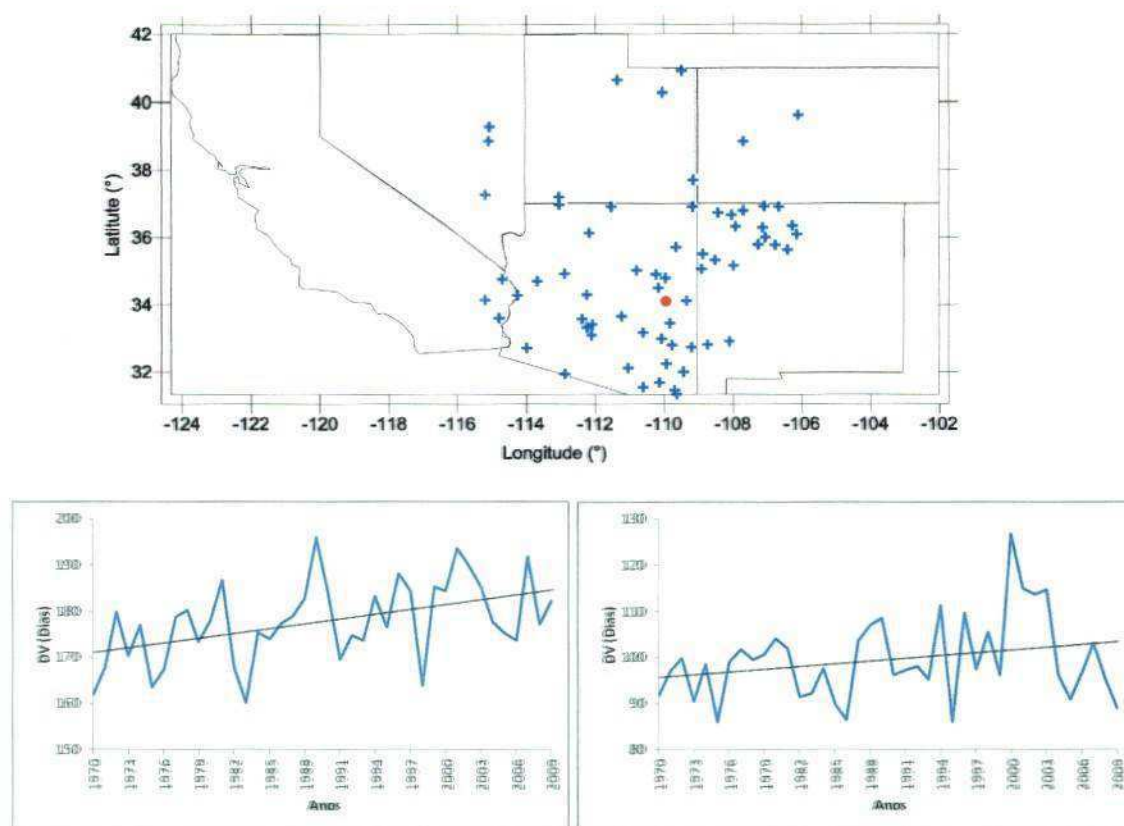
Estações	DV	DG	NT	DF	TXx	TXn	TNx	TNn	ATD
Cabin Creek	-0,001	-0,037	0	0,317	0	0,045	-0,048	0,058	0,03
Climax	-0,024	-0,262	0	-0,299	0,025	0,069	0,008	0,064	0,002
Del Norte	-0,15	0,32	0	0,659	-0,025	0,059	-0,055	0,057	0,015
Dillon 1 E	0,28	0,043	0	-0,033	0,03	0,054	0,001	0,126	0,003
Fruita	0,129	-0,286	0,036	-0,438	0,036	0,102	0,005	0,132	-0,007
Grand Junction Walker	-0,008	-0,21	0,045	0,033	0,015	0,096	0,036	0,086	0,008
Hayden	0,192	0,028	0	-0,494	0,014	0,154	0,011	0,173	-0,018
Hermit 7 ESSE	0,175	-0,429	0	-0,457	-0,004	0,101	0,022	0,23	-0,039
Kremmling	0,119	1,007	0	-0,013	0,063	0,046	0,046	0,131	-0,047
Meeker	-0,801	1,225	0	1,838	-0,07	-0,237	-0,088	-0,33	0,084
Paonia	0,317	-0,067	0,002	-0,755	0,038	0,062	0,086	0,131	-0,024
Walden	0,205	0,042	0	-0,602	0,026	0,095	0,001	0,099	-0,003
Abiquiu Dam	0,648	-0,084	-0,006	-0,571	0,069	0,083	0,022	0,123	-0,002
Bloomfield 3 SE	0,367	-0,223	0,048	-0,549	-0,019	0,113	0,045	0,115	-0,004
Cochiti Dam	0,773	-0,07	0,026	0,362	0,045	0,12	-0,011	0,134	0,059
Chama	0,411	-0,222	0	-0,271	0,023	0,123	0,011	0,154	0,018
Cuba	0,619	-0,207	-0,007	0,559	0,016	0,161	-0,039	0,095	0,096
Dulce	0,74	-0,134	-0,003	-0,809	0,067	0,119	-0,014	0,158	0,004
El Rito	0,662	-0,165	-0,022	-0,448	0,001	0,107	-0,083	0,196	0,005
Espanola	0,428	0,067	-0,001	-0,006	0,02	-0,034	-0,015	0,083	0,025
Fruitlan	0,369	0,016	0,011	-0,469	0,01	0,053	0,001	0,075	-0,02
Gallup Muni AP	0,507	-0,01	-0,003	-0,308	0,048	0,046	0,001	0,174	0,002
Grants AP	1,282	-0,118	0,017	-0,457	0,113	0,165	0,057	0,18	0,068
Jemez Springs	0,881	-0,084	-0,004	0,523	0,04	0,207	0,022	0,183	0,054
Lindrith	0,861	-0,026	0	0,155	0,084	0,067	0,037	0,188	0,052
Los Alamos	0,305	-0,024	0,002	-0,404	0,014	0,091	0,005	0,098	0,001
Lybrook	0,179	-0,285	0,009	-0,662	0,032	0,073	0,059	0,168	-0,028
Mc Gaffey 5 SE	0,822	-0,223	0	-0,167	0,123	0,052	0,032	0,129	0,054
Navajo	1,329	-0,228	0,045	-1,267	0,086	0,083	0,033	0,038	0,039
Otis	0,422	0,008	0,073	-0,093	0,03	0,102	0,061	0,069	0,009
Tierra Amarilla 4 N	0,187	-0,004	0	-0,1	0,029	0,079	-0,031	0,208	0
Torreón Navajo Mission	0,506	-0,327	0,004	-0,351	0,002	0,226	0,004	0,142	0,036
Wolf Canyon	-0,001	0,289	0	-0,361	-0,008	0,01	-0,004	0,057	-0,031
Bluff	0,346	-0,187	0,368	-1,004	0,01	0,136	0,044	0,133	-0,053
Bullfrog Basin	-0,03	-0,107	0,364	0,168	-0,006	0,084	0,026	0,083	0,001
Cedar Point	0,75	-0,24	0	0,072	0,068	0,081	-0,022	0,091	0,049
Flaming George	0,477	-0,401	0,004	-0,396	0,078	0,111	0,033	0,053	0,033
Green River Aviation	0,621	0,067	-0,113	-0,647	0,06	0,191	-0,058	0,22	0,013
Kamas	1,08	-0,47	0	-0,73	0,1	0,169	0	0,225	0,055
Loa	0,071	0,308	0	-0,12	-0,007	-0,08	0,033	0,047	-0,01
Manti	0,064	0,2	0,005	-0,16	0,023	0,023	0,012	0,117	-0,02
Moab	0,254	-0,238	0,057	-0,053	0,023	0,094	0,016	0,138	0,011
Neola	0,259	-0,147	0,01	-0,488	0,04	0,093	0,064	0,188	-0,019

Continuação Tabela 2

Estações	DV	DG	NT	DF	TXx	TXn	TNx	TNn	ATD
Roosevelt Radio	0,386	-0,086	-0,003	0,422	0,023	0,084	0,007	0,002	0,066
Lees Ferry	0,013	-0,027	0,377	-0,032	-0,004	0,108	0,015	0,016	-0,006
Page	0,22	-0,133	0,362	-0,025	-0,006	0,095	0	0,07	0,002
Teec Nos pos	0,642	-0,16	0,383	-1,039	-0,005	0,106	-0,011	0,176	-0,027
Wahweap	0,024	-0,046	0,306	-0,096	0,033	0,067	-0,036	0,075	0,002

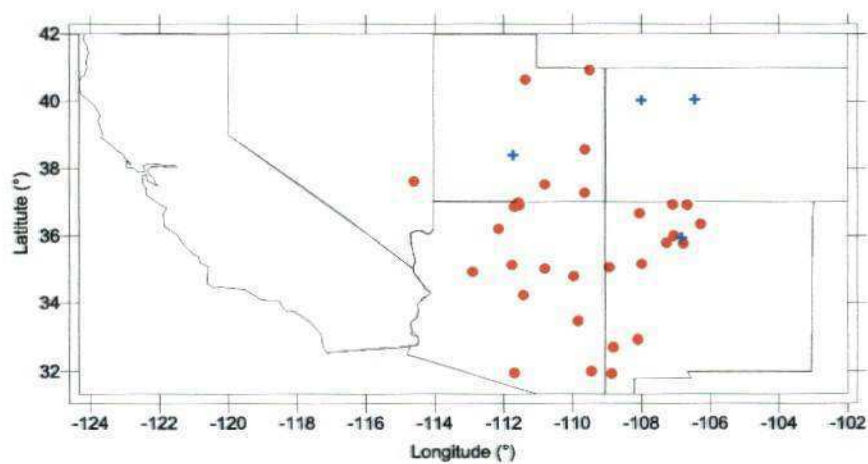
De modo geral, pôde-se notar que, o índice DV evidenciou dias mais quentes em praticamente toda região de estudo. O índice NT predominou na região do Baixo Colorado mostrando aumento dos dias com temperatura mínima maior que 20 °C. Os Dias Frios diminuíram em toda região da bacia. Os valores mínimos das temperaturas máxima e mínima (TXn e TNn) aumentaram o que corrobora com os obtidos por Santos et al. (2010). Por outro lado, os valores máximos das temperaturas máxima e mínima (TXx e TNx) não indicaram variabilidade. Este tipo de configuração tem sido observado por outros pesquisadores como Alexander et al. (2006), Santos et al. (2010) e Im et al. (2011) em várias partes do mundo.

Para a região das geleiras localizada no Alto Rio Colorado, este resultado é de grande relevância, pois em região semelhante Moore et al. (2009) identificou que as geleiras do oeste do Canadá e do noroeste dos Estados Unidos tem reduzido com o aquecimento do planeta desde o final da idade do gelo, no século XIX, e como o Rio Colorado é abastecido em parte pelo degelo das montanhas, o volume de água do mesmo vem sendo afetado e isto acarreta uma série de transtornos, principalmente, às populações que dependem dele para sua sobrevivência e para a agricultura.

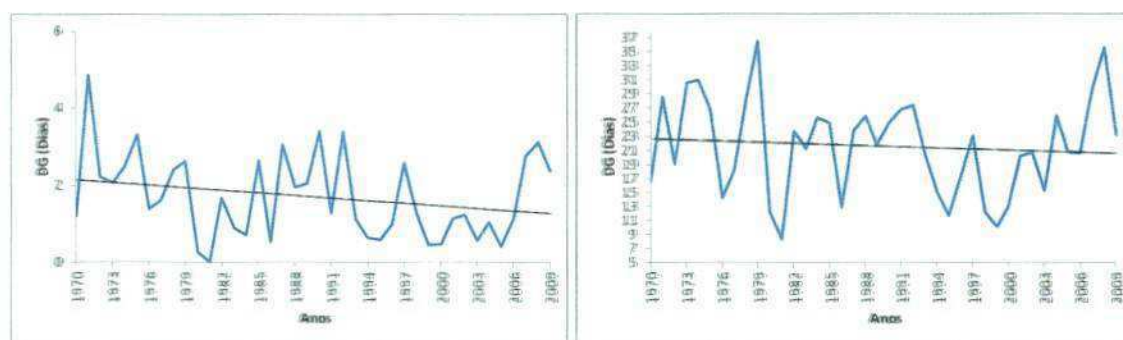


a)

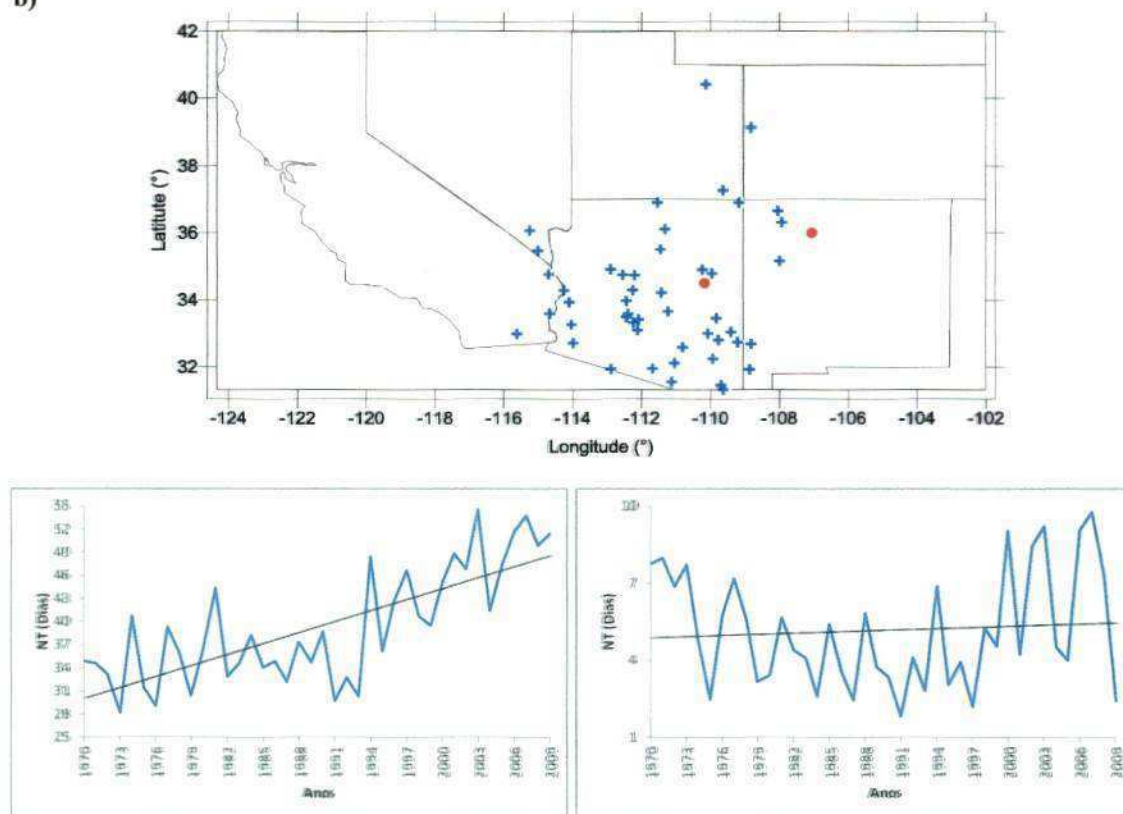
Figura 4: Distribuição espacial (figuras) e temporal (gráficos) das tendências dos índices extremos de temperatura na bacia hidrográfica do Rio Colorado, sendo os gráficos da esquerda correspondendo ao Baixo e os da direita ao Alto Rio Colorado. a) DV, b) DG, c) NT, d) DF, e) TXx, f) TXn, g) TNx, h) TNn e i) ATD. O símbolo (+) representa tendências positivas e (•) tendências negativas, estatisticamente significantes aos níveis entre 5 e 10% ($0,05 \leq p \leq 0,1$).



