



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Variabilidade hidroclimática e alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco

Dênis José Cardoso Gomes¹; Letícia Pereira da Silva²; Emily Amaro Pires³; Maria Regina da Silva Oliveira⁴; Nedilson Sanches Ferreira⁵; Ingrid Cássia Porto Lima⁶; Gustavo Francesco de Moraes Dias⁷

¹Mestrando em Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Universidade Estado do Pará (UEPA). E-mail: deniss.feg@gmail.com. CV: <http://lattes.cnpq.br/1987185580532060>. ²Graduanda em Meteorologia, Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: goleticia67@gmail.com. CV: <http://lattes.cnpq.br/5546500269421407>. ³Graduanda em Meteorologia, Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: emilyamaro92@hotmail.com. CV: <http://lattes.cnpq.br/8038636892120473>. ⁴Graduanda em Meteorologia, Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: oliveiramr20@gmail.com. CV: <http://lattes.cnpq.br/6017780134473285>. ⁵Graduando em Meteorologia, Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: nedilsonlive@gmail.com. CV: <http://lattes.cnpq.br/0727207158085112>. ⁶Mestra em Desastres Naturais, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia (PPGGRD), Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: ingrid.cassia@gmail.com. CV: <http://lattes.cnpq.br/0835439845386860>. ⁷Docente do Instituto Federal do Pará. Doutorando em Desenvolvimento Sustentável, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável no Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: gustavo.dias@ifpa.edu.br. CV: <http://lattes.cnpq.br/7676261135100355>.

Artigo recebido em 21/05/2021 e aceito em 28/01/2022

RESUMO

As mudanças climáticas e o inadequado uso da terra causam modificações no regime fluvial, colocando em risco a segurança hídrica do Agreste nordestino. Utilizou-se os índices climáticos da *National Oceanic and Administration Agency*; dados hidrometeorológicos da Agência Nacional de Águas e a precipitação espacializada do *Global Precipitation Climatology Center*; uso do solo do Projeto MapBiomas. Gerou-se a variabilidade anual e mensal das variáveis hidroclimáticas, calculando a média histórica e o desvio padrão da precipitação medida, além do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para analisar e relacionar com as oscilações climáticas. As flutuações hidrológicas foram observadas associando aos anos extremos com o clima e chuvas anuais. Através do ambiente de Sistemas de Informações Geográficas foi produzido e analisado as mudanças do uso e cobertura do solo. Há tendências de aquecimento nos oceanos, principalmente no Atlântico tropical. Os eventos extremos na maioria ocorreram em anos favoráveis. A precipitação espacial, o IAC e registros de estiagens na área centro-norte da bacia indica vulnerabilidade natural à secas. A cota e vazão apresentam tendências de diminuição com o passar dos anos e sua sazonalidade corresponde as variações mensais da chuva com defasagem de 1 mês. As mudanças do uso e ocupação da terra mostram que o pasto e a agricultura são os principais responsáveis pelo desmatamento. Extremos climáticos inibidores de chuvas associados ao cortes florestais podem estar causando a redução no nível do trecho médio do rio São Francisco, aumentando riscos ambientais e alertas para a intensificação de futuros cenários de secas.

Palavras-chave: Extremos climáticos, Variabilidade fluvial, Desmatamento.

Hydroclimatic variability and changes in land use and land cover, Middle São Francisco River Basin

ABSTRACT

Climate change and inadequate land use cause changes in the river regime, putting the water security of the Northeastern Agreste at risk. From the National Oceanic and Administration Agency were used the climate indexes; the hydrometeorological data from the National Water Agency and a spatialized unit from the Global Precipitation Climatology Center; the land uses data were extracted from the Mapbiomas Project. The annual and monthly variability of the hydroclimatic variables was generated, calculating the historical average and the standard deviation of the measured precipitation, in addition to the Rain Anomaly Index (IAC) to analyze and relate to climatic oscillations. Hydrological fluctuations were observed associating extreme years with the climate and annual rainfall. Through the Geographic Information Systems environment, changes in land use and land cover were produced and analyzed. There are warming trends in the oceans, mainly in the tropical Atlantic. Most extreme events occurred in favorable years. Spatial precipitation, IAC and drought records in the north-central area of the basin indicate natural vulnerability to drought. The quota and flow show downward trends over the years and their seasonality corresponds to monthly variations in rainfall with a lag of 1 month. Changes in land use and occupation show that pasture and agriculture are primarily responsible for deforestation. Rain-inhibiting climatic extremes associated with forest cutting may be causing a reduction in the level of

the middle section of the São Francisco River, increasing environmental risks and warnings for the intensification of future drought scenarios.

Keywords: Climatic extremes, river variability, deforestation.

Introdução

As interações entre o clima e o desmatamento é complexa, pois as mudanças de ambas variáveis possuem causas e consequências relacionadas a fatores antropogênicos (Thapa, 2021). As mudanças climáticas podem impactar na hidrologia em bacias hidrográficas (Tarekegn et al., 2021), sendo esta unidade territorial sensível as alterações no uso e cobertura do solo (Hao et al., 2021) e podem influenciar em outras componentes ambientais como na precipitação (Zhang; Zhou, 2021), no escoamento superficial hídrico (Wang et al., 2020), no balanço de energia regional (Chi et al., 2021) e até na produção primária do ecossistema (Li et al., 2020). Tais variações no clima associados a modificações da paisagem podem contribuir para a ocorrência de desastres naturais como a erosão do solo (Belay; Mengistu, 2021) e inundações (Li et al., 2021; Yisehak, 2021).

Por tanto, a urbanização acelerada assim como a mudança de outros tipos de uso e ocupação da terra nos últimos anos vem trazendo sérios problemas ambientais, como o aumento das temperaturas, alterações do ciclo hidrológico natural, modificação do padrão da direção e velocidade do vento, poluições no solo, entre outros (Li et al., 2016; Yao et al., 2015).

As ações antrópicas influenciam no processo de infiltração do solo, promovendo uma elevação da concentração da água devido o aumento do escoamento superficial carregando sedimentos e diminuindo o abastecimento hídrico nos lençóis freáticos no subsolo acarretando em assoreamentos nos rios (Nascimento et al., 2018). Esses impactos ambientais são refletidos na sociedade em forma de enchentes quando há chuvas intensas acima do normal (Smith et al., 2019).

A climatologia do nordeste brasileiro é caracterizada por alta variabilidade espacial e temporal da precipitação, em que esta variável meteorológica é fortemente relacionada com os mecanismos climáticos como o fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) do oceano Pacífico tropical e do Dipolo do Atlântico (Dantas et al., 2020). Fazendo-se necessário o entendimento desta teleconexão para subsidiar setores da economia que podem ser impactados como as atividades agrícolas (Xie et al., 2020) de uma região altamente dependente deste ramo vulnerável a eventos de seca (Campos, 2015). Outros fatores que influenciam para a ocorrência das secas são os solos rasos que possuem características como a

capacidade de armazenamento hídrico reduzido e sem conexão com as águas subterrâneas, fluxo de base baixo, alguns afluentes intermitentes e geralmente o escoamento hídrico dependente de chuvas intensas e/ou inundações (Koch et al., 2020).

Pereira et al. (2020) quando estudou uma região nordestina, aponta a importância da compreensão da relação entre extremos climáticos e a precipitação através da teleconexão, além disto, os autores destacam as consequências desses eventos na população como os desastres naturais (inundações, enchentes, erosões, etc) causando sérios danos. Teleconexão é a denominação utilizada na climatologia para se referir a troca de energia provocado pelos efeitos do acoplamento oceano-atmosfera que gera alterações nos padrões de circulação do ar e afeta através deste a precipitação em uma região remota (Fereday et al., 2020; Finke et al., 2020). Assim, a análise de influências climáticas na precipitação em uma bacia hidrográfica é crucial para compreender sua dinâmica hidrológica (Gomes et al., 2019; Jaweso et al., 2019). Como analisar os indicadores climáticos (Bulgin et al., 2020) aliados às observações pluviométricas para obter informações em diferentes escalas temporais desta variável meteorológica complexa, para desenvolver um sistema de monitoramento climático e buscando diminuir conflitos hídricos do Agreste (Nascimento et al., 2020).

Segundo Porto e Porto (2008) a bacia hidrográfica é uma região da paisagem de captação da água pluvial que promove o escoamento hídrico para confluir em um único leito no seu exutório. A bacia hidrográfica do rio São Francisco é de suma importância para vários setores estruturais mantenedores da sociedade como o uso de sua água para fins agrícolas e hidrelétricos principalmente, além do consumo humano (Moreira Filho; Backup, 2005; Stolf et al., 2012). Uma análise integrada da relação dos fatores socioambientais pode auxiliar na prevenção de impactos negativos oriundos das atividades humanas (Silva et al., 2010), assim como na geração de um programa de revitalização de bacias hidrográficas (Machado, 2008).

Desta forma, Ferreira Filho et al. (2020) comentam que sendo a precipitação uma das variáveis climáticas mais importantes devido influenciar outras variáveis do clima e da hidrologia, assim como o equilíbrio da ordem das principais atividades humanas, seu monitoramento

espaço-temporal é um obstáculo por causa do inadequado planejamento nas instalações dos pluviômetros, baixa densidade das estações, erros de observações, falhas em registros, etc. Os mesmo autores em suas pesquisas usam o conjunto de dados do GPCC por meio de geoprocessamento ressaltando a importância deste produto para suprir a falta de medições reais da chuva e representar sua distribuição espacial. Também através do geoprocessamento, as alterações no uso e cobertura do solo foram detectadas para quantificar os impactos da degradação ambiental (Obeidat et al., 2019; Spruce et al., 2020).

Diante do exposto, havendo a necessidade de compreender os efeitos climáticos e antrópicos no comportamento hidroclimatológico na região nordestina, o objetivo deste trabalho é analisar a relação dos índices climáticos com a precipitação, associado com as modificações do uso da terra (1988-2018) na Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco e seus efeitos no regime fluvial no período de 31 anos (1988-2018).

Material e métodos

Área de estudo

A Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco (SBHMSF) como mostra a Fig. 1 é uma unidade fisiografia que se estende de Pirapora (MG) até Remanso (BA) compondo cerca de 55 % do curso médio do rio São Francisco (Pereira et al., 2007). De acordo do o Ministério do Meio Ambiente (2006) esta região possui cerca de 2.593.502 hab. distribuídas em 167 municípios, abrangendo uma área de aproximadamente 402.531 km² (63 % da SBHMSF) com trecho fluvial principal de 1.230 km, apresentando características ambientais como clima tropical semi-árido e sub-úmido seco com precipitação média anual de 600 mm – 1.400 mm, temperatura do ar de 24 °C, evapotranspiração de 1.300 mm; altitudes variando de 500 – 1.400 devido a presença de serras como a de Goiás, da Tabatinga, chapadas diamantina e da mangabeira; com solo do tipo latossolos, argilossolo e alissolo predominantes na área, além da vegetação marcada pelo cerrado e caatinga.

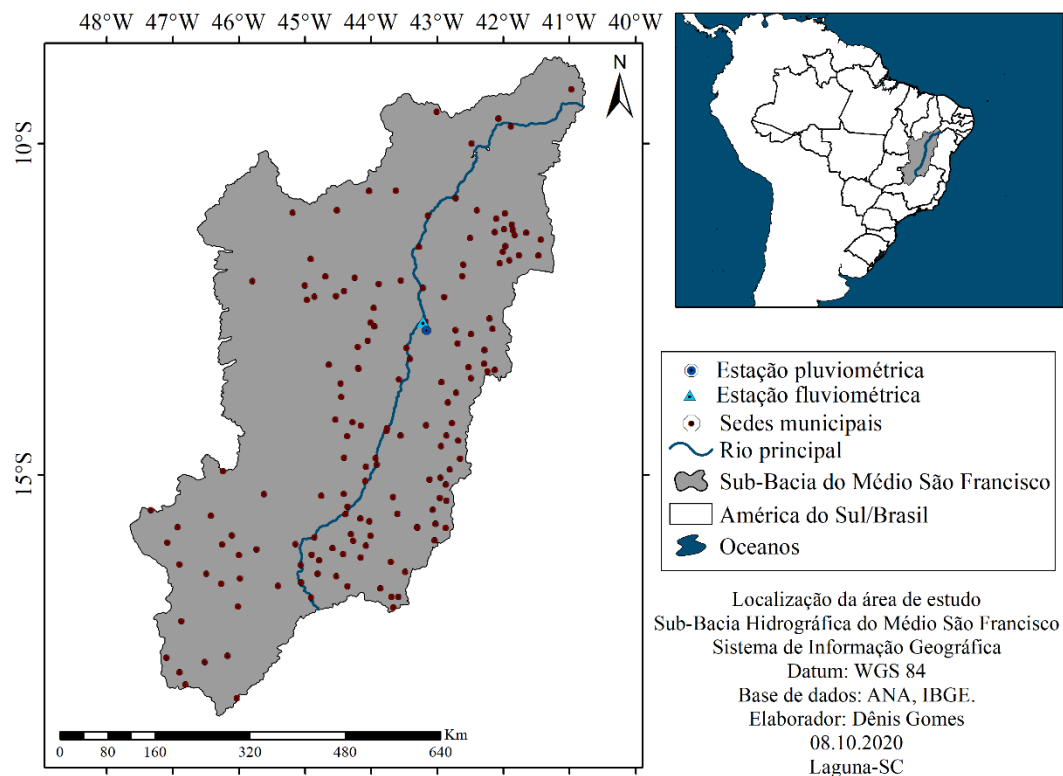


Figura 1. Área de estudo: Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco.