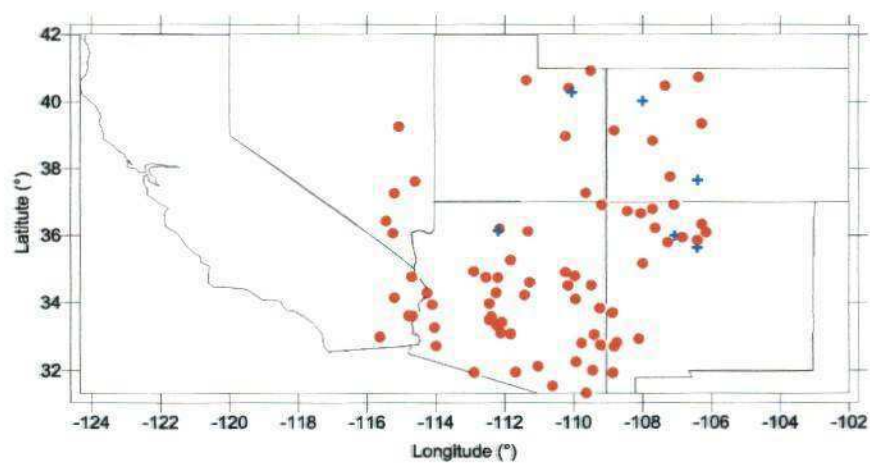
Continuação Figura 4



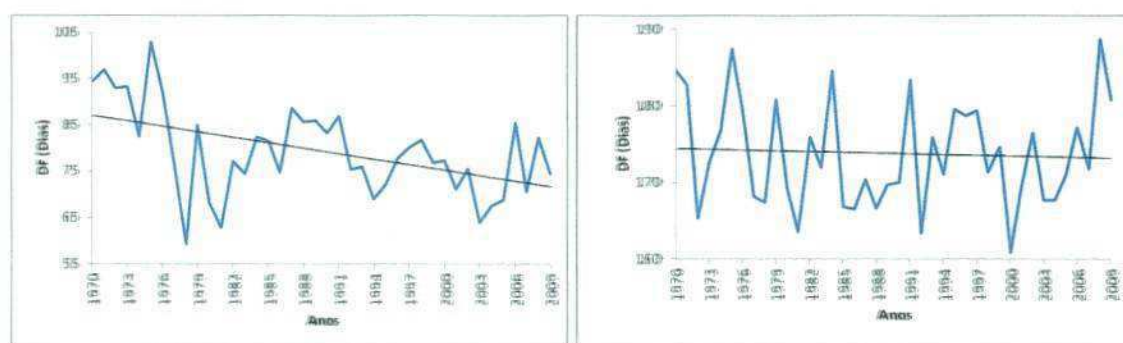
b)



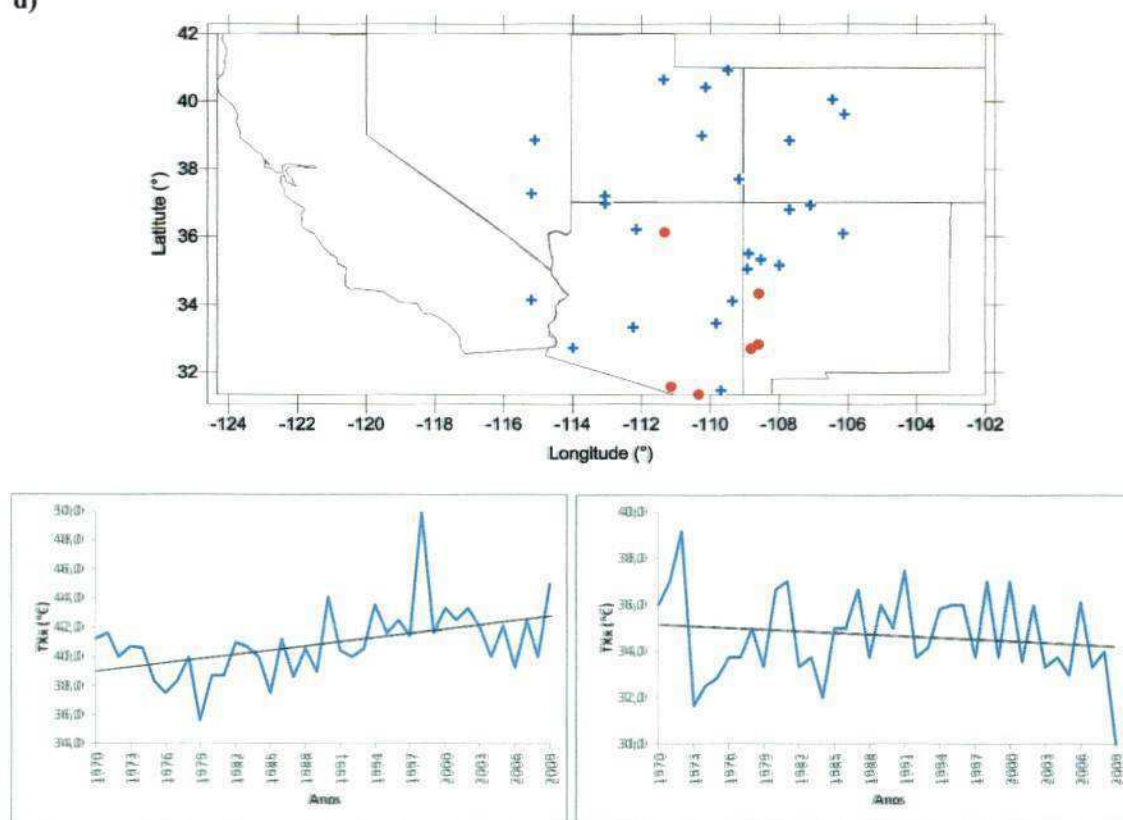
c)



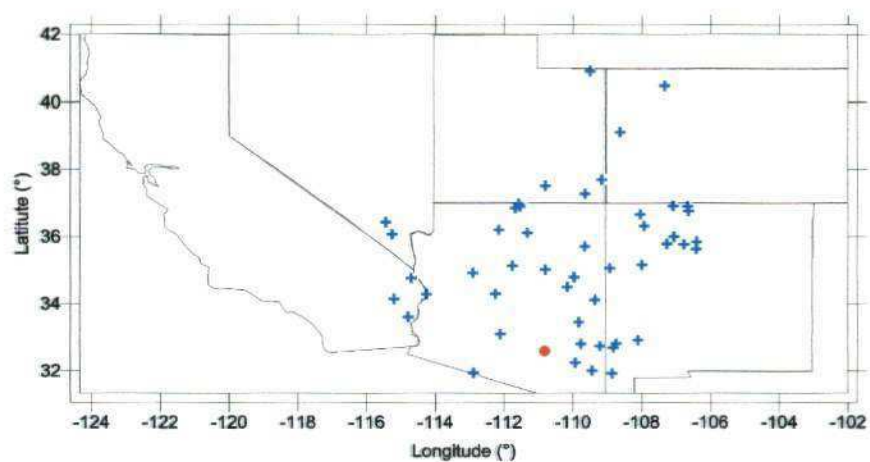
Continuação Figura 4



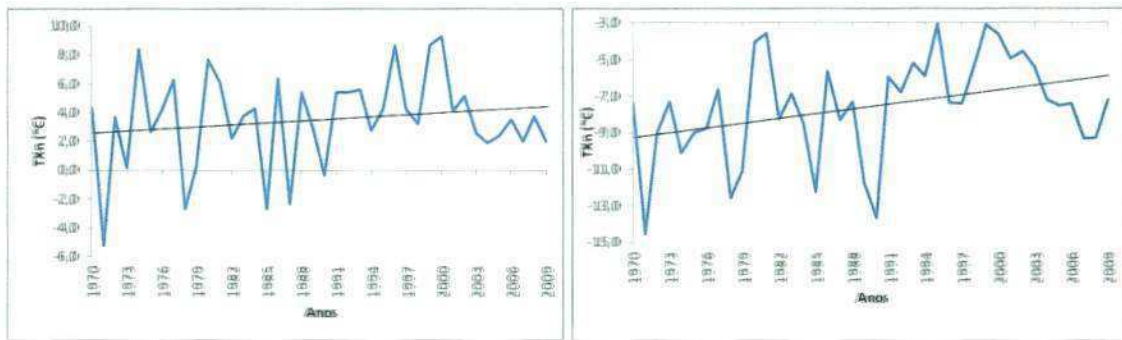
d)



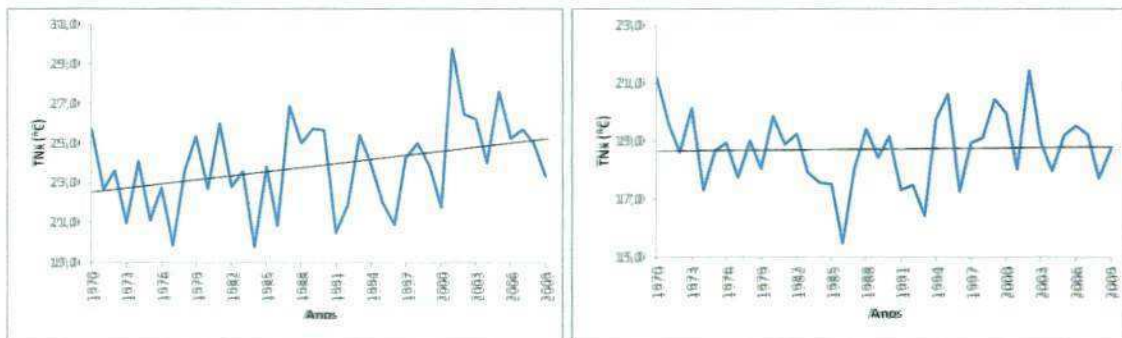
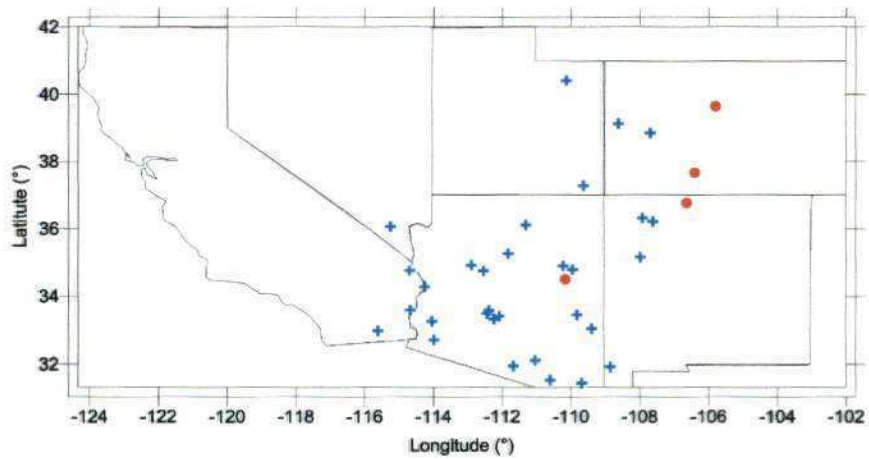
e)



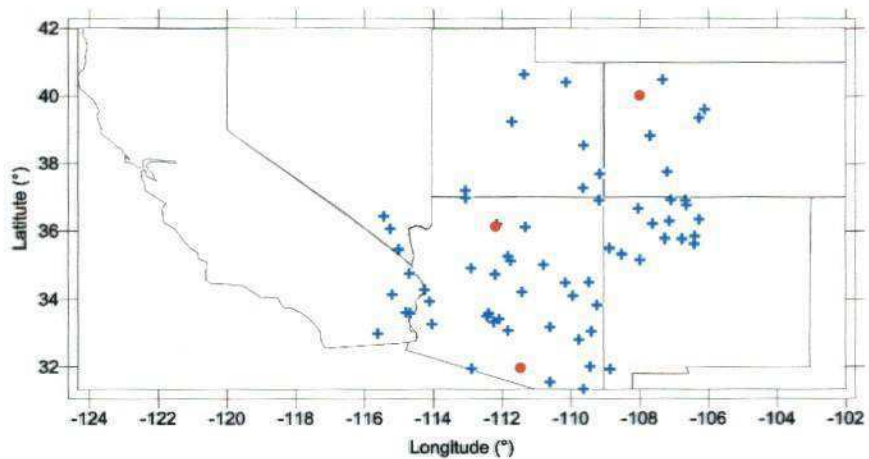
Continuação Figura 4



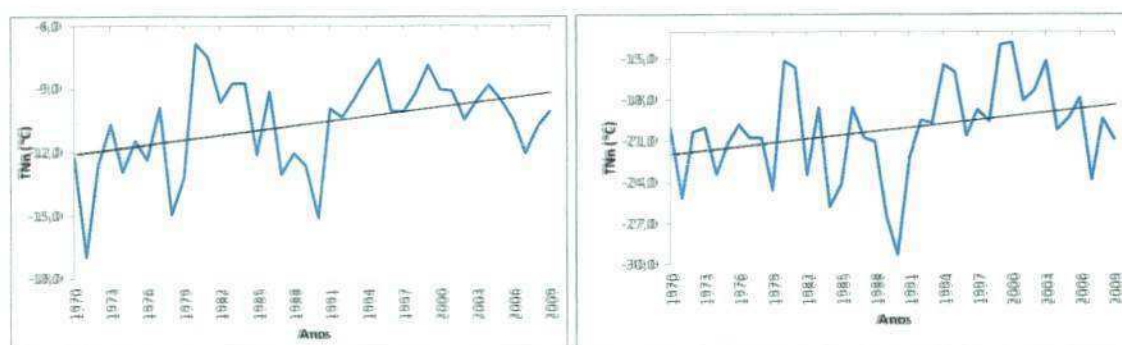
f)



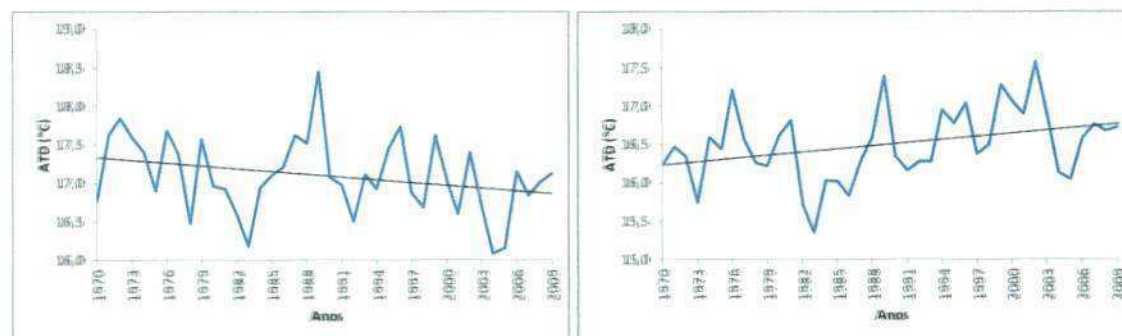
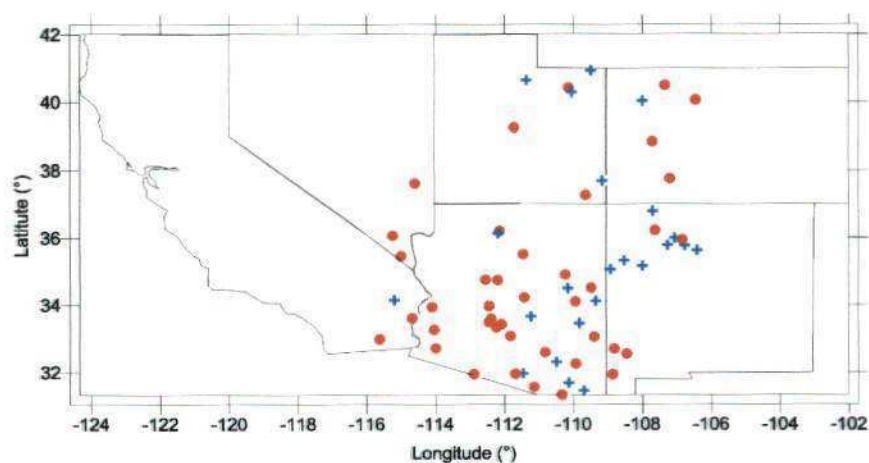
g)



Continuação Figura 4



b)



i)

5.2. Análises dos índices de precipitação para o Baixo e Alto Rio Colorado

As Tabelas 3 e 4 mostram as tendências dos índices extremos de precipitação nas regiões do Baixo e Alto Rio Colorado, respectivamente. Foram consideradas as mesmas estações, bem como, os mesmos níveis de significância utilizados na análise dos índices extremos de temperatura. Deve-se notar que, os índices de precipitação

apresentam variabilidade maior que os de temperatura, por isso, o número de tendências estatisticamente significantes foram menores.

As tendências de precipitação estatisticamente significantes na região do Baixo Rio Colorado (Tabela 3) mostraram que o índice Máximo de Precipitação em um dia (Rx1day) indicou 3 tendências positivas e 7 negativas evidenciando que ocorreu uma diminuição da precipitação em um único dia nesta região, enquanto que, o índice Máximo de Precipitação em 5 dias consecutivos (Rx5day) apresentou apenas tendências negativas em 8 estações, corroborando com a diminuição da precipitação apresentada pelo índice Rx1day. As distribuições espaciais e temporais são mostrada nas Figuras 5a e 5b. Santos et al. (2010) encontraram resultado semelhante para o estado de Utah - USA.

O Índice Simples de Intensidade Diária (ISID) mostrou 10 estações com tendências positivas e 8 com tendências negativas (Figura 5c). Esses resultados não caracterizaram um padrão de comportamento para esse índice. O índice número de Dias com Precipitação Intensa (R10mm) apresentou 2 estações com tendências positivas e 9 com tendências negativas indicando redução do número de dias com precipitação acima dos 10mm (Figura 5d), entretanto, são poucas as estações com significância estatística e, assim, não é possível caracterizar alterações nos padrões anuais desse índice. Estes resultados corroboram com os de Qian et al. (2005) para a China. O índice Dias Consecutivos Secos (DCS) apresentou 3 estações com tendências positivas e 2 com tendências negativas (Figura 5e). Por outro lado, o índice Dias Consecutivos Chuvosos (DCC) apresentou comportamento oposto com diminuição do número máximo de dias consecutivos chuvosos, uma vez que, 2 estações mostraram tendências positivas e 11 estações tendências negativas (Figura 5f). A Precipitação total anual (PRCPTOT) evidenciou tendência positiva em apenas 1 estação e tendências negativas em 14

estações o que indica redução da precipitação total anual na região do Baixo Rio Colorado (Figura 5g). Costa e Soares (2009) e Dejuan et al. (2012) encontraram resultados similares a estes sobre diferentes regiões.

Tabela 3: Índices extremos de precipitação para região do Baixo Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).