Aquisição e Processamento de dados

Os dados dos índices climáticos foram obtidos da *National Oceanic and Administration Atmospheric* (NOAA, 2020): Temperatura do

Atlântico Norte (TNA), Temperatura do Atlântico Sul (TSA) e Índice Oceânico Niño (ION). Os dados hidrometeorológicos adquiriu-se da Agência Nacional das Águas (ANA, 2020). Foi utilizado os dados do *Global Precipitation Climatology Centre*

(GPCC) da NOAA (2019) para a interpolação por krigagem através de Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Marcuzzo et al., 2011; Ramos et al., 2017) e analisar a variação espaço-temporal pluviométrica. O produto de precipitação gerado pelo GPCC foi usado (Hu et al., 2018) e validado (Dias et al., 2020) para a espacialização pluvial representar as áreas com baixa densidade de pluviômetros. Para demonstrar a dinâmica do uso da terra adotou-se a classificação do Projeto MapBiomas (2020), obtido na plataforma do *Google Engine Earth* assim como Mas et al. (2019) e gerado por geoprocessamento em ambiente SIG.

Os dados hidroclimáticos foram observados no software Hidro 1.3 e posteriormente organizados para geração de figuras que representem a variação temporal. Na relação entre os índices climáticos e a precipitação anual, ressaltou-se as maiores (menores) precipitações acima (abaixo) do desvio padrão em relação a média da série histórica para observar-se os eventos extremos (Jorge; Lucena, 2018; Gomes et al., 2020).

Calculou-se (Eq. 1 e 2) o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido por Rooy (1965), atualizado por Freitas (2005) e em seguida

usado em pesquisas (Hänsel et al., 2015; Lins et al., 2017; Silva e Azevedo, 2020).

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(M - \bar{N})} \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(X - \bar{N})} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: N = Precipitação anual (mm.mês⁻¹); $\bar{N}$ = Média da precipitação anual da série histórica (mm); M = Média das dez maiores totais pluviométricos anuais da série histórica; X = Média das dez menores totais pluviométricos anuais da série histórica.

Analisou-se as fases das TSM's e a variabilidade da precipitação anual verificando os maiores (menores) chuvas acima (abaixo) do desvio padrão e também da média da série histórica para observar se houve ocorrência de extremos climáticos, além de classificar o ano em chuvoso ou seco com base no IAC (Jorge; Lucena, 2018).

A Tab. 1 descreve a classificação do IAC e a intensidade da precipitação (Jorge; Lucena, 2018).

Tabela 1. Classificação do Índice de Anomalia de Chuva.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classe Pluviométrica
≥ 4	Extremamente Chuvoso
$2 > 4$	Muito Chuvoso
$0 > 2$	Chuvoso
$0 < -2$	Seco
$-2 < -4$	Muito Seco
≤ -4	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Jorge e Lucena (2018). Autor (2021).

Resultados e discussão

Índices Climáticos

Na Fig. 2 destaca-se a variabilidade dos índices climáticos dos oceanos Atlântico e do Pacífico, no qual observa-se em 1994 (Anomalia anual: -0,36 °C) o menor resfriamento no Atlântico Norte tropical (ANt), assim como neste mesmo ano há registro no Atlântico Sul tropical (ASt) com anomalia média anual de 0,04 °C, o que se configura um Dipolo negativo, pois observou-se nos meses de Janeiro á Junho diferenças anômalas consideráveis no ANt em comparação ao ASt (Tab. 2). Destaque também para os anos de 2005 (Anomalia anual: 0,67 °C), 2010 (Anomalia anual: 1,0 °C) e 2012 (Anomalia anual: 0,31 °C), em que ocorreu eventos de Dipolo positivo mais intensos com o aquecimento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) como mostra a Tab. 2.

Cunha et al. (2018) comentaram que a variabilidade climática do oceano Atlântico tropical influencia o regime pluvial do nordeste brasileiro. Os pesquisadores explicam que em decorrência do aquecimento anômalo do ANt e resfriamento do ASt, há formação de uma diferença de pressão com as altas pressões na parte sul, porém com a intensidade direcionada para o norte, diminuindo a magnitude dos ventos alísios advindos do hemisfério norte e ao mesmo tempo forçando o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para latitudes distantes do nordeste brasileiro e diminuindo a precipitação na região. Fato este reforçado por Utida et al. (2019) em estudos paleoclimáticos sobre a influência da ZCIT na precipitação da região nordestina. Tabela 2. Anomalias mensais de TSM do Atlântico tropical.

TNA (°C)				
Meses/Anos	1994	2005	2010	2012
Jan	-0,59	-	-	-
Fev	-0,61	-	1,07	-
Mar	-0,6	-	1,27	-
Abr	-0,46	0,81	1,4	-
Mai	-0,5	1,0	1,35	-
Jun	-0,43	0,92	1,11	0,31
Jul	-	0,84	1,01	0,3
Ago	-	0,74	0,97	0,52
Set	-	0,73	0,75	0,72
Out	-	0,54	0,77	0,78
Nov	-	0,4	0,7	0,75
Dez	-	0,55	0,96	0,55

TSA (°C)				
Meses/Anos	1994	2005	2010	2012
Jan	0,32	-	-	-
Fev	0,12	-	0,68	-
Mar	0,24	-	0,89	-
Abr	0,18	0,29	0,68	-
Mai	0,11	-0,06	0,62	-
Jun	-0,18	-0,26	0,85	0,04
Jul	-	-0,32	0,6	-0,03
Ago	-	0,01	0,48	-0,08
Set	-	-0,09	0,23	0,02
Out	-	0	0,43	0,03
Nov	-	-0,07	0,4	0,03
Dez	-	-0,02	0,41	0,18

Fonte NOAA (2021). Autor (2021).

No Pacífico tropical (Pt), as anomalias positivas anuais de TSM (Fig. 2) mais elevadas ocorreram nos anos de 1987 (Anomalia anual: 1,28 °C), 1997 (Anomalia anual: 1,17 °C) e 2015 (Anomalia anual: 1,49 °C). Tais condições oceânicas indicam tendências de eventos de El Niño. Nos anos de 1988 (Anomalia anual: -0,81 °C), 1999 (Anomalia anual: -1,23 °C) e 2011 (Anomalia anual: -0,83 °C) são observados os menores valores de resfriamento no Pt, estado de oscilação climática favorável a ocorrência do La Niña no Pt. A Tab. 3 descreve os meses que houve águas superficiais quentes e frias no Pt.

Vale ressaltar que as oscilações climáticas do oceano Pt promovidas por fenômenos como El Niño e La Niña possuem efeitos defasados no Brasil (Hounsou-Gbo et al., 2019), ou seja, há um certo tempo para que a circulação atmosférica seja alterada e seus impactos na precipitação possam ser observados. Desta maneira, em todos esses anos extremos, as anomalias positivas e negativas iniciaram no ano anterior, com alguns estendendo-se até o ano posterior.

Tabela 3. Anomalias mensais de TSM do Pacífico tropical.

ION (°C) – Anomalias +			
Trimestres/Anos	1987	1997	2015
Jan	1,23	-	0,6
Fev	1,19	-	0,56
Mar	1,06	-	0,62
Abr	0,95	-	0,79
Mai	0,97	0,75	1,02
Jun	1,22	1,22	1,25
Jul	1,51	1,6	1,54
Ago	1,7	1,9	1,83
Set	1,65	2,14	2,11
Out	1,48	2,33	2,37
Nov	1,25	2,4	2,53
Dez	1,11	2,39	2,64

ION (°C) – Anomalias -			
Trimestres/Anos	1988	1999	2011
Jan	-	-1,55	-
Fev	-	-1,3	-
Mar	-	-1,07	-
Abr	-	-0,98	-
Mai	-0,88	-1,02	-
Jun	-1,3	-1,04	-
Jul	-1,3	-1,1	-
Ago	-1,11	-1,11	-0,65
Set	-1,19	-1,16	-0,89
Out	-1,48	-1,26	-1,06
Nov	-1,8	-1,46	-1,14
Dez	-1,85	-1,65	-1,03

Fonte NOAA (2021). Autor (2021).

Muitos trabalhos identificaram os efeitos dos oceanos Pt e At na precipitação do nordeste brasileiro. Ferreira et al., (2018) identificou que a parte sul do Estado do Ceará é bastante afetada pelos fenômenos do Pt e do At, resultando em tendências de diminuição das chuvas. Em uma análise feita no Nordeste, Ferreira e Kemenes (2019) correlacionaram os índices climáticos do Pt e do At com a precipitações de estações pluviométricas, mostrando que o aumento (diminuição) da TSM do ANt (ASt) acarreta em menores volumes pluviais, sendo o ASt o setor oceânico que mais influencia o regime de chuvas nordestino.

A variabilidade climática no Nordeste é tão intensa, que de acordo com as pesquisas de Grimm e Tadeschi (2009), no mês de abril há maior frequência de extremos pluviais sob influência do La Niña e em anos de El Niño os extremos apresentam maior incidência em março. Santos (2016) detectou a influência do El Niño na precipitação de uma cidade próxima da SBHMSF. Assis et al. (2018) realizaram seu trabalho correlações entre os indicadores climáticos dos oceanos (Pt e At) e a precipitação na região da bacia hidrográfica do sub-médio do rio São

Francisco, identificando maior influência do El Niño na pluviosidade regional e aumentando sua vulnerabilidade a eventos de seca. E ainda afirmam que este cenário pode ser agravado, pois há maior relação quando se configura condições oceânicas para formação do dipolo do Atlântico positivo (reduz a chuva).

Conforme as investigações de Rodrigues et al. (2017), utilizaram o índice climático ION para analisar a variabilidade da TSM do Pt e seus efeitos por meio do fenômeno ENOS na região do agreste no estado de Pernambuco em diferentes escalas

temporais e descobriram que dos 20 eventos de El Niño identificados, mais da metade estão associados a anos classificados como secos, sendo os episódios de El Niño forte ocorridos em anos extremamente secos. Além disso, constataram que em 18 eventos de La Niña, 56 % foram em anos chuvosos. Os pesquisadores enfatizam sobre o ENOS não ser o único responsável pela modulação do regime pluviométrico da região, afirmando que a interação dos mecanismos climáticos do Pt e At com os sistemas atmosféricos é fundamental para a geração de precipitação no Agreste.

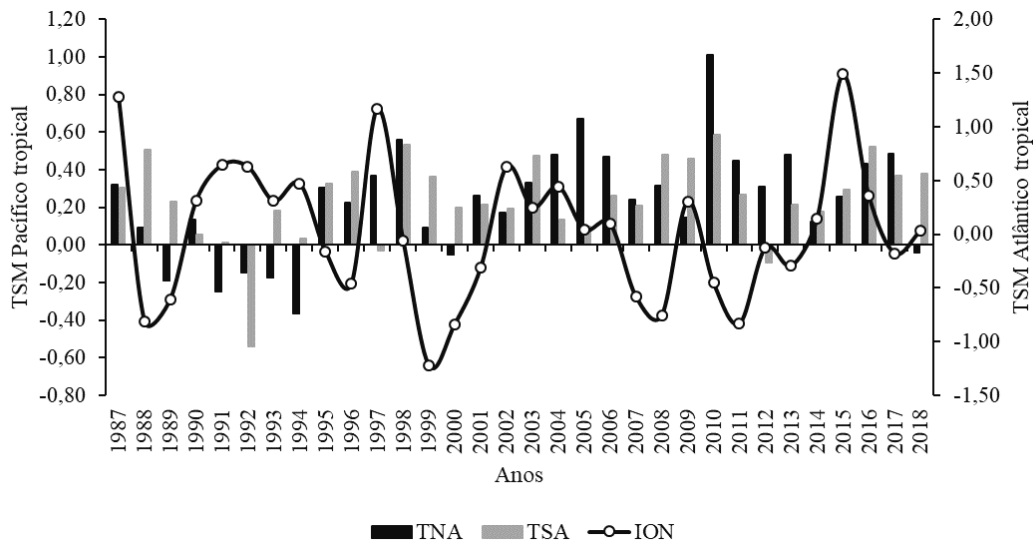


Figura 2. Variabilidade temporal dos índices climáticos no período de 32 anos (1987-2018) do Oceano Atlântico tropical (TNA e TSA) e do Pacífico tropical (ION). Fonte: NOAA (2020). Autor (2021).

Precipitação

A Fig. 3a mostra a variabilidade anual pluviométrica da SBHMSF, sendo o ano de menor volume pluvial 2015 (379,5 mm) com 48,4 % abaixo da média histórica e 26,4 % do desvio padrão; provavelmente devido ao El Niño forte (Jorge; Lucena, 2018) ocorrido neste ano, mesmo com o dipolo negativo no At condicionando maiores precipitações na região.

Entretanto, em 2004 (1.198,5 mm) foi observado como o ano de maior montante de chuvas, no qual 38,7 % acima da média histórica e 20,4 % do desvio padrão; isto pode ser explicado por outros fatores climáticos pois os índices (ION, TNA e TSA) não apontam favorecimento para aumento pluviométrico, assim, sistemas de meso-escala podem estar relacionados com precipitações locais de maiores quantidades de chuvas, elevando o abastecimento hídrico regional. Vale ressaltar o tempo de resposta por meio da chuva no Brasil, na qual a interação oceano-atmosfera do Pt é maior devido sua massa e distância, pois no Atlântico tal efeito é mais rápido por estar nas proximidades e

ser menor (Lubbecke; McPhaden, 2017; Dippe et al., 2018).

A Fig. 3b apresenta a variabilidade anual do IAC, com destaque para anos extremos de 1989 (3,83 mm), 1997 (3,83 mm), 2005 (3,75 mm), 2008 (2,64 mm) classificados como muito chuvosos, além de 1992 (4,29 mm) e 2004 (5,59 mm) classificados como anos extremamente chuvosos. O excedente pluvial de alguns desses anos não foi favorecido por mecanismos climáticos oriundos do Pt e At, onde possivelmente pode estar associado a Sistemas Convectivos de Mesoescala (CCM), sendo caracterizadas por serem chuvas isoladas, porém com alta quantidade de água pluvial, ocorrendo geralmente por algumas horas no período noturno e influenciadas por condicionantes locais como relevos (Ferreira; Mello, 2005). O Sistema Nacional de Proteção da Defesa Civil (SNPDC, 2020) registrou 14 casos de chuvas intensas e 1 tempestade local em Situações de Emergência (SE) na região da SBHMSF entre 2003 e 2016.