Estações	Rx1day	Rx5day	ISID	R10mm	DCS	DCC	PRCPTOT
Alpine	0,222	0,144	0,009	0,002	0,105	0	0,559
Anvil RCH	-0,203	-0,443	0,091	0,052	0,218	-0,045	-0,84
Blach Rivers Pumps	0,532	0,516	0,044	-0,073	0,158	-0,016	0,422
Blue Ridge RS	0,242	0,096	0,031	-0,053	-0,054	-0,01	-1,085
Bouse	-0,15	-0,366	-0,038	-0,024	-0,142	0,015	-0,922
Bright Angel RS	0,285	0,261	0,021	0,021	-0,184	-0,061	0,637
Canelo	-0,008	0,233	-0,003	0,098	-0,01	-0,015	1,398
Casa Grande NM	-0,195	-0,385	-0,01	-0,048	-0,104	-0,009	-1,429
Cascabel	0,362	0,113	0,018	0,023	0,207	-0,014	0,012
Castle Hot Springs	0,398	0,061	0,14	-0,045	0,09	-0,013	-0,669
Chino Valley	-0,113	-0,328	0,059	0,029	0,034	-0,02	0,139
Chiricaua MN	0,088	0,084	0,004	-0,066	0,194	0,001	-0,798
Clinton	0,012	0,707	0,042	0,273	-0,414	0,043	6,211
Colorado City	0,034	0,016	0,028	0,113	-0,58	-0,018	1,905
Cordes	-0,066	-0,101	0,042	0,015	-0,295	-0,038	-0,444
Coronado MN HQ	0,17	0,375	0,012	-0,027	0,145	-0,009	0,271
Douglas	0,057	-0,238	0,046	0,026	0,158	-0,017	-0,245
Douglas Bisbee Intl	-0,185	-0,648	-0,013	-0,074	-0,118	-0,023	-2,261
Duncan	-0,012	0,066	0,019	-0,017	0,544	-0,01	-0,646
Flagstaff AP	-0,219	-0,476	-0,044	-0,22	0,075	-0,026	-4,645
Ft Thomas 2 SW	0,024	-0,185	0,039	0,11	-0,547	-0,005	1,162
FT Valley	0,25	0,106	-0,045	-0,044	0,127	0,029	-1,045
Ganado	-0,133	-0,633	0,007	-0,058	0,199	-0,031	-3,117
Holbrook	-0,467	-0,39	-0,074	-0,157	0,417	-0,031	-4,049
Jerome	-0,04	-0,315	-0,045	-0,177	-0,49	-0,038	-3,747
Keams Canyon	-0,252	-0,212	0,104	0,021	0,712	-0,055	-2,478
Kit Peak	-0,767	-1,929	-0,082	-0,229	-0,619	0,008	-6,732
Kofa Mine	-0,259	-0,51	-0,059	-0,036	-0,932	0,015	-0,543
Laveen 3 SSE	0,067	0,075	-0,034	-0,021	-0,434	-0,007	0,097
Litchfield Park	-0,096	-0,213	0,032	0,026	-0,209	0,003	0,27
Maricopa 4	0,263	0,145	0,016	-0,003	0,157	-0,017	-0,251
MC Nary 2 N	0,1	-0,556	-0,049	-0,227	0,059	-0,031	-5,54
Oracle 2 SE	-0,088	-0,41	-0,011	-0,099	-0,225	-0,012	-2,153
Organ Pipe Cactus NM	-0,058	0,056	-0,009	0,003	-0,781	-0,022	-0,32

Continuação Tabela 3

Estações	Rx1day	Rx5day	ISID	R10mm	DCS	DCC	PRCPTOT
Payson	-0,027	-0,303	0	-0,081	-0,078	-0,01	-1,883
Pearce Sunsites	-0,415	-0,484	-0,036	-0,031	-0,203	-0,002	-0,318
Petrifield Forest	0,12	0,315	0,001	0,04	-0,355	-0,005	0,608
Phantom Ranch	0,328	0,213	0,03	0	0,315	-0,033	0,275
Phoenix AP	-0,064	-0,055	-0,004	-0,023	0,153	-0,001	-0,965
Roosevelt	0,004	-0,201	0,05	-0,042	0,668	-0,034	-1,397
Sacaton	1,125	1,243	0,116	-0,004	-1,174	-0,022	0,123
Saffordagricult	-0,165	-0,31	0,003	0,004	0,328	-0,018	-0,763
Saint Johns	0,19	0,343	0,033	-0,102	0,659	-0,041	-2,844
San Carlos RSRV	-0,044	-0,01	0,008	0,037	-0,781	-0,042	0,593
Snowflake	-0,037	0,314	0	-0,054	0,049	-0,019	-1,572
Springerville	-0,191	0,025	0,006	-0,003	0,073	-0,014	0,11
Tacna 3 NE	-0,35	-0,53	-0,014	-0,041	0,055	-0,023	-1,287
Tombstone	0,411	0,056	0,012	-0,022	0,259	-0,022	-0,177
Tuba City	0,129	0,109	-0,009	0,01	-0,532	0,012	-0,038
Tucson Intl AP	0,002	-0,065	-0,008	-0,073	0,17	-0,018	-1,868
Tumacacori	-0,112	-0,234	0,011	-0,012	-1,018	-0,038	0,107
Walnut Crees	0,087	-0,159	0	-0,017	0,397	0,015	-1,493
Wikieup	-0,063	-0,999	0,031	-0,202	1,908	-0,071	-6,653
Willcox	-0,153	0,122	0,003	0,004	-0,31	0,057	1,293
Winslow AP	-0,509	-0,485	-0,038	-0,104	0,385	0,008	-2,581
Wupatki NM	-0,276	-0,475	-0,05	-0,057	-0,047	-0,022	-1,933
Youngtown	-0,044	-0,251	0,022	0,018	0,209	-0,013	-0,331
Blythe	-0,219	-0,3	-0,042	-0,031	0,537	-0,018	-0,734
Blythe AOS	-0,017	-0,143	0,007	-0,012	-0,078	-0,011	-0,424
Iron MTN	0,033	0,009	0,038	0,023	0,161	-0,007	0,362
Needles	-0,243	-0,277	-0,014	-0,015	0,386	0,004	-1,196
Parker RSVR	0,185	0,157	0,084	0,053	0,387	0,003	1,155
Caliente	0,111	-0,19	-0,015	-0,053	-0,039	-0,004	-1,5
Desert NWR	0,151	0,15	0,017	0,011	0,289	0	0,226
Elgin	0,177	0,421	0,016	-0,028	0,284	-0,083	1,094
Las Vegas AP	-0,121	-0,026	-0,017	-0,008	0,125	-0,003	-0,576
Lund	0,028	-0,2	-0,021	-0,066	0,064	-0,001	-1,165
Overton	-0,061	-0,24	0,034	0,047	1,149	-0,002	-1,356
Pahrnagat WR	-0,079	-0,181	0,055	0,061	0,31	-0,019	0,066
Ruth	0,118	0,087	-0,007	0,017	-0,088	0,04	0,632
Searchlight	-0,523	-0,564	-0,031	-0,055	0,666	-0,01	-1,539
Animas 3 ESSE	-0,24	-0,136	0,024	0,058	0,101	-0,016	-0,336
Cliff 11 SE	0,024	-0,172	0,006	-0,004	-0,121	-0,016	-0,301
Lordsburg 4 SE	-0,103	-0,218	-0,022	0	0,161	0,011	-0,704
Mimbres	0,188	0,067	0,078	0,003	-0,601	-0,075	0,451
Quemado	-0,049	-0,04	0,054	0,075	0,426	-0,03	-0,898
Redrock 1 NNE	-0,441	-0,54	-0,016	-0,007	-0,007	-0,005	-1,014
Reserve RS	0,296	0,353	0,011	-0,082	-0,267	-0,057	-2,233

Continuação Tabela 3

Estações	Rx1day	Rx5day	ISID	R10mm	DCS	DCC	PRCPTOT
White Signal	0,09	0,361	-0,008	-0,025	0,065	-0,014	-0,444
Zuni	-0,121	-0,352	0,005	-0,083	-0,137	-0,034	-2,139
Zion NP	-0,055	0,124	0,006	-0,012	0,129	-0,04	-0,346

As tendências de precipitação estatisticamente significativas na região do Alto Rio Colorado (Tabela 4) evidenciaram que, o índice Rx1day indicou somente tendências positivas em 6 estações mostrando aumento da precipitação em um dia nesta região (Figura 5a). O mesmo aconteceu para o índice Rx5day, que apresentou 4 estações com tendências positivas e 3 estações com tendências negativas, tornando-se incapaz de indicar mudanças para a região (Figura 5b). Os resultados mostrados por estes índices concordam com os encontrados por Alexander et al. (2006) e Santos et al. (2010).

O ISID indicando 16 estações com tendências positivas e 3 com tendências negativas mostrou aumento da quantidade diária de precipitação em dias chuvosos (Figura 5c). O índice R10mm apresentou apenas 8 estações com tendências positivas evidenciando aumento do número de dias com precipitação anual intensa acima dos 10mm (Figura 5d). O índice DCS apresentou 2 estações com tendências positivas e 2 com tendências negativas (Figura 5e), enquanto que, o índice DCC apresentou apenas 1 estação com tendência positiva (Figura 5f). A Precipitação total anual em dias chuvosos (PRCPTOT) evidenciou tendência positiva em apenas 6 estações e tendência negativa em 1 estação.

A variabilidade temporal obtida através dos valores médios das tendências dos índices extremos de precipitação de cada região (Alto e Baixo Rio Colorado) do período estudado está mostrada na Figura 5. Verificou-se que, os índices Rx1day e Rx5day apresentaram tendências negativas no Baixo Rio Colorado e positivas no Alto Rio

Colorado (Figura 5a e 5b). Para o ISID houve aumento da tendência no Baixo Colorado e redução da tendência no Alto Rio Colorado (Figura 5c). O contrário aconteceu para o índice R10mm (Figura 5d). Nos Dias Consecutivos Secos (DCS) ocorreu no Baixo e Alto Rio Colorado aumento e diminuição das tendências, respectivamente (Figura 5e), porém com pouca representatividade. Consequentemente, os Dias Consecutivos Chuvosos em ambas regiões, apresentaram tendências negativas (Figura 5f). Por último, o índice PRCPTOT mostrou tendências negativas no Baixo Colorado e positiva no Alto Colorado (Figura 5g). Como a nascente do rio situa-se na região do Alto Colorado, o aumento da precipitação total nesta região é de extrema importância para o fluxo do mesmo que é constituído pelas chuvas e pelo do degelo das montanhas rochosas do estado do Colorado que recebem neve durante o inverno.

Tabela 4: Índices extremos de precipitação para região do Alto Rio Colorado, EUA. Os valores destacados e em negrito apresentaram alta significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$), os apenas destacados apresentaram boa significância estatística ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$).

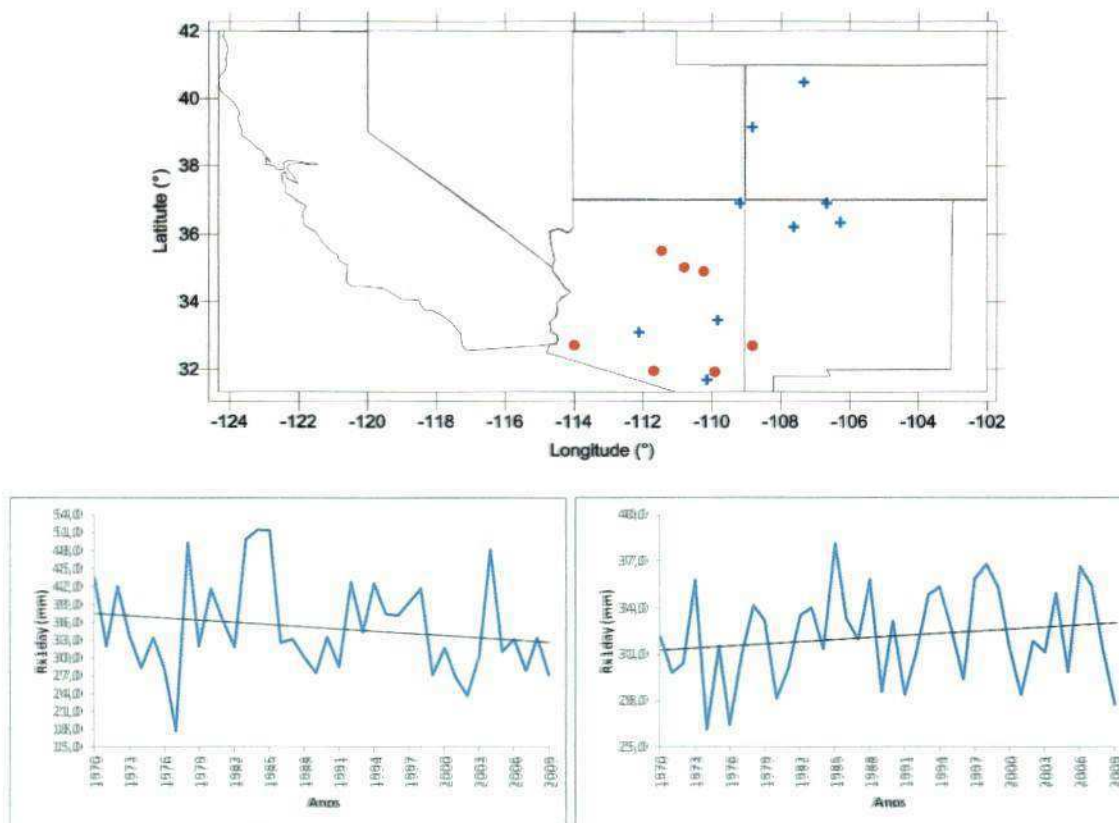
Estações	Rx1day	Rx5day	ISID	R10mm	DCS	DCC	PRCPTOT
Cabin Creek	0,03	0,233	0,039	0,149	-0,158	-0,011	3,85
Climax	0,113	0,124	0,014	0,062	0,045	-0,051	2,104
Del Norte	0,207	0,265	0,007	0,065	-0,312	0,01	0,596
Dillon 1 E	0,082	0,143	0,009	0,063	-0,081	0,015	1,368
Fruita	0,26	0,185	0,027	0,04	-0,184	-0,017	1,202
Grand Junction Walker	0,063	0,025	0,013	0,047	-0,424	-0,002	0,818
Hayden	0,203	0,14	0,009	0,076	0,084	-0,015	2,348
Hermit 7 ESSE	-0,124	-0,074	-0,083	-0,101	-0,115	0,023	-1,96
Kremmiling	-0,023	-0,26	-0,038	-0,074	-0,358	-0,03	-0,587
Meeker	0,449	-0,805	0,048	-0,038	1,238	-0,116	-3,053
Paonia	0,121	0,005	0,006	-0,015	0,078	0,003	-0,14
Walden	-0,006	0,39	0,01	0,103	-0,218	0,009	2
Abiquiu Dam	-0,015	-0,036	-0,005	-0,001	0,068	0,013	0,425
Bloomfield 3 SE	-0,042	-0,165	0,042	0,003	0,076	-0,027	-1,397
Cochiti Dam	-0,331	-0,569	-0,022	-0,002	0,363	0,022	-1,477
Chama	0,566	0,484	0,048	0,106	0,095	0,006	2,527
Cuba	0,37	0,472	0,026	0,027	-0,171	0,003	0,418
Dulce	-0,083	-0,105	-0,015	0,002	-0,208	0,004	0,311
El Rito	0,3	0,321	0,054	0,106	0,301	-0,014	1,015

Continuação Tabela 4

Estações	Rx1day	Rx5day	ISID	R10mm	DCS	DCC	PRCPTOT
Espanola	0,096	-0,004	-0,024	-0,018	-0,251	0,026	0,07
Fruitlan	0,048	-0,218	-0,008	-0,035	-0,148	0,002	-1,022
Gallup Muni AP	-0,196	0,039	-0,009	0,043	-0,082	0,015	0,215
Grants AP	-0,17	-0,34	0,009	-0,046	0,215	-0,023	-1,629
Jemez Springs	0,218	0,462	0,009	-0,058	-0,163	-0,022	-1,952
Lindrith	0,179	0,412	0,032	0,071	-0,055	0,011	1,133
Los Alamos	-0,122	-0,509	-0,002	0,022	0,025	-0,028	-0,139
Lybrook	0,533	0,52	0,092	0,13	0,118	-0,003	1,894
Mc Gaffey 5 SE	0,218	0,573	0,055	0,113	0,059	0,008	2,059
Navajo	-0,062	-0,204	0,017	0,05	0,183	-0,013	0,406
Otis	0,02	0,112	0,078	0,153	0,258	0,016	1,844
Tierra Amarilla 4 N	0,074	0,091	0,03	0,138	0,309	-0,012	2,505
Torreon Navajo Mission	0,077	0,065	0,014	-0,035	-0,424	0,017	0,056
Wolf Canyon	0,208	0,353	0,048	0,06	0,209	-0,033	0,08
Bluff	0,058	-0,166	-0,015	-0,049	-0,106	-0,024	-1,198
Bullfrog Basin	0,159	0,114	-0,001	-0,019	-0,687	0,003	-0,506
Cedar Point	-0,318	-0,619	-0,03	-0,032	-0,5	-0,02	-0,94
Flaming George	-0,269	-0,39	0,017	-0,024	0,097	0,003	-1,281
Green River Aviation	-0,022	0,278	0,029	0,063	-0,285	0,026	2,308
Kamas	0,002	-0,033	-0,01	-0,049	-0,04	-0,01	-1,682
Loa	-0,141	-0,254	-0,02	-0,046	-0,11	-0,01	-1,041
Manti	-0,019	0,016	0,014	0,025	0,082	-0,03	-0,149
Moab	-0,076	-0,012	0,012	0,016	-0,278	0,005	0,006
Neola	0,097	0,186	0,023	0,041	-0,421	-0,02	1,072
Roosevelt Radio	0,12	0,097	-0,002	0	0,06	0,006	0,415
Lees Ferry	0,281	0,213	0,003	0,033	0,336	0,006	0,959
Page	-0,045	0,038	-0,001	-0,001	-0,013	0,021	-0,159
Teec Nos pos	0,548	0,61	0,112	0,051	0,357	-0,007	0,422
Wahweap	0,131	0,127	0,071	0,056	0,076	-0,002	0,646

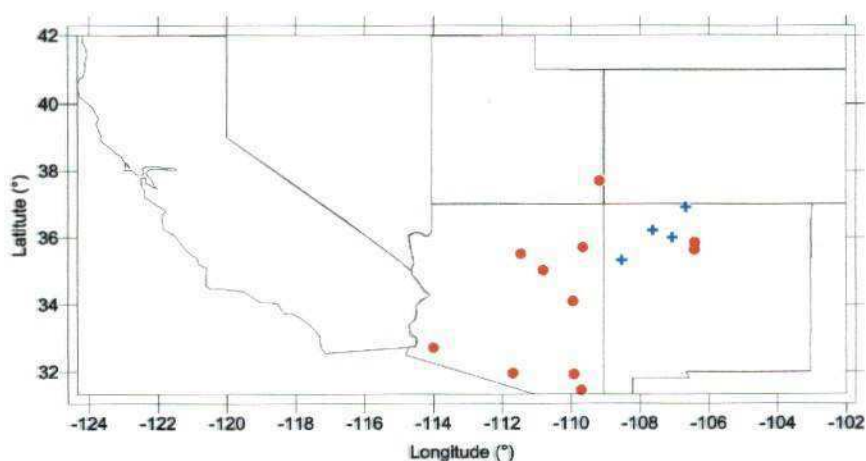
Ressalta-se que, de uma maneira geral, os estudos sobre os índices extremos precipitação tem mostrado tanto tendências de aumento como de diminuição, bem como tendência indefinida. O que se pode observar é que, os extremos de precipitação na região do Baixo Colorado tendem a diminuir, ao contrário, da região do Alto Colorado. Isto pode estar relacionado com a alta do Pacífico que impede a umidade e a chuva de atingir a costa sudoeste dos EUA, mas como a precipitação evidenciou poucas estações

com tendências estatisticamente significantes é difícil ter uma precisão acerca desta conclusão.