Os anos de escassez hídrica (Fig. 3b) mais intensa foram 1990 (-2,15 mm), 1993 (-3,82 mm), 1996 (-2,92 mm), 2001 (-2,83 mm), 2003 (-2,88

mm), 2012 (-3,12 mm), 2014 (-2,12 mm) e 2017 (-3,45 mm) classificados como muito seco, ressaltando 2015 (-4,29 mm) como ano extremamente seco. A maioria desses anos não ocorreu fenômenos climáticos (ENOS e Dipolo do Atlântico) que contribuisse para a diminuição da

precipitação, e provavelmente as características atmosféricas na região árida como subsidência do movimento do ar da célula de Walker (Reboita et al., 2016) dificultem o levantamento de umidade aos níveis mais altos para a formação de nuvens e chuva.

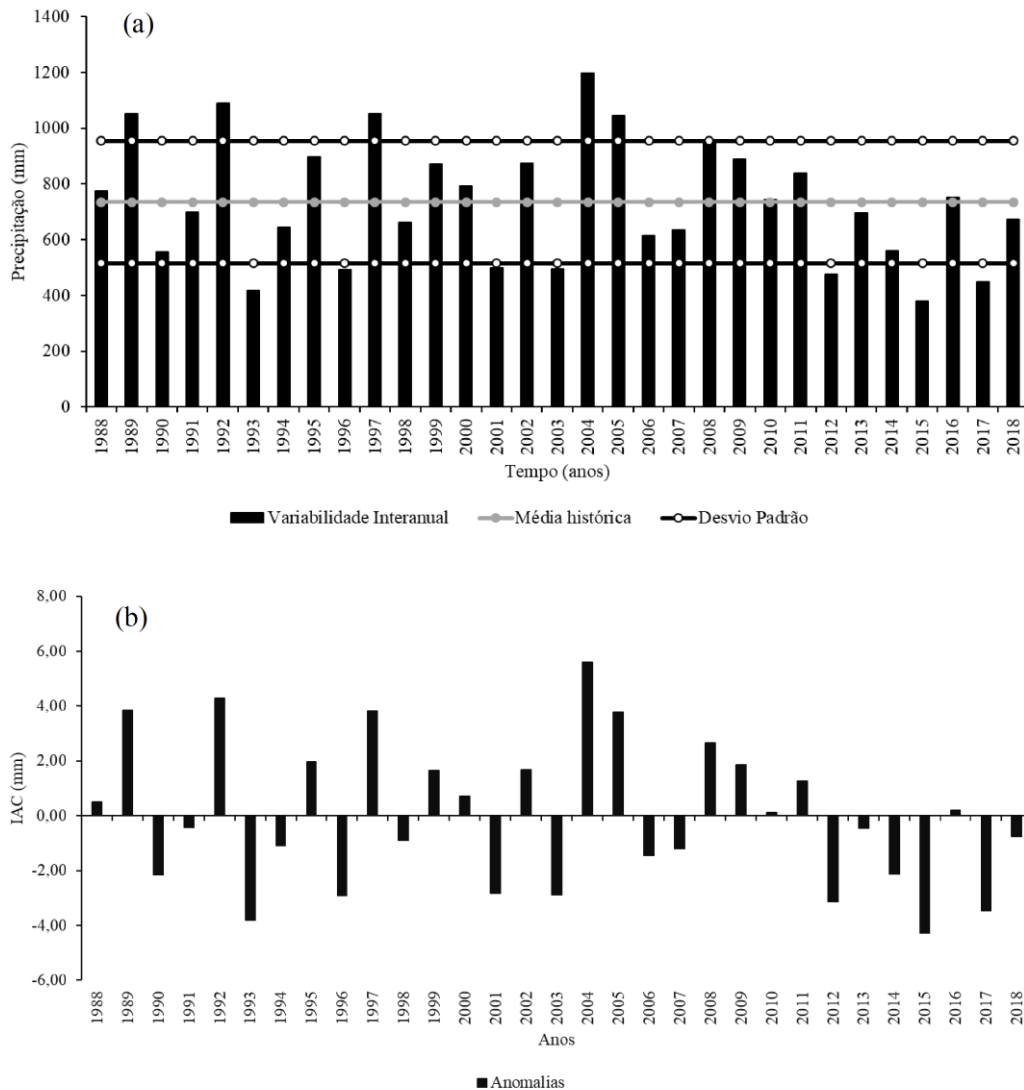


Figura 3. (a) Variabilidade anual pluviométrica (1988-2018) e (b) Índice de Anomalia de Chuva (IAC): Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. Fonte: ANA (2020). Autor (2021).

A distribuição espacial média pluviométrica (1988-2017) na SBHMSF (Fig. 4) mostra uma variação crescente no sentido NE-SO, em que os menores volumes de precipitação (445,0 mm-630,1 mm) são observados na região nordeste, indicando a suscetibilidade desta área a déficit hídrico, como notificados entre os anos de 2003 a 2016 80 casos de estiagem e 12 eventos de seca em municípios que compõem a SBHMSF, na categoria SE pelo SNPDC (2020). Uma faixa a oeste caracteriza a região com valores medianos de chuva (815,2 mm-1.000,3 mm). Adjacente a esta área, observa-se a sudoeste os maiores montantes pluviais (1.185,4 mm-1.449,5 mm), no qual

desastres naturais como 10 enxurradas, 9 inundações, 3 alagamentos, 2 erosões fluviais e 1 enchente, além das chuvas intensas aconteceram na SBHMSF, mostrando os efeitos de uma região mais chuvosa.

Segundo Oliveira et al. (2016) o setor centro-norte onde se localiza a SBHMSF é caracterizada por alta incidência de seca. O que pode ser corroborado ao observar esta área na Fig. 4. A seca é um tipo de desastre natural condicionado a variações hidroclimáticas, gestão dos recursos hídricos, controle do avanço das atividades agropastoris e vulnerabilidade socioeconômica (Pilz et al., 2019).

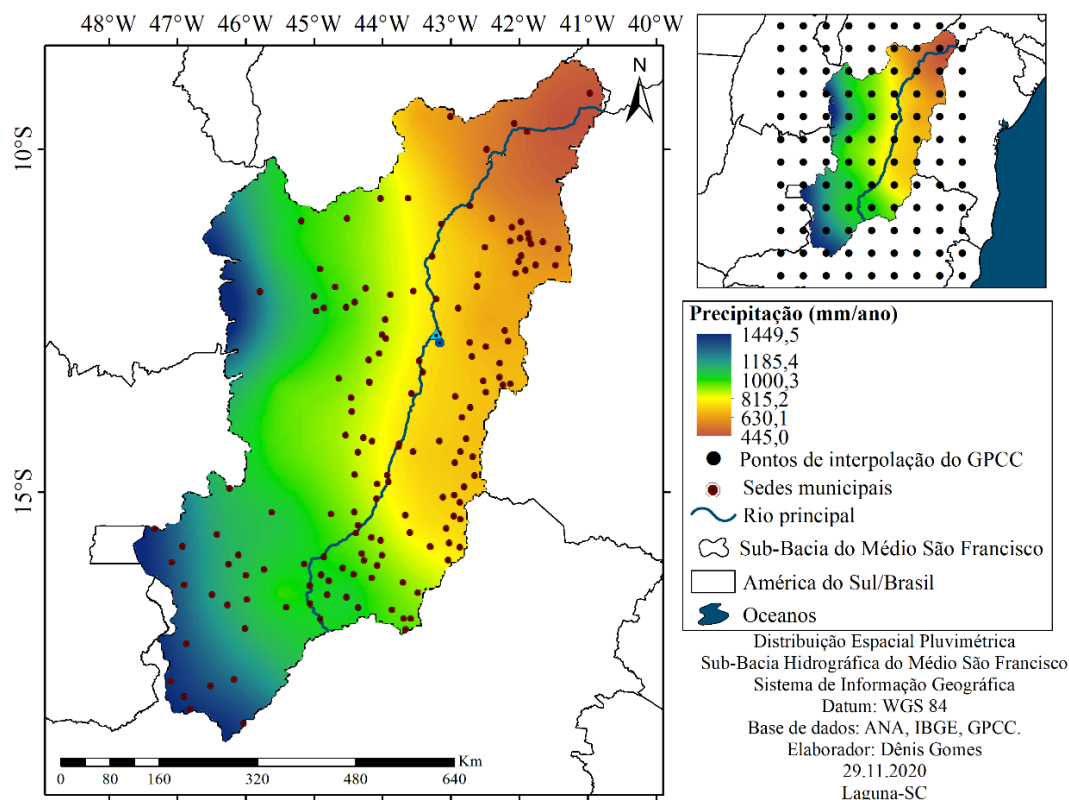


Figura 4. Variabilidade espacial média anual pluviométrica (1988-2017): Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. Fonte: GPCC (2020). Autor (2021).

Na Fig. 5, o regime fluvial anual da SBHMSF é marcado por tendências de diminuição ao longo dos anos, isto pode estar relacionado com a diminuição da precipitação (Fig.2b) e/ou devido ao corte da cobertura vegetal, como foi discutido por nas investigações de Martins et al. (2020) em

uma bacia hidrográfica na Paraíba. Os maiores valores de nível do rio (439,0 cm) e vazão (3.838,8 m³/s) são observados em 1992, ano de extremo pluvial acima até do desvio padrão e segunda maior chuva da série (Fig.2b).

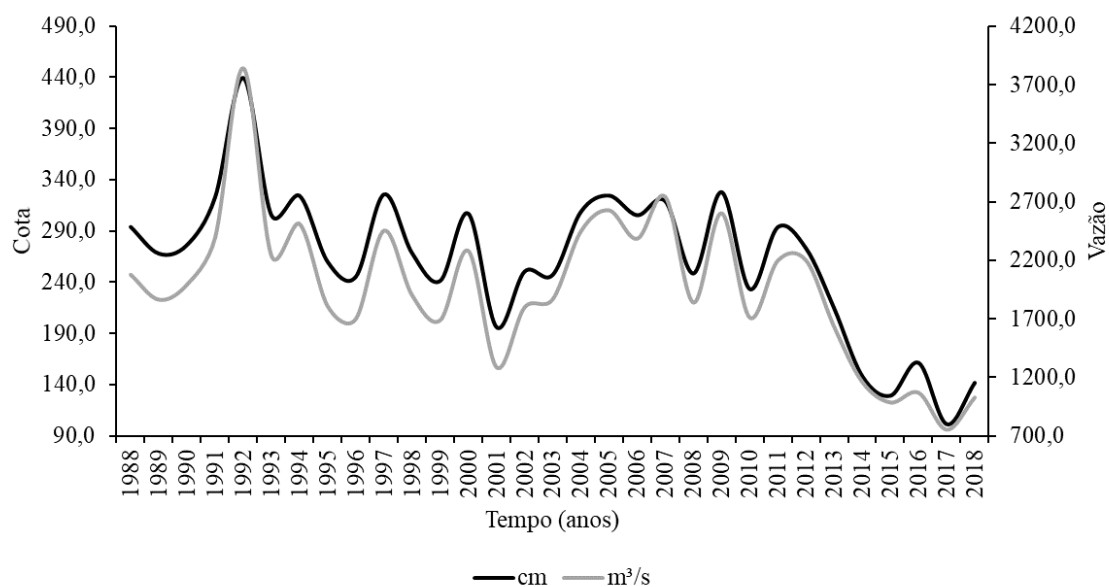


Figura 5. Variabilidade média anual fluviométrica (1988-2018): Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. Fonte: ANA (2020). Autor (2021).

As menores cotas (101,9 cm) e descargas fluviais (750,3 m³/s) foram no ano de 2017, caracterizado por estar abaixo do desvio padrão e terceira menor precipitação como descreve a Fig. 3.

O monitoramento e análise integrando variáveis ambientais como moduladores climáticos, precipitação, mudanças do uso e da terra e regime fluvial são essenciais para o diagnóstico de uma área e prevenção contra alguns tipos de desastres naturais como a inundação, que pode causar impactos negativos no âmbito ambiental e socioeconômico de uma região (Bartiko et al., 2019). Mesmo quando a região (SBHMSF) não é altamente susceptível a enchentes e inundações, extremos climáticos associados com sistemas meteorológicos podem promover chuvas intensas localizadas em áreas vulneráveis a enchentes e inundações, isto pode colocar em risco cidades situadas ao longo dos rios (Feng et al., 2015). Como foi confirmado nos estudos de Oluwayemisi et al. (2020), no qual mostrou certo grau de vulnerabilidade na zona ribeirinha de um município na Nigéria (país africano localizado na zona tropical), motivada por ações antrópicas.

A Fig. 6 mostra a distribuição espacial da chuva ao longo dos meses, em que observa-se a transição da precipitação na SBHMSF. Na estação chuvosa (Outubro-Março) o regime pluviométrico varia de 121,1 mm a 217,7 mm concentrando-se principalmente a sudoeste, sendo o mês de Novembro o mês de maior volume de chuva distribuída. A estação da estiagem (Abril-Setembro) é marcada pela precipitação na faixa de 29,3 mm a 3,7 mm com destaque para os meses de Junho e Julho que apresentam predomínio da baixa pluviosidade em quase toda SBHMSF. Estes cenários de variações sazonais pluviométrico também foi observado por Souto et al. (2019) quando estudou a precipitação na bacia hidrográfica do São Francisco através de estimadores de precipitação. Torres et al. (2020) validou os dados de chuva do GPCC afirmando que é um produto satisfatório para representar a precipitação da bacia do rio São Francisco.

Esta variabilidade espaço-temporal da chuva ilustra a influência dos sistemas meteorológicos responsáveis pela recarga hídrica na região da SBHMSF. Tais sistemas sinóticos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frentes Frias, Ondas de Leste e aglomerados convectivos de mesoescala são responsáveis pela precipitação no nordeste brasileiro (Ferreira; Mello, 2005; Kouadio et al., 2012). O El Niño inibe o desenvolvimento da ZCAS (Tomaziello; Gandu, 2013) e pode estar contribuindo para o estabelecimento do período de estiagem na região nordestina.