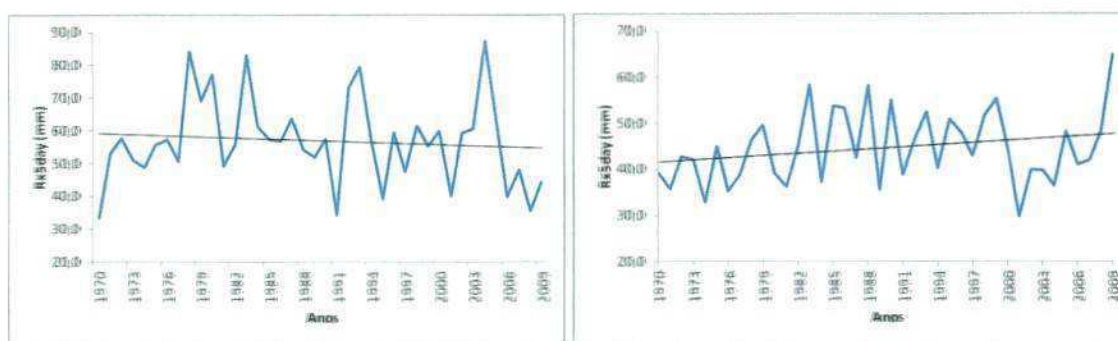


a)

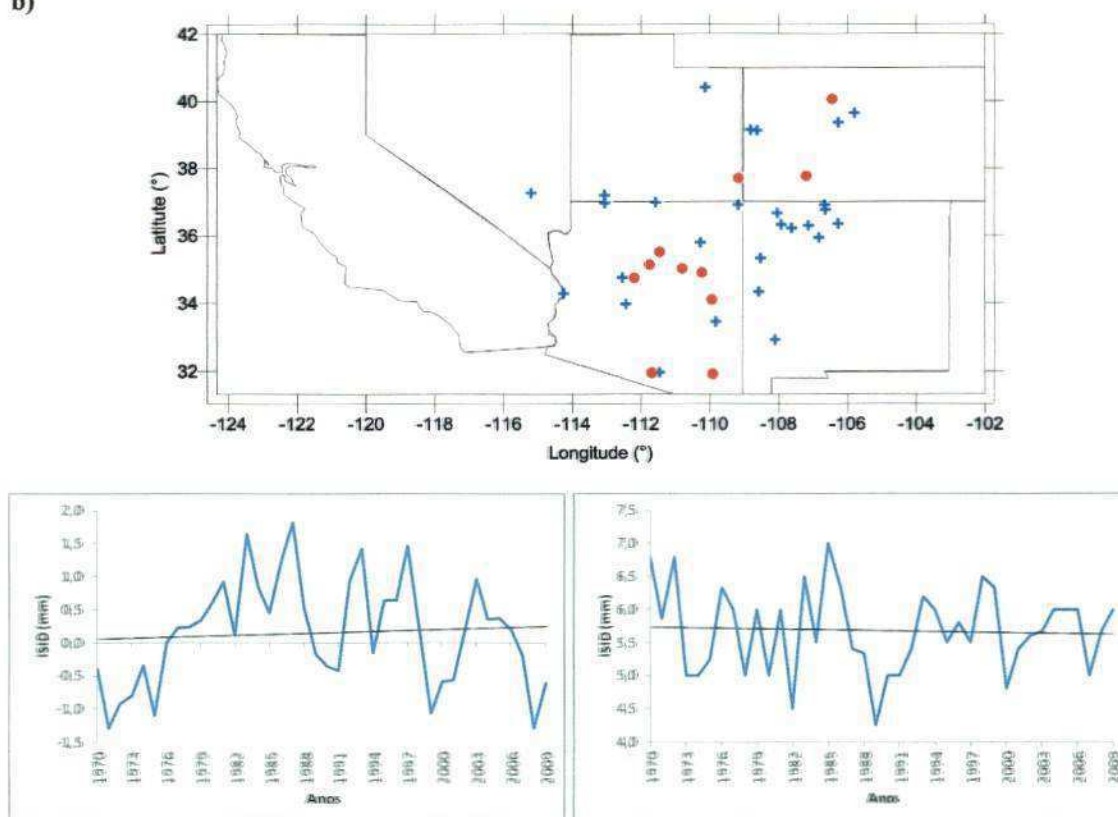
Figura 5: Distribuição espacial (figuras) e temporal (gráficos) das tendências dos índices extremos de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Colorado, sendo os gráficos da esquerda correspondendo ao Baixo e os da direita ao Alto Rio Colorado. a) Rx1day, b) Rx5day, c) ISID, d) R10mm, e) DCS, f) DCC e g) PRCPTOT. O símbolo (+) representa tendências positivas e (•) tendências negativas, estatisticamente significantes aos níveis entre 5 e 10% ($0,05 \leq p \leq 0,1$).



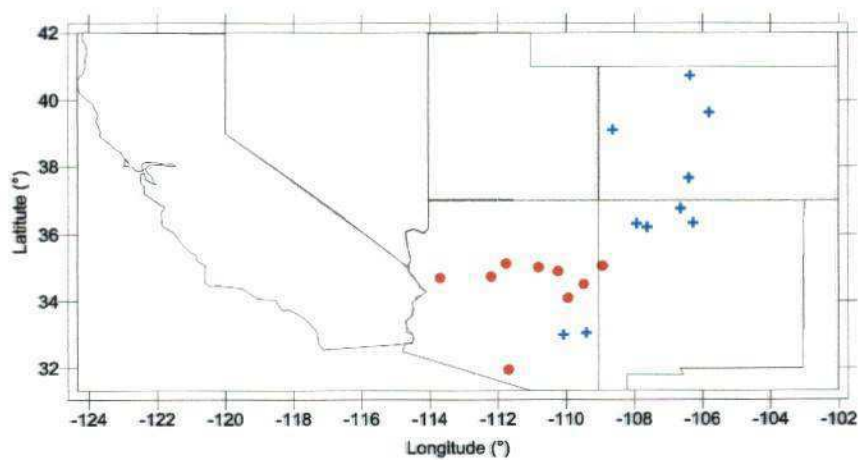
Continuação Figura 5



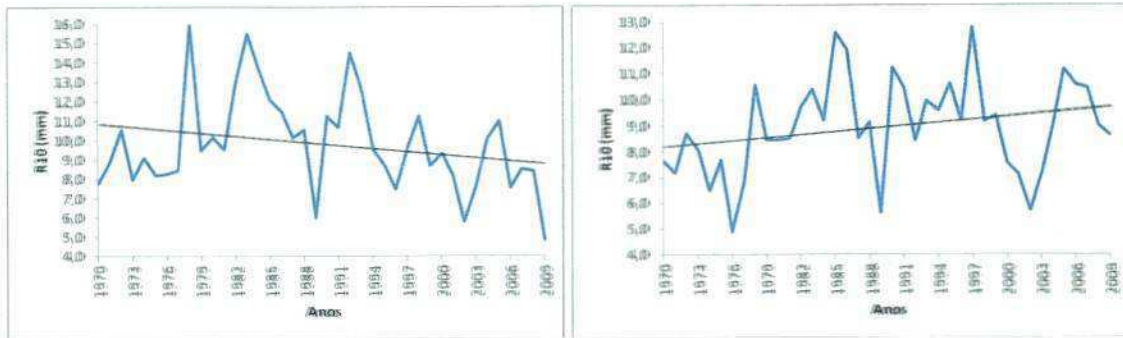
b)



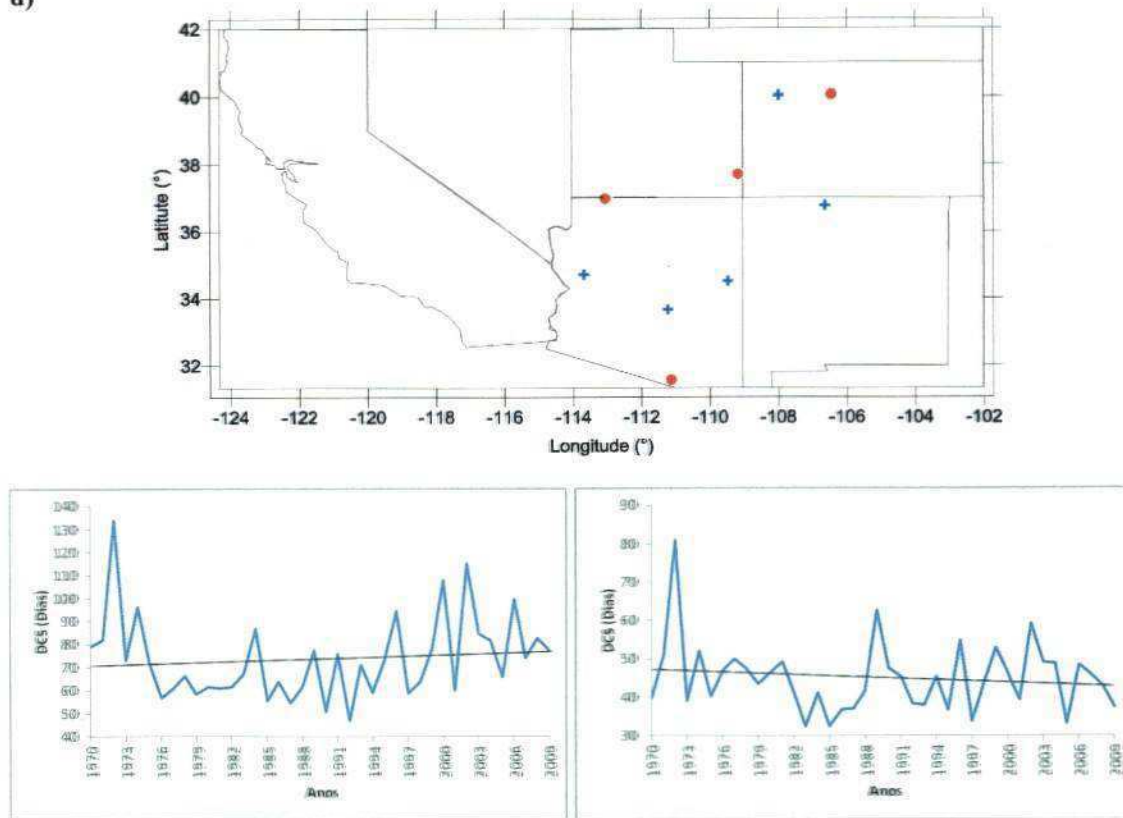
c)



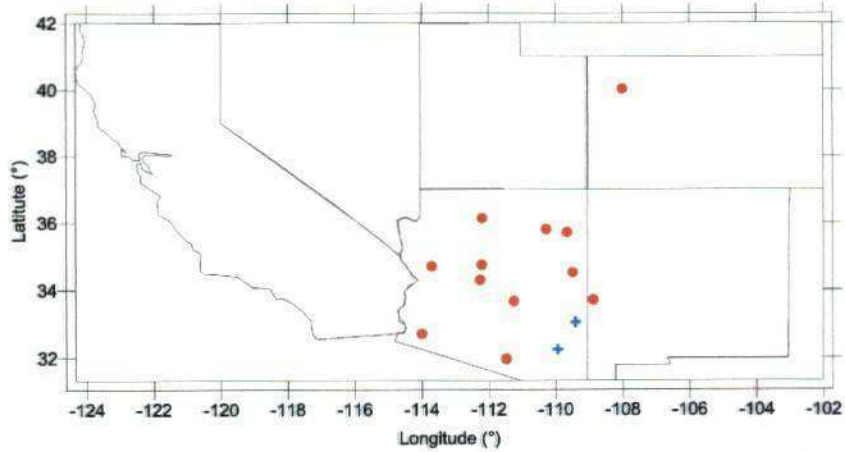
Continuação Figura 5



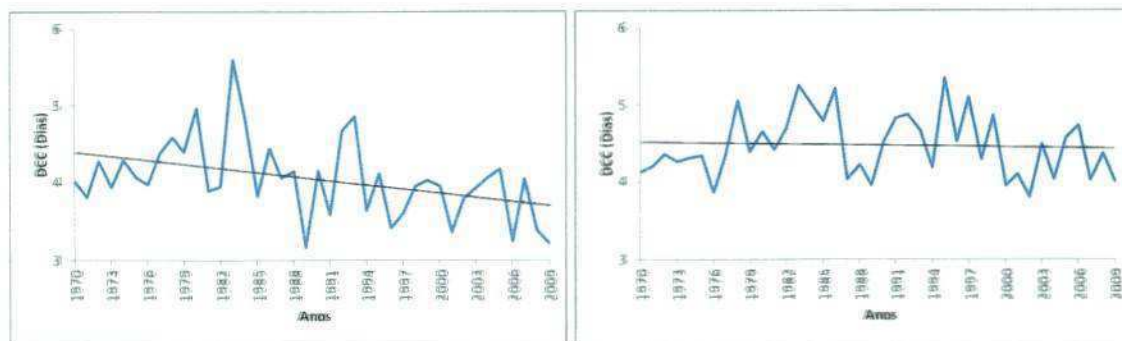
d)



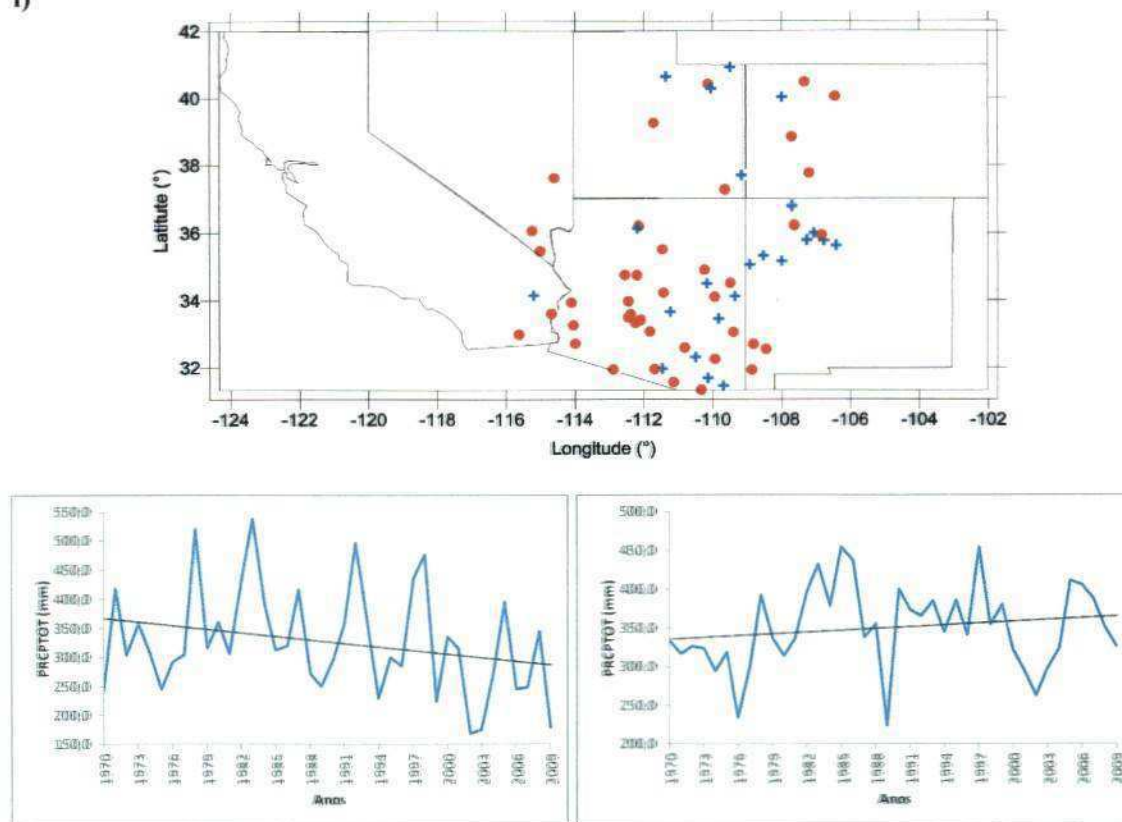
e)



Continuação Figura 5



f)



g)

Para uma melhor compreensão dos resultados discutidos nas seções 5.1 e 5.2 são mostrados nas Tabelas 5 e 6, os valores em porcentagem das tendências significativas (aos níveis de 5 e 10%) e não significativas dos índices extremos de temperatura e precipitação para as regiões do Baixo e Alto Rio Colorado. Alguns índices apresentaram mais tendências sem significância estatística do que com significância, como é o caso da ATD representado pela diferença entre as temperaturas máximas e mínimas. Como

apenas as mínimas apresentaram aumento significativo e as máximas oscilaram muito, isso leva a termos uma grande variação nesse índice deixando-o sem muita significância estatística. Observa-se que, as estações analisadas para o Baixo Rio Colorado (Tabela 5) apresentaram aumento significativo dos seguintes índices de temperatura: DV (51%), NT (49%), TXn (33%), TNx (30%) e TNn (47%) e diminuição dos índices: DG (17%), DF (63%) e ATD (40%). Já os extremos de precipitação mostraram aumento dos índices ISID (12%) e DCS (4%) e diminuição dos índices Rx1day (9%), Rx5day (10%), R10mm (11%), DCC (14%) e PRCPTOT (17%). Estas porcentagens são representativas dos resultados apresentados anteriormente.

Tabela 5: Porcentagem das estações mostrando tendências significativas e não significativas aos níveis de 5 e 10% para temperatura e precipitação na região do Baixo Rio Colorado, EUA.