Nos diagnósticos de Darela Filho et al. (2016), os maiores pontos de densidades populacionais do Brasil são vulneráveis às mudanças climáticas. A previsão é de que o Brasil apresente futuramente variabilidade de precipitação no futuro mais intensa, ou seja, estação chuvosa mais úmida e estação da estiagem mais seca (Alves et al., 2020). Para as projeções de Barbieri et al. (2010) a segurança alimentar, através da agricultura, do nordeste brasileiro não só vai ser afetado severamente pelas variabilidades climáticas como isto implicará em um alto índice de migrações.

Pousa et al. (2019) alerta sobre um maior monitoramento hidroclimático, pois destacou que as mudanças climáticas afetam a precipitação do oeste bahiano, revelando tendências de diminuição do abastecimento pluvial nesta área, onde se pode observar climatologicamente (Fig. 4) e sazonalmente (Fig. 6) que é um setor de baixo potencial hídrico. Isto pode ocasionar conflitos hídricos com disponibilidade da água reduzida e aumento de sua demanda por interesses sociais e principalmente pelo avanço da fronteira agrícola (Pousa et al., 2019). Em cenários futuros, a bacia do rio São Francisco pode ser impactada pelas mudanças do clima afetando a vazão dos rios, comprometendo os sistemas de irrigações e colocando em risco as atividades de agricultura (Ribeiro Neto et al., 2016). Por tanto, a sazonalidade das chuvas na SBHMSF é fundamental para o entendimento da sua capacidade de recarga hídrica, previsão pluviométrica e prognóstico da safra.

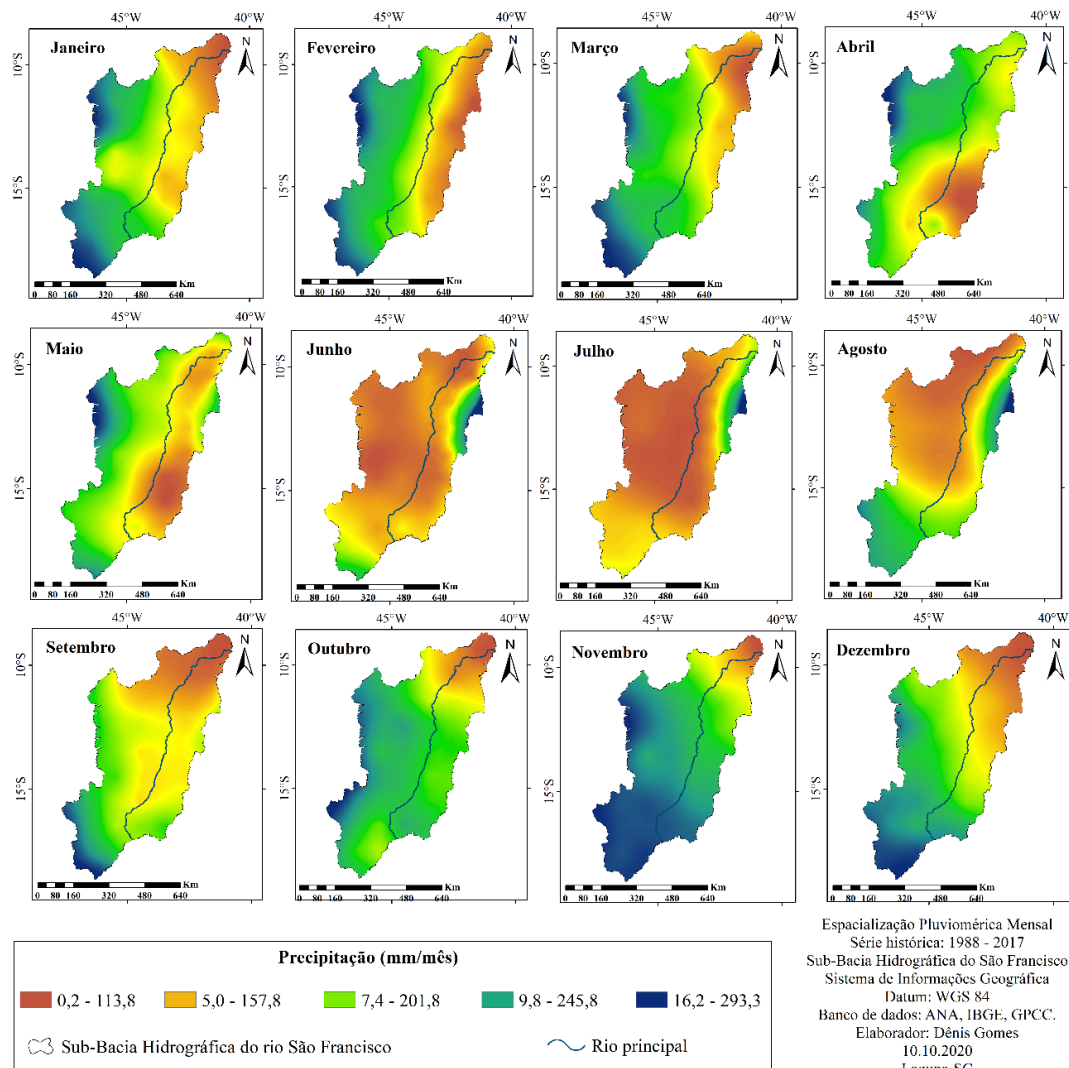


Figura 6. Distribuição espacial média mensal pluviométrica (1988-2017): Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. Fonte: GPCC (2020). Autor (2021).

Na Fig. 7a observa-se a variabilidade mensal pluviométrica, com estação chuvosa (Novembro-Abril) e a estação da seca (Maio-Outubro) bem definidas. O trimestre mais chuvoso composto por Novembro (123,3 mm), Dezembro (154,2 mm) e Janeiro (127,5 mm) é devido principalmente a atuação de sistemas atmosféricos precipitantes ZCAS, Frentes Frias e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's). Entretanto, O trimestre menos chuvoso constituído pelos meses de Junho (2,4 mm), Julho (0,1 mm) e Agosto (0,6 mm) apresenta medições muito baixas, isto ocorre na região devido as características climatológicas marcadas pelo ambiente seco por

causa da ausência de sistemas meteorológicos indutores de chuvas.

Junqueira et al. (2020) estudou a precipitação de um município próximo da SBHMSF e observou período chuvoso e de estiagem similar. Isto corrobora com a Fig.7a, estabelecendo a configuração da variabilidade pluviométrico desta região. Contudo, Andreoli e Kayano (2007) sugerem que está periodização das chuvas no nordeste do Brasil está associada a anomalias resultantes do acoplamento oceânico-atmosférico. As oriundas do Pt (ENOS) e At (Dipolo), além de oscilações extratropicais.