Índice	Tendência positiva com significância (%)	Tendência positiva sem significância (%)	Tendência negativa com significância (%)	Tendência negativa sem significância (%)
DV	51	36	1	12
DG	0	41	17	42
NT	49	37	1	12
DF	1	11	63	25
TXx	15	44	6	35
TXn	33	53	1	12
TNx	30	41	1	28
TNn	47	44	2	6
ATD	16	23	40	21
Rx1day	4	41	9	47
Rx5day	0	42	10	48
ISID	12	49	10	28
R10mm	2	36	11	51
DCS	4	54	2	40
DCC	2	19	14	65
PRCPTOT	1	31	17	51

Das estações analisadas para a região do Alto Rio Colorado (Tabela 6), os seguintes índices de temperatura apresentaram aumento significativo: DV (50%), NT (17%), TXx (29%), TXn (44%), TNx (15%), TNn (54%) e ATD (25%) e diminuição

dos índices: DG (33%) e DF (48%). Os extremos de precipitação mostraram aumento dos índices: Rx1day (13%), Rx5day (8%), R10mm (17%) e PRCPTOT (25%) e diminuição dos índices: ISID (33%) e DCC (2%).

Tabela 6: Porcentagem das estações mostrando tendências significativas e não significativas aos níveis de 5 e 10% para temperatura e precipitação na região do Alto Rio Colorado, EUA.

Índice	Tendência positiva com significância (%)	Tendência positiva sem significância (%)	Tendência negativa com significância (%)	Tendência negativa sem significância (%)
DV	50	35	0	15
DG	8	19	33	40
NT	17	65	2	17
DF	10	13	48	29
TXx	29	50	0	21
TXn	44	50	0	6
TNx	15	56	6	23
TNn	54	44	2	0
ATD	25	40	19	17
Rx1day	13	50	0	38
Rx5day	8	54	6	31
ISID	33	33	6	27
R10mm	17	46	0	38
DCS	4	44	4	48
DCC	0	50	2	48
PRCPTOT	13	50	2	35

5.3. Correlações entre os índices extremos de temperatura para o Baixo e Alto Rio Colorado e índices de grande escala climáticos e oceânicos

As Tabelas 7 e 8 mostram as correlações entre os índices extremos de temperatura e as anomalias de TSM e teleconexões dos oceanos Atlântico e Pacífico. A finalidade desta análise foi investigar uma possível influência destes fenômenos nas regiões do Baixo e Alto Rio Colorado, respectivamente. As seguintes anomalias foram analisadas: Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), o Pacífico - América do Norte (PNA), Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4. Atualmente, a PDO e a AMO estão em uma fase fria que deve continuar até 2025,

retornando a uma fase quente com pico por volta de 2040. Neste estudo foram discutidas apenas as correlações obtidas pelo método de Pearson que apresentaram significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) e cujos valores estão destacados nas referidas tabelas.

Para o Baixo Rio Colorado (Tabela 7), os índices de temperatura DG, DF e TNn, mostraram correlações estatisticamente significantes com a PDO. Todos os índices de temperatura, com exceção do índice TXn, apresentaram correlação com significância estatística com a AMO. Já o padrão PNA mostrou influência sobre os índices DG, DF, TNn e ATD. O Nino 3.4 influenciou apenas o índice DF, enquanto que o Nino 4 atuou sobre os índices DF e ATD.

Tabela 7: Correlações entre os índices extremos de temperatura e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Baixo Rio Colorado.

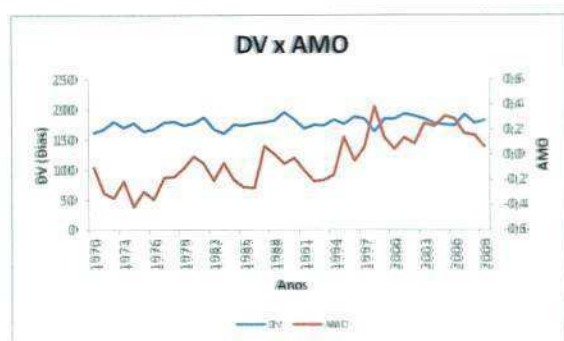
Índices	PDO	AMO	PNA	Nino 1+2	Nino 3	Nino 3.4	Nino 4
DV	0,00	0,28	-0,05	-0,19	-0,08	0,00	0,14
DG	-0,31	-0,32	-0,28	-0,01	-0,08	-0,10	-0,19
NT	-0,07	0,65	0,15	-0,01	0,04	0,05	0,18
DF	-0,41	-0,40	-0,41	-0,02	-0,18	-0,27	-0,40
TXx	-0,14	0,46	0,08	0,18	0,11	0,08	0,12
TXn	0,08	0,05	0,20	0,02	-0,01	-0,08	-0,08
TNx	0,07	0,50	0,19	0,11	0,13	0,12	0,20
TNn	0,31	0,37	0,41	0,19	0,22	0,20	0,22
ATD	-0,23	-0,32	-0,38	-0,18	-0,26	-0,26	-0,30

Estes resultados mostraram que, os extremos de temperatura analisados para a região do Baixo Rio Colorado podem ser explicados por estas anomalias de TSM. De acordo com Blakemore e Thomas (2007), McCabe et al. (2009) e Hurkmans et al. (2009) a PDO, a AMO, o PNA e padrões de Niño tem efeitos significativos sobre o clima dos estados Unidos e têm influenciado a temperatura na região, concordando com os resultados obtidos nesse estudo. O impacto das anomalias de TSM e teleconexões na

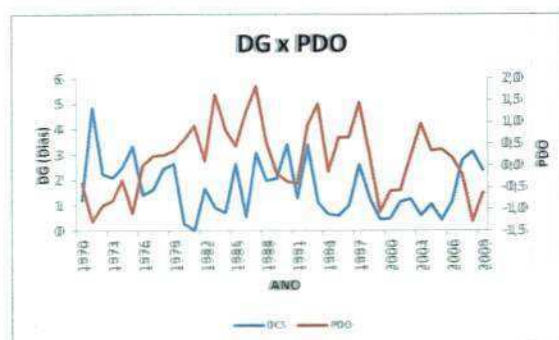
América do Norte foram investigados por Latif e Barnett (1994) e Bond e Harrison (2000).

A Figura 6 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, l, m, n, o, p, q, r, s) mostra a variabilidade temporal dos índices de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico no Baixo Rio Colorado cujas correlações foram apresentadas na Tabela 7. A Figura 6a representa a variabilidade temporal do índice DV com a AMO. Observou-se, com isso, uma correlação positiva entre os mesmos, indicando que um aumento nesta anomalia de TSM positiva torna os dias mais quentes. Já nas Figuras 6b, 6c e 6d observou-se a variabilidade temporal do índice DG com as anomalias PDO, AMO e PNA, mostrando correlações negativas deste índice com as respectivas anomalias TSM. Isto indica que um aumento destas anomalias positivas provoca diminuição dos dias gelados na região. A Figura 6e mostra a variabilidade temporal do índice NT com a AMO onde nota-se uma correlação positiva deste índice com a anomalia de TSM, indicando que o aumento desta anomalia positiva torna as noites mais quentes. A variabilidade temporal do índice DF (Figuras 6f a 6j) evidenciou correlações negativas com todas as anomalias de TSM analisadas, com exceção dos Niños 1+2 e 3. Com isso, pode-se notar que o aumento destas anomalias positivas causa uma diminuição do dias frios. A Figura 6l mostra a variabilidade do índice TXx com a AMO. Observou-se, contudo, uma correlação positiva deste índice com esta anomalia evidenciando que o aumento da anomalia positiva AMO influencia em um aumento do valor máximo da temperatura máxima anual. O índice TNx e a AMO, cuja a variabilidade temporal é mostrada na Figura 6m, se correlacionaram positivamente, mostrando que um aumento na AMO positiva contribui para o aumento do valor máximo da temperatura mínima. A variabilidade temporal do índice TNn com as anomalias PDO, AMO e PNA são mostradas nas Figuras 6n, 6o e 6p, evidenciando

correlações positivas entre os mesmos. Isto indica que um aumento nas anomalias positivas de TSM provoca o aumento das temperatura mínimas. As Figuras 6q a 6s mostram a variabilidade do índice ATD com a AMO, PNA e Niño 4. Estas anomalias em fase positiva se correlacionaram com o índice negativamente o que evidencia que o aumento destas anomalias positivas diminui a diferença média entre as temperaturas máximas e mínimas. Os efeitos das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico analisada sobre o Baixo Rio Colorado corroboram com os analisados por Blakemore e Thomas (2007) e Hurkmans et al. (2009).

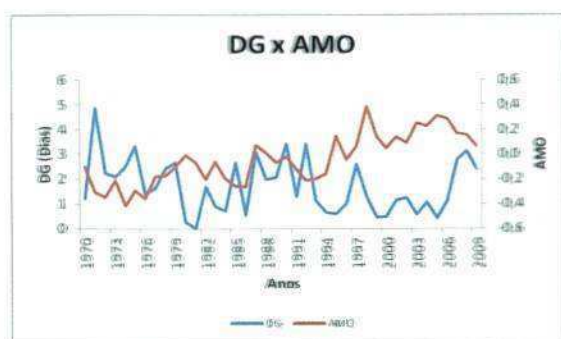


a)

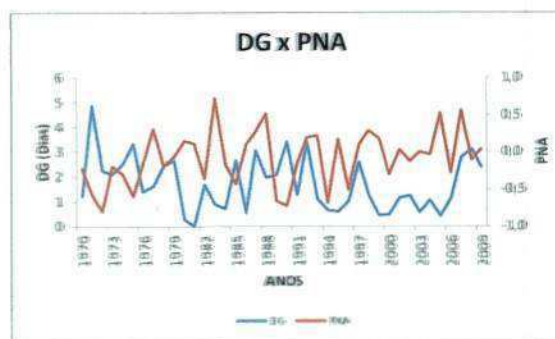


b)

Figura 6: Variabilidade temporal dos índices extremos de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Baixo Rio Colorado que apresentaram correlação significativa. a) DV e AMO, b) DG e PDO, c) DG e AMO d) DG e PNA, e) NT e AMO, f) DF e PDO g) DF e AMO h) DF e PNA i) DF e NIÑO 3.4 j) DF e NIÑO 4. l) TXx e AMO, m) TNx e AMO, n) TNn e PDO, o) TNn e AMO, p) TNn e PNA q) ATD e AMO r) ATD e PNA e s) ATD e NIÑO 4.

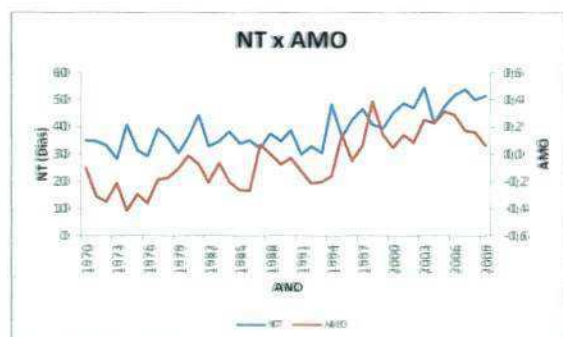


c)

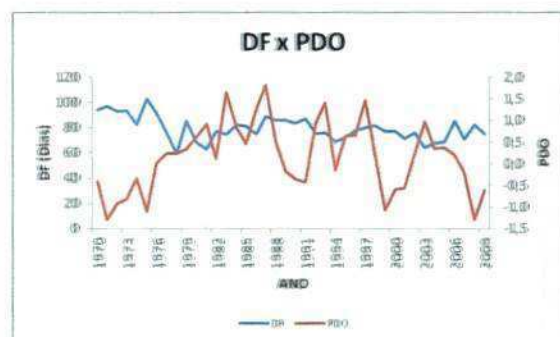


d)

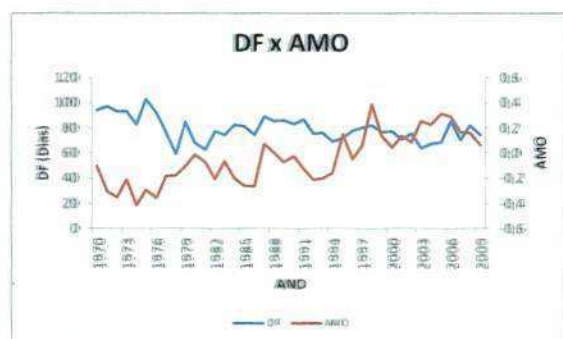
Continuação Figura 6



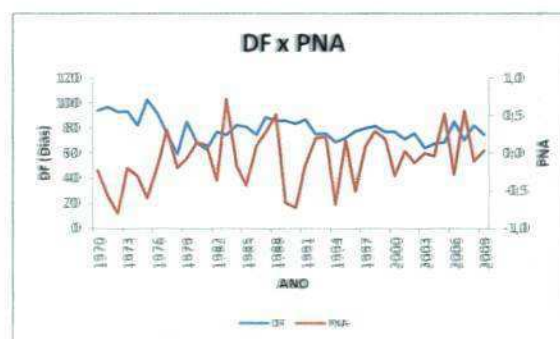
e)



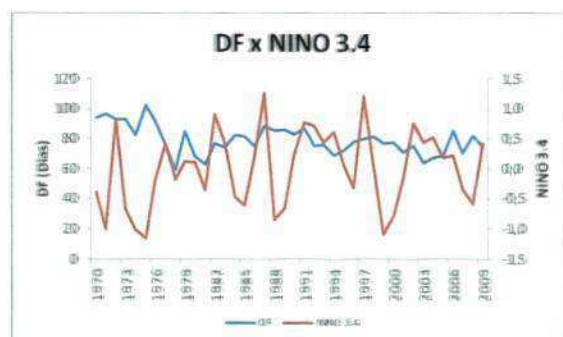
f)



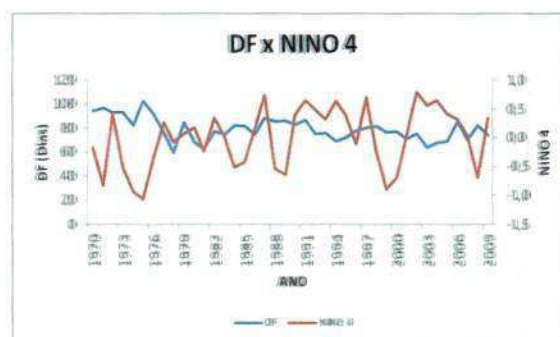
g)



h)

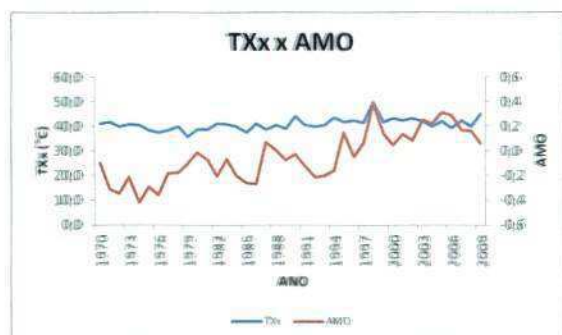


i)



j)

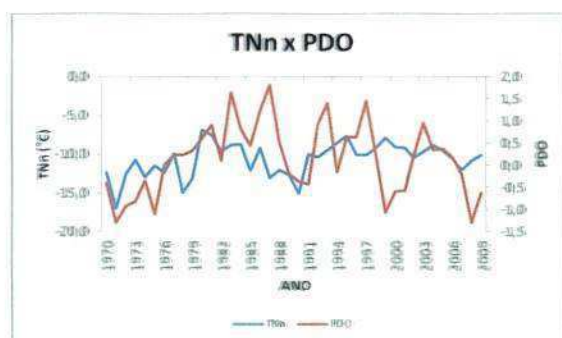
Continuação Figura 6



d)



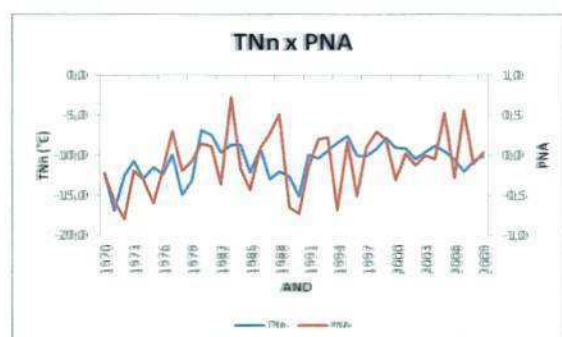
m)



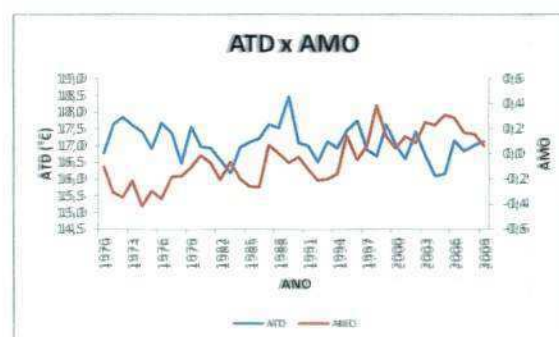
n)



o)

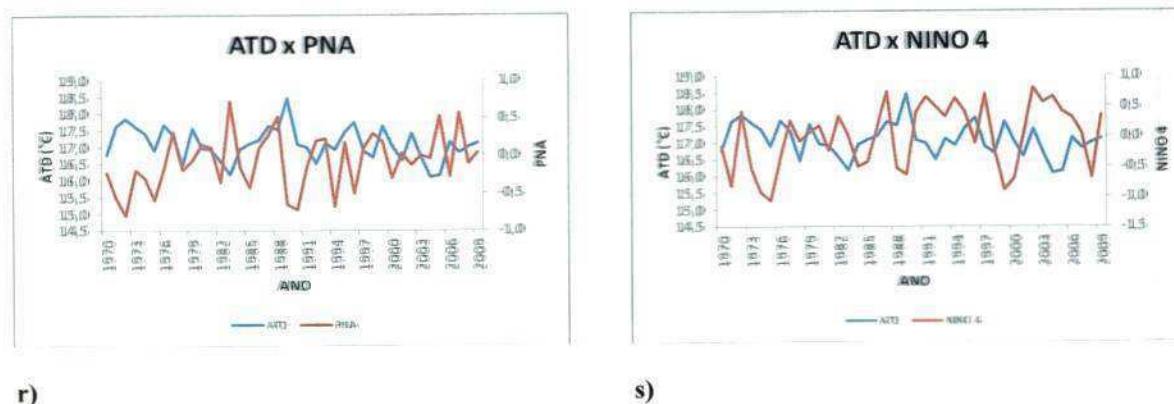


p)



q)

Continuação Figura 6



A região do Alto Rio Colorado (Tabela 8) recebeu contribuição das anomalias PDO, AMO e PNA concordando com estudo proposto por Matter et al. (2010) onde verificou-se que o regime climático e hidroclimático da região do Alto Rio Colorado recebe influência destas anomalias. Os índices de temperatura NT, DF, TNx e ATD mostraram correlações estatisticamente significativas com a PDO. A AMO evidenciou influência sobre os índices de temperatura TXn, TNx e TNn e o padrão PNA influenciou os índices TXx, TXn e TNn.

Tabela 8: Correlações entre os índices extremos de temperatura e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Alto Rio Colorado.

Índices	PDO	AMO	PNA	Nino 1+2	Nino 3	Nino 3.4	Nino 4
DV	0,00	0,26	-0,07	-0,01	0,01	0,01	0,04
DG	-0,22	-0,21	-0,11	-0,05	-0,08	-0,09	-0,12
NT	-0,33	0,14	-0,09	-0,21	-0,25	-0,23	-0,14
DF	-0,30	-0,08	-0,18	-0,02	-0,10	-0,16	-0,20
TXx	0,00	0,01	-0,29	0,09	0,11	0,15	0,15
TXn	0,25	0,39	0,45	0,18	0,21	0,21	0,25
TNx	-0,34	0,32	-0,07	-0,14	-0,18	-0,13	-0,03
TNn	0,14	0,36	0,32	0,15	0,14	0,11	0,16
ATD	-0,29	0,24	-0,19	-0,23	-0,24	-0,23	-0,13

Estes resultados indicaram que os extremos de temperatura analisados para a região do Alto Rio Colorado podem ser explicados por estas anomalias de TSM em

conjunto com o padrão da circulação geral da atmosfera em que teríamos advecção do ar mais aquecido dos oceanos para o continente podendo provocar aumento da temperatura do ar nesta região, bem como, observado na região do Baixo Rio Colorado.

Na Figura 7 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j) verificou-se as variabilidades temporais dos índices de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico no Alto Colorado cujas correlações foram apresentadas na Tabela 8. A Figura 7a representa a variabilidade temporal do índice NT com a PDO. Foi observado uma correlação negativa entre os mesmos, indicando que aumento nas anomalias positivas de TSM pode acarretar noites menos quentes. A Figura 7b mostra a variabilidade temporal do índice DF com a PDO evidenciando uma correlação negativa deste índice com a respectiva anomalia positiva de TSM. O que se pode ver, é que o aumento da anomalia positiva PDO diminui os dias frios na região. A variabilidade temporal do índice TXx com a PNA é mostrada na Figura 7c, em que observou-se uma correlação negativa deste índice com a anomalia positiva de TSM, indicando que o aumento da anomalia positiva PNA tem diminuído as temperaturas máximas sobre a região. Um comportamento oposto foi constatado entre o índice TXn e as anomalias AMO e PNA, cuja variabilidade temporal dos mesmos estão representados nas Figuras 7d e 7e. Foram evidenciadas correlações positivas do índice com as duas anomalias de TSM, ou seja, o aumento destas anomalias positivas provoca aumento do valor mínimo das temperaturas máximas. Com isso, em relação a temperatura máxima notou-se que o seu valor máximo diminuiu, enquanto que, o valor mínimo aumentou e ambas sofreram maior influência do PNA. As Figuras 7f e 7g mostram a variabilidade temporal do índice TNx com a PDO e o AMO. Observou-se uma correlação negativa deste índice com a anomalia PDO e uma correlação positiva do mesmo com o AMO. Diante disto, não se tem uma definição quanto ao aumento ou diminuição das temperaturas mínimas na

região, apenas que as mesmas podem estar sendo influenciadas por estas anomalias de TSM. As Figuras 7h e 7i mostram a variabilidade temporal do índice TNn com a AMO e o PNA. A correlação positiva deste índice com as duas anomalias de TSM indicaram que o aumento destas anomalias positivas de TSM aumenta também o valor mínimo das temperaturas máximas. Assim, com relação as temperaturas máximas e mínimas, observa-se que as anomalias AMO e PNA contribuíram mais do que a PDO sobre o Alto Colorado. A variabilidade temporal dos índices ATD e PDO são investigadas na Figura 7j. Apenas a anomalia PDO correlacionou negativamente com este índice mostrando que o aumento desta anomalia positiva provoca diminuição da amplitude térmica diária sobre a região, conforme verificado no Baixo Colorado. A influência das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico analisada, neste estudo, sobre o Alto Colorado foi observada em outras regiões conforme descrito por McCabe et al. (2007), Ellis et al. (2010) e Matter et al. (2010).

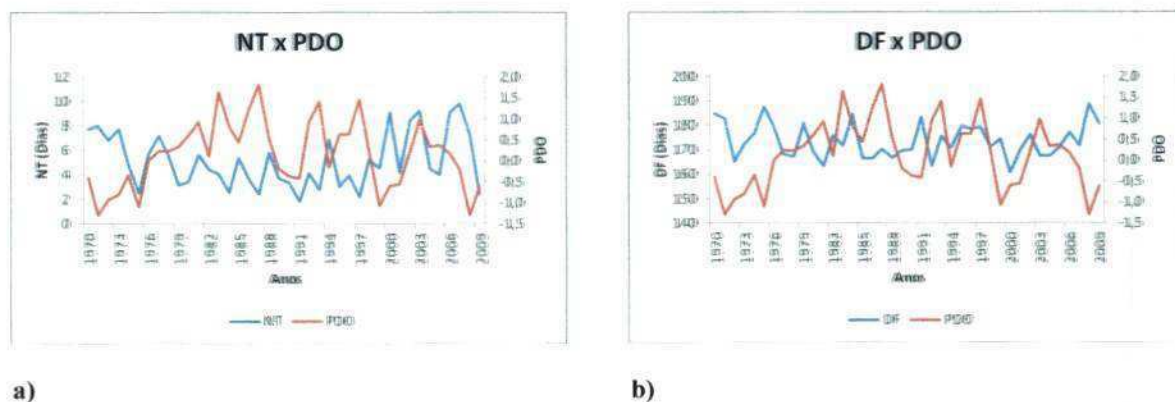
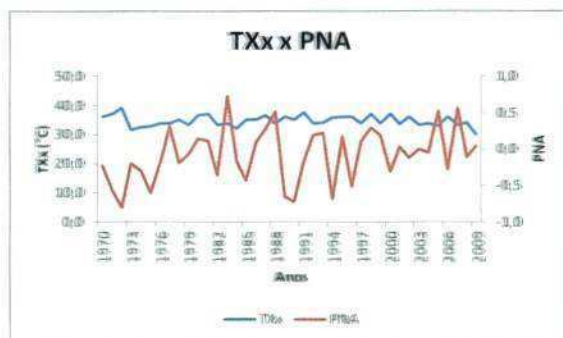


Figura 7: Variabilidade temporal dos índices extremos de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Alto Rio Colorado que apresentaram correlação significativa. a) NT e PDO, b) DF e PDO, c) TXx e PNA, d) TXn e AMO, e) TXn e PNA, f) TNx e PDO, g) TNx e AMO, h) TNn e AMO, i) TNn e PNA e j) ATD e PDO.

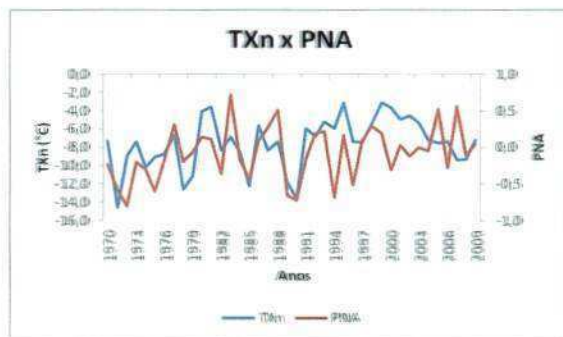
Continuação Figura 7



c)



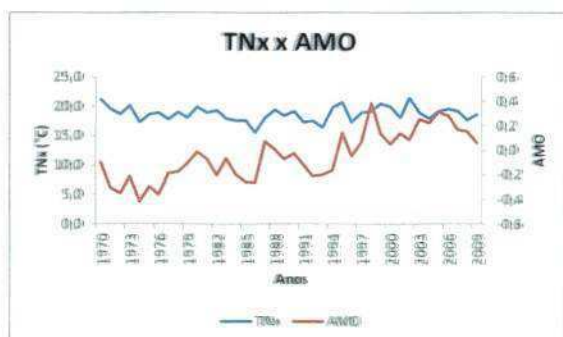
d)



e)



f)

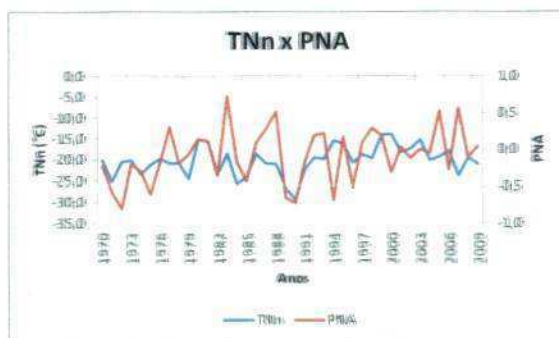


g)

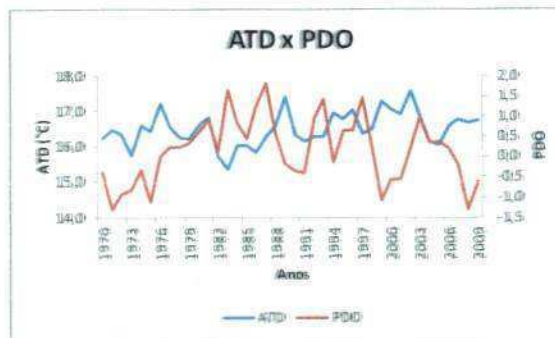


h)

Continuação Figura 7



i)



j)

5.4. Correlações entre os índices de precipitação para o Baixo e Alto Rio Colorado e índices de grande escala climáticos e oceânicos

As Tabelas 9 e 10 mostram as correlações entre os índices extremos de precipitação e as anomalias de TSM e teleconexões dos oceanos Atlântico e Pacífico nas regiões do Baixo e Alto Rio Colorado, respectivamente. Foram efetuados os mesmos procedimentos da seção 5.3.

Para o Baixo Rio Colorado (Tabela 9), todos os índices de precipitação, com exceção do ISID, mostraram correlações estatisticamente significantes com a PDO. O índice DCC apresentou correlação com significância estatística com a AMO. O padrão PNA mostrou influência sobre os índices DCS, DCC e PRCPTOT. Os Niños 1+2 e 3 influenciaram apenas o índice PRCPTOT, enquanto que os Niños 3.4 e 4 não atuaram sobre os índices extremos de precipitação analisados. Estes resultados mostraram que os extremos de precipitação analisados para a região do Baixo Rio Colorado podem ser explicados por estas anomalias de TSM e teleconexões. Conforme em Blakemore e Thomas (2007) e Moore et al. (2009) a PDO, a AMO, o PNA e os padrões de Niño exercem efeitos significativos sobre o noroeste dos Estados Unidos e assim como a temperatura têm influenciado também a precipitação na região.

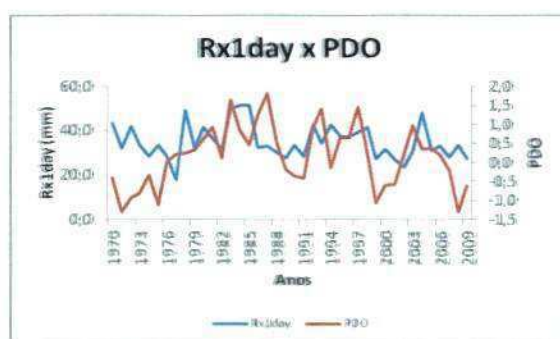
Tabela 9: Correlações entre os índices extremos de chuva e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Baixo Rio Colorado.

Índices	PDO	AMO	PNA	Nino 1+2	Nino 3	Nino 3.4	Nino 4
Rx1day	0,31	-0,10	-0,08	0,17	0,07	0,08	0,04
Rx5day	0,45	-0,08	0,18	0,22	0,22	0,20	0,16
ISID	0,25	0,01	0,26	0,16	0,06	0,03	0,00
R10mm	0,44	-0,24	0,23	0,25	0,22	0,20	0,10
DCS	-0,35	0,03	-0,35	-0,01	-0,07	-0,12	-0,10
DCC	0,45	-0,29	0,41	0,17	0,10	0,09	0,03
PRCPTOT	0,34	-0,14	0,27	0,41	0,29	0,19	0,01

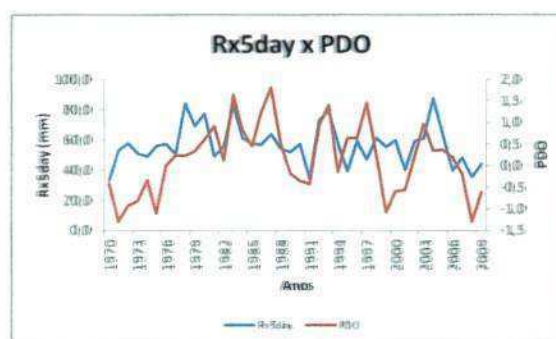
A Figura 8 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, l, m) mostra as variabilidades temporais dos índices de precipitação e das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico no Baixo Colorado cujas correlações foram apresentadas na Tabela 9. A Figura 8a representa a variabilidade temporal do índice Rx1day e da PDO em que observou-se uma correlação positiva entre os mesmos, indicando que um aumento nesta anomalia de TSM positiva aumenta a quantidade de chuva em um dia na região. Na Figura 8b vê-se a variabilidade temporal do índice Rx5day e da PDO mostrando uma correlação positiva deste índice com a respectiva anomalia. Isto quer dizer que o aumento desta anomalia positiva causa aumento da quantidade de chuva em 5 dias consecutivos na região. A Figura 8c evidencia a variabilidade temporal do índice R10mm com a PDO onde nota-se uma correlação positiva deste índice com a anomalia de TSM analisada, indicando que o aumento desta anomalia aumenta os dias com precipitação intensa acima de 10 mm. A variabilidade temporal do índice DCS e das anomalias PDO e PNA é representada nas Figuras 8d e 8e. Observou-se correlações negativas do índice com estas duas anomalias de TSM. Com isso, o que se pode constatar é que um aumento destas anomalias indicam uma diminuição dos dias secos. As Figuras 8f, 8g e 8h apresentam as variabilidades temporais do índice DCC e das anomalias PDO, AMO e PNA. Observou-se uma correlação positiva deste índice com a PDO e com o PNA e uma correlação negativa do

mesmo com a AMO. O índice PRCPTOT e as anomalias PDO, PNA, Niño 1+2 e Niño 3 cuja a variabilidade temporal é representada nas Figuras 8i, 8j, 8l e 8m, se correlacionaram positivamente, mostrando que um aumento nestas anomalias positivas contribui para o aumento da precipitação total sobre o Baixo Rio Colorado.

Os efeitos das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico analisada sobre o Baixo Colorado corroboram com os analisados por Blakemore e Thomas (2007) e Hurkmans et al., (2009) e Matter et al. (2010).

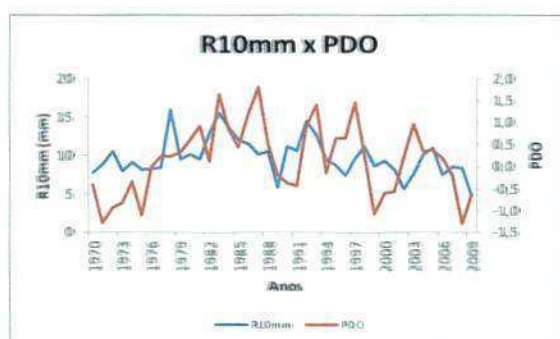


a)

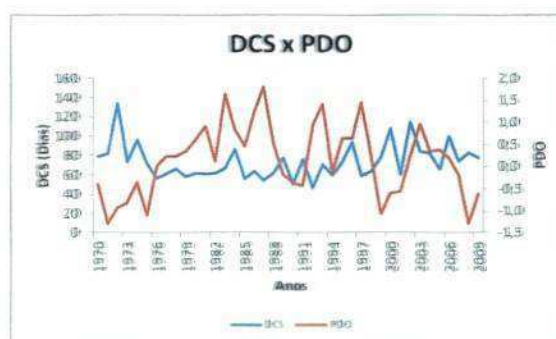


b)

Figura 8: Variabilidade temporal dos índices extremos de precipitação e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Baixo Rio Colorado que apresentaram correlação significativa. a) Rx1day e PDO, b) Rx5day e PDO, c) R10mm e PDO, d) DCS e PDO, e) DCS e PNA, f) DCC e PDO, g) DCC e AMO h) DCC e PNA, i) PRCPTOT e PDO, j) PRCPTOT e PNA, l) PRCPTOT e NIÑO 1+2, m) PRCPTOT e NIÑO 3.

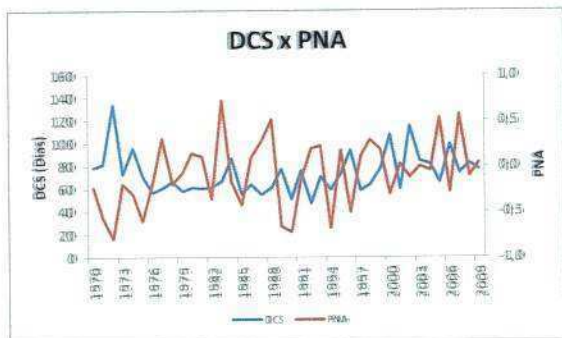


c)



d)

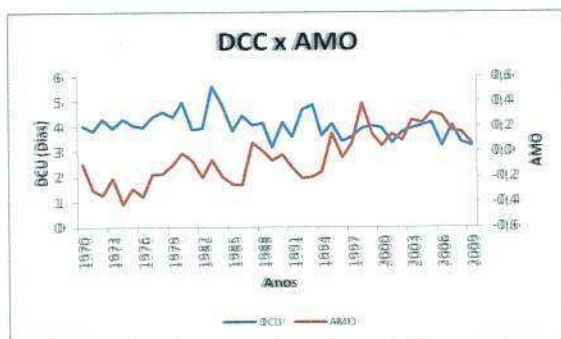
Continuação Figura 8



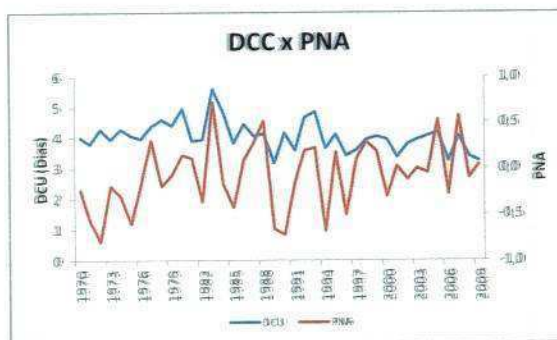
e)



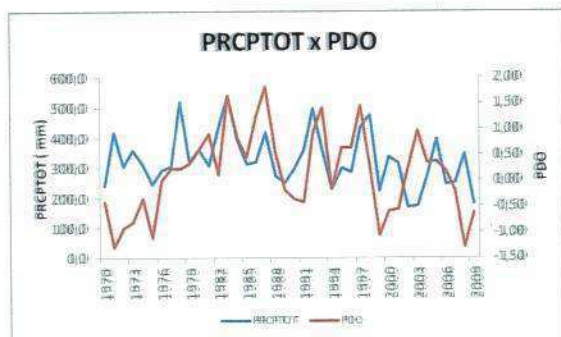
f)



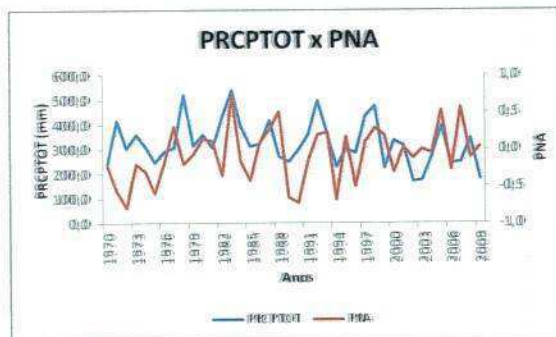
g)



h)

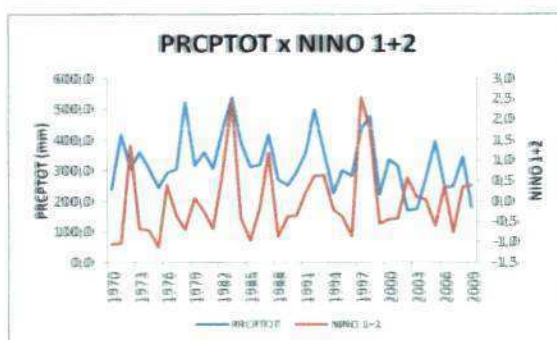


i)

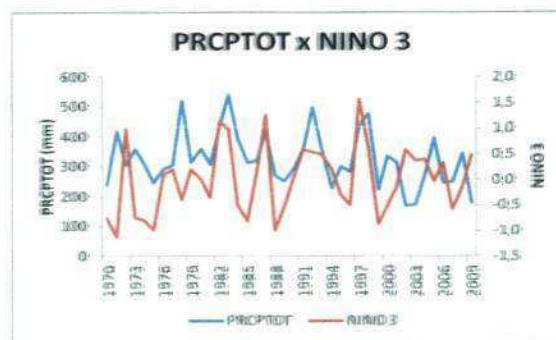


j)

Continuação Figura 8



l)



m)

Para o Alto Rio Colorado (Tabela 10) os índices R10mm, DCS, DCC e PRCPTOT mostraram correlações estatisticamente significantes com a PDO. O padrão PNA apresentou influência sobre os índices Rx5day, DCS e PRCPTOT e o Niño 4 mostrou correlação estatisticamente significativa apenas com o índice R10mm. As anomalias AMO, Niño 1+2, Niño 3 e Niño 3.4 não apresentaram correlações significativas com os índices extremos analisados.

Tabela 10: Correlações entre os índices extremos de chuva e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Alto Rio Colorado.

Índices	PDO	AMO	PNA	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4
Rx1day	0,22	0,26	0,17	0,17	0,08	0,08	0,11
Rx5day	0,15	0,15	0,29	0,19	0,09	0,04	0,03
ISID	0,13	0,00	0,14	0,20	0,11	0,09	0,08
R10mm	0,33	0,19	0,20	0,19	0,21	0,26	0,30
DCS	-0,39	-0,15	-0,50	-0,06	-0,05	-0,06	-0,07
DCC	0,43	-0,08	0,22	0,20	0,16	0,16	0,13
PRCPTOT	0,36	0,12	0,28	0,21	0,20	0,21	0,21

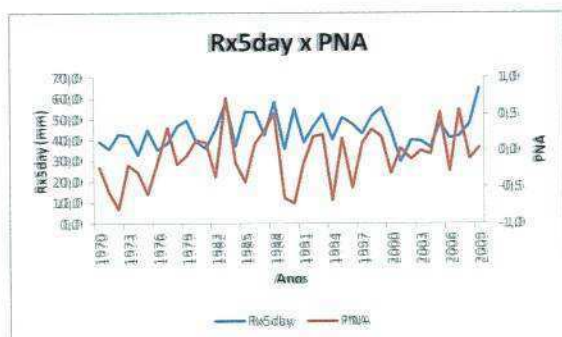
A Figura 9 (a, b, c, d, e, f, g, h) mostra as variabilidades temporais dos índices de precipitação e das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico no Alto Colorado cujas correlações foram apresentadas na Tabela 10. A Figura 9a representa a variabilidade temporal do índice Rx5day e da PNA. Foi observado uma correlação positiva entre os

mesmos, indicando que um aumento do padrão PNA, positivamente, aumenta a quantidade de chuva em 5 dias consecutivos na região. As Figuras 9b e 9c mostram a variabilidade temporal do índice R10mm, da PDO e do Niño 4, onde constatou-se uma correlação positiva deste índice com as anomalias de TSM analisadas, indicando que o aumento destas anomalias positivas aumenta os dias com precipitação intensa acima de 10 mm.

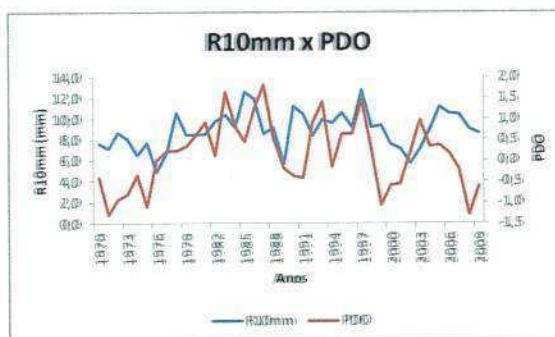
A variabilidade temporal do índice DCS e das anomalias PDO e PNA é mostrada nas Figuras 9d e 9e. Observou-se correlações negativas do índice com estas duas anomalias de TSM. Assim, o que se pode constatar é que um aumento destas anomalias indicam uma diminuição dos dias secos, ou seja, se temos aumento da TSM significa uma fase quente na PDO com isso temos correntes oceânicas mais quentes que o normal na costa oeste dos EUA. A Figura 9f ilustra a variabilidade temporal do índice DCC e da PDO. Uma correlação positiva deste índice com a PDO foi observada evidenciando que um aumento da PDO positivamente provoca diminuição dos dias consecutivos chuvosos. As Figuras 9g e 9h representam a variabilidade temporal do índice PRCPTOT, da PDO e do PNA, os quais se correlacionaram positivamente, evidenciando que um aumento nestas anomalias positivas de TSM contribui para o aumento da precipitação total sobre o Alto Colorado.

Os efeitos das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico analisadas sobre o Alto Rio Colorado concordam com os encontrados por Matter et al. (2010).

Assim, a influência das TSM's na BHRC associada com padrões de circulação atmosférica que atuam no sudoeste dos EUA evidenciam alterações na temperatura e na precipitação tanto no Baixo quanto no Alto Rio Colorado que podem causar impactos na região, como episódios de seca de longo prazo (PRADO, 2010).

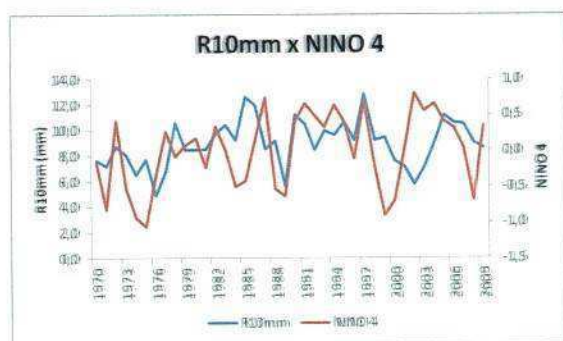


a)

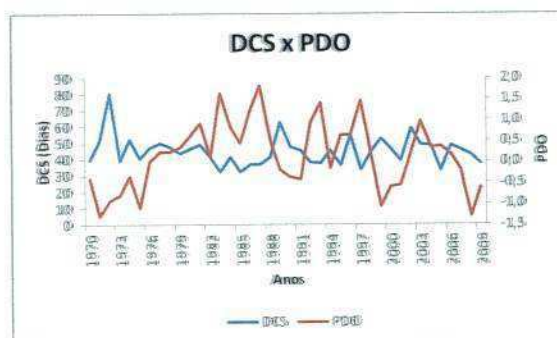


b)

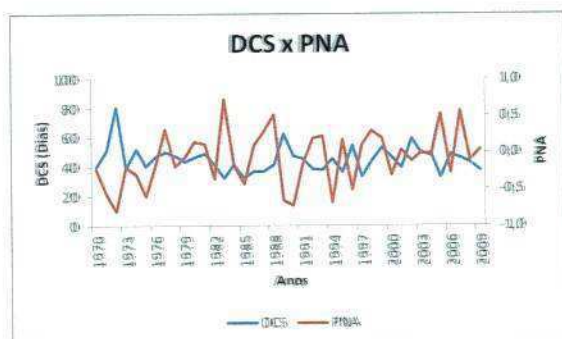
Figura 9: Variabilidade temporal dos índices extremos de precipitação e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Baixo Rio Colorado que apresentaram correlação significativa. a) Rx5day e PNA, b) R10m e PDO, c) R10mm e NIÑO 4, d) DCS e PDO e) DCS e PNA, f) DCC e PDO, g) PRCPTOT e PDO e h) PRCPTOT e PNA.



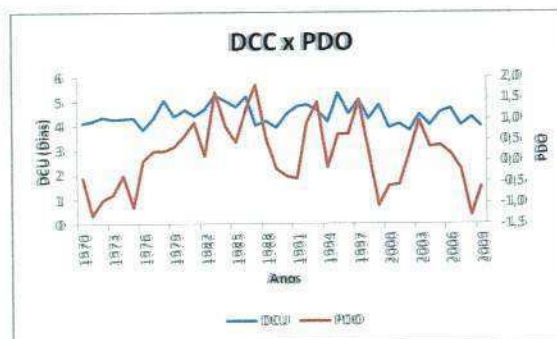
c)



d)

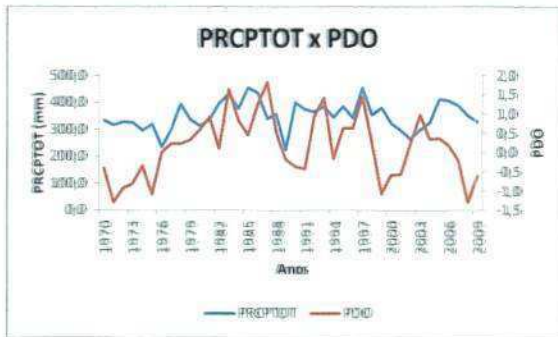


e)

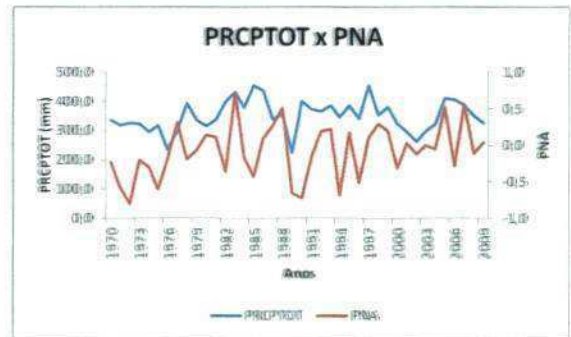


f)

Continuação Figura 9



g)



h)

6. CONCLUSÕES E SUGESTÃO

As tendências de índices extremos de temperatura e precipitação são bons indicadores de eventos extremos. A partir destas, é possível identificar em certa região, se determinado evento climático aumenta ou diminui. Dos índices climáticos analisados neste estudo, verificou-se a partir dos eventos extremos de temperatura que o índice DV contribuiu para dias mais quentes em praticamente toda região. O índice NT predominou na região do Baixo Rio Colorado mostrando aumento dos dias com temperatura mínima maior que 20 °C. Os dias frios foram reduzidos em toda região da bacia. Já os valores mínimos das temperaturas máxima e mínima aumentaram. Por outro lado, os valores máximos das temperaturas máxima e mínima apresentaram alta variabilidade temporal e espacial não indicando um padrão de tendências com significâncias estatísticas. O padrão de temperatura observado na BHRC pode ter relação com sistemas de circulação atmosférica que influenciam o clima na região, como as altas subtropicais que atuam na região caracterizando subsidência de ar quente e seco ocasionando baixa umidade e conseqüentemente pouca formação de nuvens e diminuição da precipitação.

As tendências de precipitação não apresentaram padrões bem definidos tanto no Baixo como no Alto Rio Colorado. Observou-se que os extremos de precipitação na

região do Baixo Colorado tendem a diminuir, ao contrário, da região do Alto Colorado. Isto pode estar relacionado com a alta do Pacífico que impede a umidade e a chuva de atingir a costa sudoeste dos EUA. O aumento da precipitação total no Alto Colorado é de extrema importância para o fluxo do rio Colorado, uma vez que, a sua nascente situa-se nesta região. Porém, como ficou evidenciado poucas tendências estatisticamente significativas, não se pode afirmar com precisão se houve mudanças consideráveis nos padrões de chuva na região.

As correlações dos índices de temperatura com as anomalias de TSM indicaram maior contribuição da PDO, da AMO e do PNA sobre as duas regiões analisadas na bacia do Rio Colorado, com isso percebeu-se que estas anomalias positivas de TSM têm contribuído com aumento das temperaturas na região. Em relação a precipitação, constatou-se um melhor relacionamento entre seus índices extremos com a PDO e o PNA. O comportamento das TSM's na BHRC pode estar sendo influenciado por padrões de circulação atmosférica que atuam no sudoeste dos EUA evidenciando alterações na temperatura e na precipitação tanto no Baixo quanto no Alto Rio Colorado.

Tais estudos são de fundamental importância, pois ajudam a encontrar e analisar possíveis alterações climáticas. Portanto, os resultados encontrados nesta pesquisa contribuem para detecção de eventuais problemas relacionados à extremos de temperatura e precipitação na região da Bacia Hidrográfica do Rio Colorado, uma vez, que esta é responsável pelo abastecimento, irrigação e eletricidade de importantes cidades do sudoeste dos EUA.

Baseado nos resultados encontrados, sugere-se em trabalhos futuros, utilizar o teste não paramétrico de Mann-Kendall para correlacionar os índices de extremos climáticos anuais com as anomalias de TSM na BHRC.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research* 111: D05109, 2006.

ALEXANDER, L. V.; ARBLASTER, J. M. Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology*, v. 29, 417–435, 2009.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os trópicos**. 3^a ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1991. 332p.

BAPTISTA, J. A. A. **Nível de conhecimento sobre o Protocolo de Kyoto pelas empresas componentes do índice sustentabilidade empresarial Bovespa**. Dissertação de Mestrado – São Caetano do Sul, 2009. 149f.: il.

BARNETT, T. P.; PIERCE, D. W. Sustainable water deliveries from the Colorado River in a changing climate. **PNAS**. Published on line in www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0812762106, 2009.

BLAKEMORE e THOMAS. Climatic Fluctuations and forecasting of streamflow in the lower Colorado River Basin. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 6, 1550-1569, 2007.

BENKE, A. C.; CUSHING, C. E. Rivers of North America, **Elsevier Press**, 1-18, 2005.

BOND, N. A.; HARRISON, D. E. The Pacific decadal oscillation, air-sea interaction and central North Pacific winter atmospheric regimes. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 5, p. 731-734, 2000.

CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY. **RClimdex (0.9). User Manual**, 25p., 2004.

CHRISTENSEN, N.; LETTENMAIER, D. P. A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. **Hydrology Earth Syst. Sci. Discuss.**, v. 3, 3727-3770, 2006.

COMMITTEE ON THE SCIENTIFIC BASES OF COLORADO RIVER BASIN WATER MANAGEMENT. **Colorado River Basin Water Management: Evaluating and Adjusting to Hydroclimatic Variability**. National Academies Press, Washington D.C, 2007.

COLORADO RIVER BASIN WATER SUPPLY AND DEMAND STUDY STUDY TEAM. Colorado River Basin Water Supply and Demand Study: **Technical Report B – Water Supply Assessment**. Interim Report, n. 1, 2011.

COSTA, A. C.; SOARES, A. Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal. **International Journal of Climatology**, v. 29, 1956-1975, 2009.

DUFEK, A. S. **Índices de extremos climáticos de temperatura e chuva na América do Sul: clima presente e validação do modelo RegCM3**. Dissertação de Mestrado – São Paulo, 2008. 106f.: il.

DEJUAN, J.; ZHI, L.; QIUXIAN, W. Trends in Temperature and Precipitation Extremes over Circum-Bohai_Sea Region, China. **Chin. Geogra. Sci**, v. 22, n.1, 75-87, 2012.

EDWARDS, L. M.; REDMOND, K. T. **Colorado River Basin Climate/ Paleo, present and future**. Publicação especial da Associação de Agências de Águas da Califórnia e da Associação de Usuários das Águas do Rio Colorado, 2005.

ENFIELD, D.B.; MESTAS-NUÑEZ, A. M.; TRIMBLE, P. J. The Atlantic Multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. **Geophysical Research Letters**, v. 28, n. 10, 2077-2080, 2001.

ELLIS, A. W.; GOODRICH, G. B.; GARFIN, G. M. A hydroclimatic index for examining patterns of drought in the Colorado River Basin. **International Journal of Climatology**, v. 30, 236-255, 2010.

FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. S. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, 115-146, 2009.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELL-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic

extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v. 19, 193-212, 2002.

GERSHUNOV, A.; BARNETT, T. P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 12, 2715-2725, 1998.

GRIFFITHS, G. M.; SALINGER, M. J.; LELEU, I. Trends in Extreme Daily Rainfall Across the South Pacific and Relationship to the South Pacific Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v. 23, 847-869, 2003.

HU, Y.; MASKEY, S.; UHLENBROOK, S. Trends in temperature and rainfall extremes in the Yellow River source region, China, **Climatic Change**, v. 110(1-2), 403-429, 2012.

HURKMANS, R.; TROCH, P. A.; UIJLENHOET, R.; TORFS, P.; DURCIK, M. Effects of Climate Variability on Water Storage in the Colorado River Basin. **American Meteorological Society**, v. 10, 1257-1270, 2009.

IM, E. S.; JUNG, I. W.; BAE, D. H. The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. **International Journal of Climatology**, v. 31, 72-86, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PNAEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Emissions Scenarios: a special report of IPCC Working Group III (SRES)**. Cambridge University Press, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.** 2007.

KARAMANOS, K. Lake Mead: Threats and Benefits of the Largest Reservoir in the United States. **A Senior Project presented to the Faculty of the Social Sciences California Polytechnic State University, San Luis Obispo,** 2010.

KENAWY, A.; MORENO, J. I. L.; SERRANO, S. M. V. Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920–2006): Linkage to atmospheric circulation. **Atmospheric Research**, v. 106, 159-180, 2012.

KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. C.; QUADIR, D. A.; DORJI, S.; ZOU, X.; TANG, H.; SANTHOSH, K.; JOSHI, U.R.; JASWAL, A. K.; KOLLI, R. K.; SIKDER, A. B.; DESHPNADE, N. R.; RAVADEKAR, J. V.; YELEUOVA, K.; VANDASHEVA, S.; FALEYEVA, M.; GOMBOLUDEV, P.; BUDHATHOKI, K. P.; HUSSAIN, A.; AFZAAL, M.; CHANDRAPALA, L.; ANVAR, H.; AMANMURAD, D.; ASANOVA, V. S.; JONES, P. D.; NEW, M. G.; SPEKTORMAN, T. Changes in Daily Temperature and Precipitation Extremes in Central and South Asia. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, D16105, doi: 10.1029/2005JD006316, 2006.

LATIF, M.; BARNETT, T. P. Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. **Science**, v. 266, p. 634-637, 1994.

MANTON, M. J.; DELLA-MARTA, P. M.; HAYLOCK, M. R.; HENNESSY, K. J.; NICHOLLS, N.; CHAMBERS, L. E.; COLLINS, D.A.; DAW, G.; FINET, A.; GUNAWAN, D.; INAPE, K.; ISOBE, H.; KESTIN, T. S.; LEFALE, P.; LEYU, C. H.; LWIN, T.; MAITREPIERRE, L.; OUPRASITWONG, N.; PAGE, C. M.; PAHALAD,

J.; PLUMMER, N.; SALINGER, M. J.; SUPPIAH, R.; TRAN, V. L.; TREWIN, B.; TIBIG, I.; YEE, D. Trends in Extreme daily Rainfall and Temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961 – 1998. **International Journal of Climatology**, v. 21: 269-284, 2001.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v.58, p.35-44, 2002.

MARENGO, J. **Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade**. Brasília: Editora Biodiversidade 26, 2006. 25p.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, 893-904, 2008.

MATTER, M. A.; GARCIA, L. A.; FONTANE, D. G.; BLEDSOE, B. Characterizing hydroclimatic variability in tributaries of the Upper Colorado River Basin—WY1911-2001. **Journal of Hydrology**, V. 380,260-276, 2010.

MCCABE, G. J.; BETANCOURT, J. L.; HIDALGO, H. G. Associations of decadal to multidecadal sea-surface temperature variability with Upper Colorado River flow. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, 183-192, 2007.

MOBERG, A.; JONES, P. H. Trends in Indices for Extremes in Daily Temperature and Precipitation in Central and Western Europe, 1901 – 99. **International Journal of Climatology**, v. 25, 1149-1171, 2005.

MOLION, L. C. B.. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. **Climanálise 8** (agosto), disponível em <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista>, 2005.

MOLION, L. C. B. “Desmistificando o Aquecimento Global”. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20, 2007.

MOORE, R. D.; FLEMING, S. W.; WHEATE, R.; FOUNTAIN, A.; STAHL, K.; HOLM, K.; JAKOB, M. Glacier change in western North America: influences on hydrology, geomorphic hazards and water quality. **Hydrol. Process.** v.23, 42–61, 2009.

MORRISON, J. I.; POSTEL, S. L.; GLEICK, P. H. The Sustainable Use of Water in the Lower Colorado River Basin. **Pacific Institute for studies in development, environment, and security**, 1996.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. El Niño Regions. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_region.sht>. Acesso em 16 de Fevereiro de 2012.

O'BRIEN, K.; LIVERMAN, D. Mudança e Variação Climática no México. **Conferência Internacional sobre Impactos de Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável em Regiões Semi-Áridas – ICID**. Fortaleza, 1992.

OLIVEIRA, M. J.; VECCHIA, F. A Controvérsia das Mudanças Climáticas e do Aquecimento Global Antropogênico: Consenso Científico ou Interesse Político. **Períodico Eletrônico**. Fórum Ambiental da Alta Paulista. vol. V, 2009.

PRADO, L. F. **Oscilação interdecadal do Pacífico e seus impactos no regime de precipitação no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado — São Paulo, 2010. 133f.: il.

QIAN, W.; LIN, X. Regional Trends in Recent Precipitation Indices in China. **Meteorology Atmospheric Physics**, v. 90, 193-207, 2005.

- ROY, S. S.; JR, R. C. B. Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in India. **International Journal of Climatology**, v. 24. 457-466, 2004.
- RODRIGO, F. S.; TRIGO, R. M. Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. **International Journal of Climatology**, v. 27, 513-529, 2007.
- RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability. **Climatic Change**, v. 98, 493-508, 2010.
- SALINGER, M.J.; GRIFFITHS, G. M. Trends in New Zealand Daily Temperature and Rainfall Extremes. **International Journal of Climatology**, v. 21, 1437-1452, 2001.
- SANTOS, C. A. C. **Estimativa e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba.** Dissertação de Mestrado — Campina Grande, 2006. 98f.: il.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. 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, 303-312, 2007.
- SANTOS, C. A. C. BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 39-47, 2009.
- SANTOS, C. A. C.; NEALE, C. M. U.; RAO, T. V. R.; SILVA, B. B. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. **International**

Journal of Climatology, Published online in Wiley Inter Science. (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.2205, 2010.

SATYAMURTY, P.; CASTRO, A. A.; TOTA, J.; GULARTE, L. E. S.; MANZI, A. O. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. **Theoretical Applied Climatology**, v. 99, 139-148, 2010.

SEVERO, D. L. **Padrões de circulação anômala associados a episódios úmidos e secos no sul do Brasil**. Tese de Doutorado — São José dos Campos: INPE, 2008. 225f.: il.

SIEGEL, Sidney. **Estatística não paramétrica para as ciências do Comportamento**, McGraw-Hill, 1956.

SIEGEL, S; CASTELLAN, N. J. Jr. **Estatística não paramétrica para ciências do comportamento**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 448p.

SOON, W.; BALIUNAS, S. Proxy climatic and environmental changes of the past 1000 years. **Climate Research**, v. 23, 89-110, 2003.

SUBASH, N.; SINGH, S. A.; PRIYA, N. Extreme rainfall indices and its impact on rice productivity—A case study over sub-humid climatic environment. **Agricultural Water Management**, v. 98, 1373-1387, 2011.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e o Uso do solo sobre os recursos hídricos. **In: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – Câmara Temática de Recursos Hídricos**, Brasília, maio de 2002.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. INMET: Brasília, 2000. 515p.

VENTURA, F.; PISA, P. R.; ARDISSONI, E. Temperature and precipitation trends in Bologna (Italy) from 1952 to 1999. **Atmospheric Research**, v. 61, 203-214, 2002.

VIANA, C. **Conflitos Socioambientais do Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Dissertação de Mestrado – Brasília, 2005. 178f.:il.

WANG, Y.; YAN, Z. Trends in Seasonal Precipitation over China during 1961–2007. **Atmospheric and Oceanic Science Letters**, v. 2, n. 3, 165-171, 2009.

WEBB, R. H.; MCCABE, G. J.; HEREFORD, R.; WILKOWSKE, C. Climatic fluctuations, drought, and flow of the Colorado River: U.S. **Geological Survey Fact Sheet**, 2004-3062, 2004.

ZHANG, X., YANG, F. **RClimDex (1.0) User Guide**. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22p, 2004.

ZHANG, X.; et al. (2005a), Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, **J. Geophys. Res.**, 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181.

8. ANEXOS

ANEXO A:

Tabela 11: Coordenadas Geográficas, altitudes e período de aquisição dos dados utilizados das 81 estações do Baixo Rio Colorado.

Estações	Long	Lat	Altitude (m)	Período
Alpine	-109,15	33,84	2454	1970 - 2009
Anvil RCH	-111,38	31,97	838	1970 - 2009
Blach Rivers Pumps	-109,75	33,47	1849	1970 - 2009
Blue Ridge RS	-111,19	34,61	2097	1970 - 2009
Bouse	-114,02	33,94	282	1970 - 2009
Bright Angel RS	-112,06	36,21	2438	1970 - 2009
Canelo	-110,53	31,55	1527	1970 - 2009
Casa Grande NM	-115,54	32,99	432	1970 - 2009
Cascabel	-110,41	32,32	958	1970 - 2009
Castle Hot Springs	-112,36	33,98	606	1970 - 2009
Chino Valley	-112,46	34,76	1448	1970 - 2009
Chiricaua MN	-109,36	32,01	1615	1970 - 2009
Clinfton	-109,31	33,06	1073	1970 - 2009
Colorado City	-112,97	36,98	1527	1970 - 2009
Cordes	-112,16	34,3	1149	1970 - 2009
Coronado MN HQ	-110,25	31,34	1598	1970 - 2009
Douglas	-109,54	31,34	1231	1970 - 2009
Douglas Bisbee Intl	-109,61	31,46	1251	1970 - 2009
Duncan	-109,12	32,75	1115	1970 - 2009
Flagstaff AP	-111,67	35,14	2134	1970 - 2009
Ft Thomas 2 SW	-109,99	33,01	853	1970 - 2009
FT Valley	-111,74	35,27	2239	1970 - 2009
Ganado	-109,57	35,72	1932	1970 - 2009
Holbrook	-110,15	34,91	1550	1970 - 2009
Jerome	-112,11	34,75	1509	1970 - 2009

Continuação Tabela 11

Estações	Long	Lat	Altitude (m)	Período
Keams Canyon	-110,19	35,81	1891	1970 - 2009
Kit Peak	-111,6	31,96	2069	1970 - 2009
Kofa Mine	-113,96	33,27	541	1970 - 2009
Laveen 3 SSE	-112,15	33,34	346	1970 - 2009
Litchfield Park	-112,36	33,5	317	1970 - 2009
Maricopa 4	-112,03	33,11	353	1970 - 2009
Mc Nary 2 N	-109,86	34,11	2237	1970 - 2009
Oracle 2 SE	-110,73	32,6	1375	1970 - 2009
Organ Pipe Cactus NM	-112,8	31,95	511	1970 - 2009
Payson	-111,34	34,23	1496	1970 - 2009
Pearce Sunsites	-109,83	31,93	1326	1970 - 2009
Petrifield Forest	-109,88	34,8	1660	1970 - 2009
Phantom Ranch	-112,1	36,14	771	1970 - 2009
Phoenix AP	-112	33,43	337	1970 - 2009
Roosevelt	-111,15	33,67	672	1970 - 2009
Sacaton	-111,74	33,08	392	1970 - 2009
Saffordagricult	-109,68	32,81	900	1970 - 2009
Saint Johns	-109,4	34,52	1765	1970 - 2009
San Carlos RSRV	-110,53	33,18	772	1970 - 2009
Snowflake	-110,08	34,51	1720	1970 - 2009
Springerville	-109,27	34,13	2152	1970 - 2009
Tacna 3 NE	-113,91	32,72	99	1970 - 2009
Tombstone	-110,05	31,7	1405	1970 - 2009
Tuba City	-111,24	36,13	1520	1970 - 2009
Tucson Intl AP	-110,95	32,13	777	1970 - 2009
Tumacacori	-111,05	31,57	996	1970 - 2009
Walnut Crees	-112,81	34,93	1551	1970 - 2009
Wikieup	-113,61	34,71	613	1970 - 2009
Willcox	-109,85	32,26	1272	1970 - 2009
Winslow AP	-110,72	35,03	1489	1970 - 2009
Wupatki NM	-111,37	35,52	1496	1970 - 2009
Youngtown	-112,3	33,59	346	1970 - 2009
Blythe	-114,6	33,61	82	1970 - 2009
Blythe AOS	-114,71	33,62	120	1970 - 2009
Iron MTN	-115,12	34,15	281	1970 - 2009
Needles	-114,62	34,77	271	1970 - 2009
Parker RSVR	-114,17	34,29	225	1970 - 2009
Caliente	-114,52	37,62	1341	1970 - 2009
Desert NWR	-115,36	36,44	890	1970 - 2009
Elgin	-114,54	37,35	1042	1970 - 2009
Las Vegas AP	-115,16	36,07	648	1970 - 2009
Lund	-115,02	38,87	1695	1970 - 2009
Overton	-114,46	36,55	381	1970 - 2009

Contunção Tabela 11

Estações	Long	Lat	Altitude (m)	Período
Pahranagat WR	-115,12	37,27	1036	1970 – 2009
Ruth	-114,99	39,28	2088	1970 - 2009
Searchlight	-114,92	35,47	1079	1970 - 2009
Animas 3 ESSE	-108,77	31,94	1352	1970 - 2009
Cliff 11 SE	-108,5	32,83	1496	1970 - 2009
Lordsburg 4 SE	-108,65	32,83	1295	1970 - 2009
Mimbres	-108,01	32,93	1901	1970 - 2009
Quemado	-108,49	34,34	2096	1970 - 2009
Redrock 1 NNE	-108,73	32,7	1234	1970 - 2009
Reserve RS	-108,78	33,71	1782	1970 - 2009
White Signal	-108,36	32,56	1849	1970 - 2009
Zuni	-108,84	35,07	1923	1970 - 2009
Zion NP	-112,98	37,21	1234	1970 - 2009

ANEXO B:

Tabela 12: Coordenadas Geográficas, altitudes e período de aquisição dos dados utilizados das 48 estações do Alto Rio Colorado.

Estações	Long	Lat	Altitude (m)	Período
Cabin Creek	-105,71	39,65	3054	1970 - 2009
Climax	-106,19	39,37	3442	1970 - 2009
Del Norte	-106,32	37,67	2397	1970 - 2009
Dillon 1 E	-106,03	39,63	2763	1970 - 2009
Fruita	-108,73	39,16	1373	1970 - 2009
Grand Junction Walker	-108,54	39,13	1481	1970 - 2009
Hayden	-107,25	40,49	1963	1970 - 2009
Hermit 7 ESSE	-107,11	37,77	2758	1970 - 2009
Kremmiling	-106,36	40,06	2274	1970 - 2009
Meeker	-107,91	40,03	1884	1970 - 2009
Paonia	-107,62	38,85	1701	1970 - 2009
Walden	-106,28	40,74	2455	1970 - 2009
Abiquiu Dam	-106,06	36,1	1945	1970 - 2009
Bloomfield 3 SE	-107,96	36,67	1770	1970 - 2009
Cochiti Dam	-106,33	35,64	1695	1970 - 2009
Chama	-106,58	36,92	2393	1970 - 2009
Cuba	-106,97	36,01	2147	1970 - 2009
Dulce	-107	36,93	2070	1970 - 2009
El Rito	-106,19	36,35	2094	1970 - 2009

Continuação Tabela 12

Estações	Long	Lat	Altitude (m)	Período
Espanola	-106,06	35,99	1702	1970 - 2009
Fruitlan	-108,35	36,74	1564	1970 - 2009
Gallup Muni AP	-108,79	35,51	1983	1970 - 2009
Grants AP	-107,9	35,17	1987	1970 - 2009
Jemez Springs	-106,69	35,78	1909	1970 - 2009
Lindrith	-107,05	36,3	2201	1970 - 2009
Los Alamos	-106,32	35,86	2263	1970 - 2009
Lybrook	-107,54	36,23	2179	1970 - 2009
Mc Gaffey 5 SE	-108,44	35,34	2438	1970 - 2009
Navajo	-107,62	36,8	1759	1970 - 2009
Otis	-107,84	36,33	2097	1970 - 2009
Tierra Amarilla 4 N	-106,55	36,77	2275	1970 - 2009
Torreón Navajo Mission	-107,18	35,8	2042	1970 - 2009
Wolf Canyon	-106,75	35,95	2505	1970 - 2009
Bluff	-109,56	37,28	1317	1970 - 2009
Bullfrog Basin	-110,72	37,53	1165	1970 - 2009
Cedar Point	-109,08	37,71	2060	1970 - 2009
Flaming George	-109,41	40,93	1165	1970 - 2009
Green River Aviation	-110,15	38,99	1973	1970 - 2009
Kamas	-111,28	40,65	1973	1970 - 2009
Loa	-111,64	38,4	2155	1970 - 2009
Manti	-111,63	39,26	1749	1970 - 2009
Moab	-109,55	38,57	1241	1970 - 2009
Neola	-110,05	40,42	1813	1970 - 2009
Roosevelt Radio	-109,96	40,29	1539	1970 - 2009
Lees Ferry	-111,6	36,86	978	1970 - 2009
Page	-111,45	36,92	1301	1970 - 2009
Teec Nos pos	-109,09	36,92	1612	1970 - 2009
Wahweap	-111,49	36,99	1137	1970 - 2009