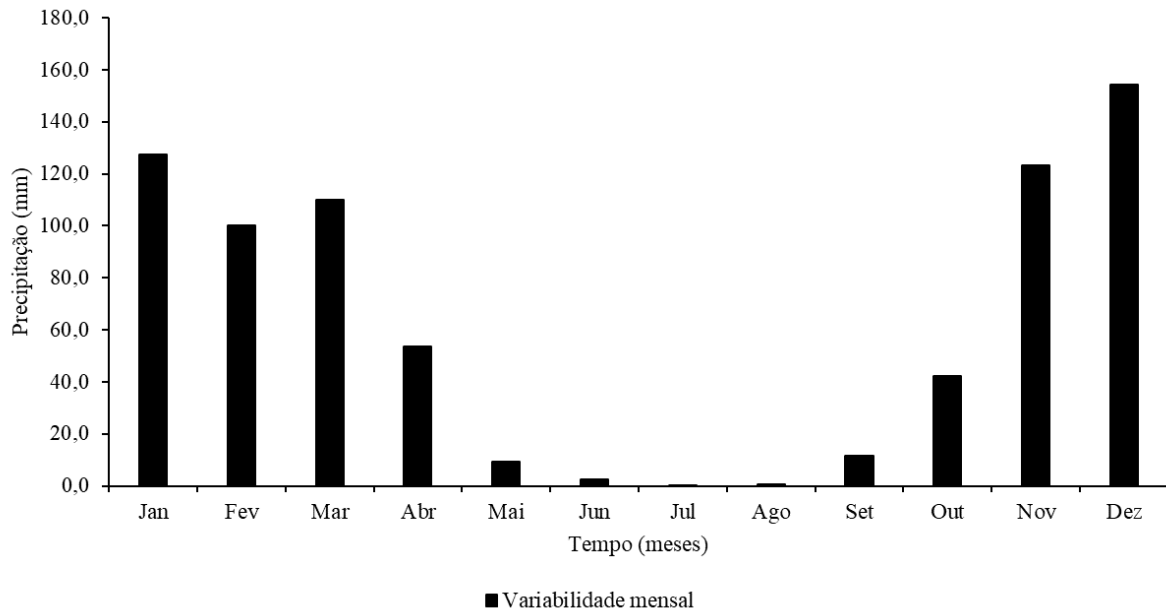


Figura 7. Variabilidade mensal pluviométrica (1988-2018): Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. Fonte: ANA (2020). Autor (2021).

O regime fluvial do trecho médio do rio São Francisco (Fig. 8) acompanha a precipitação (Fig. 7a), com apenas 1 mês de defasagem. Assim, a estação da cheia (Novembro-Abril) e a estação da estiagem (Maio-Outubro) permanecem o mesmo período. Contudo, o trimestre das maiores cotas é Janeiro (420,2 cm), Fevereiro (384,5 cm) e Março (368,5 cm) e o trimestre com as menores observações linmétricas é Julho (167,8 cm),

Agosto (159,1 cm) e Setembro (155,5 cm). A vazão, apresentou o mesmo período de extremos, com o trimestre das descargas fluviais mais elevadas sendo Janeiro ($3.548,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$), Fevereiro ($3.197,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) e Março ($2.939,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) e o trimestre com baixos valores de escoamentos do rio é Julho ($1.127,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$), Agosto ($1.065,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) e Setembro ($1.041,1 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$).

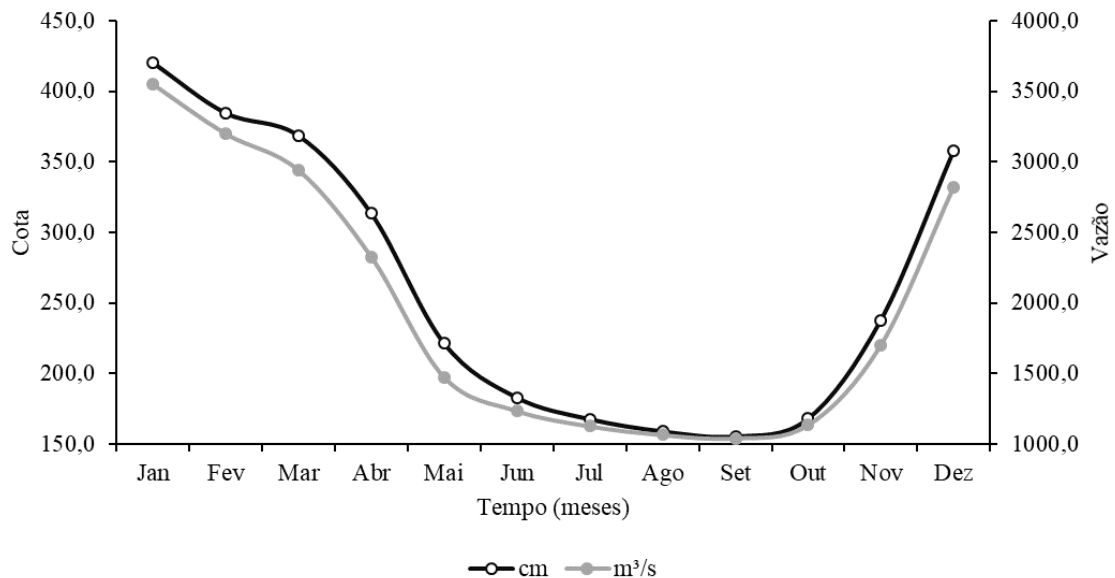


Figura 8. Variabilidade mensal fluviométrica (1988-2018): Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. Fonte: ANA (2020). Autor (2021).

Mudanças e Uso de Cobertura do Solo

Nos últimos anos, analisar os efeitos das alterações do uso e cobertura do solo no regime fluvial de bacias hidrográficas com distintas

características geoambientais têm mostrado resultados diferentes nas flutuações dos rios (Chen et al., 2019; Li et al., 2019).

As mudanças do uso e ocupação da terra na SBHMSF (Fig. 9) são observadas em 10 classes em

sua totalidade. No ano de 1988, as Florestas estavam distribuídas em torno de 242.720,6 km² (60,7 %) concentrando-se mais no eixo norte-noroeste. Em seguida, as áreas de Pasto abrangem 135.046,5 km² (33,7 %) com forte presença nas regiões sudoeste e sudeste, além de acompanhar as margens do rio ao norte. Na categoria de Agricultura são observados 12.280,3 km² (3,1 %) concentrando-se a nordeste e nos limites da SBHMSF a oeste. Associadas a essas duas classes explicitadas, as Zonas Agropastoris possuem aproximadamente 2.853,9 km² (0,7 %) em sua maior parte ao norte na margem esquerda do rio.

As Áreas urbanas constituem uma área de 2.143,6 km² (0,5 %) principalmente na parte central. A Massa d'água representa o grande montante fluvial da SBHMSF com 3.632,8 km² (0,9 %). Em uma escala espacial menor em relação as demais, são identificados pontos de Reflorestamento de 814,5 km² (0,2 %), mostrando as ações de revitalização da cobertura vegetal. Na mesma proporção, a região da SBHMSF apresenta Afloramentos rochosos com 170,6 km² (0,04 %) e atividades de Mineração de 2,7 km² (0,0006 %), além de Áreas não observadas de 250,5 km² (0,06 %).

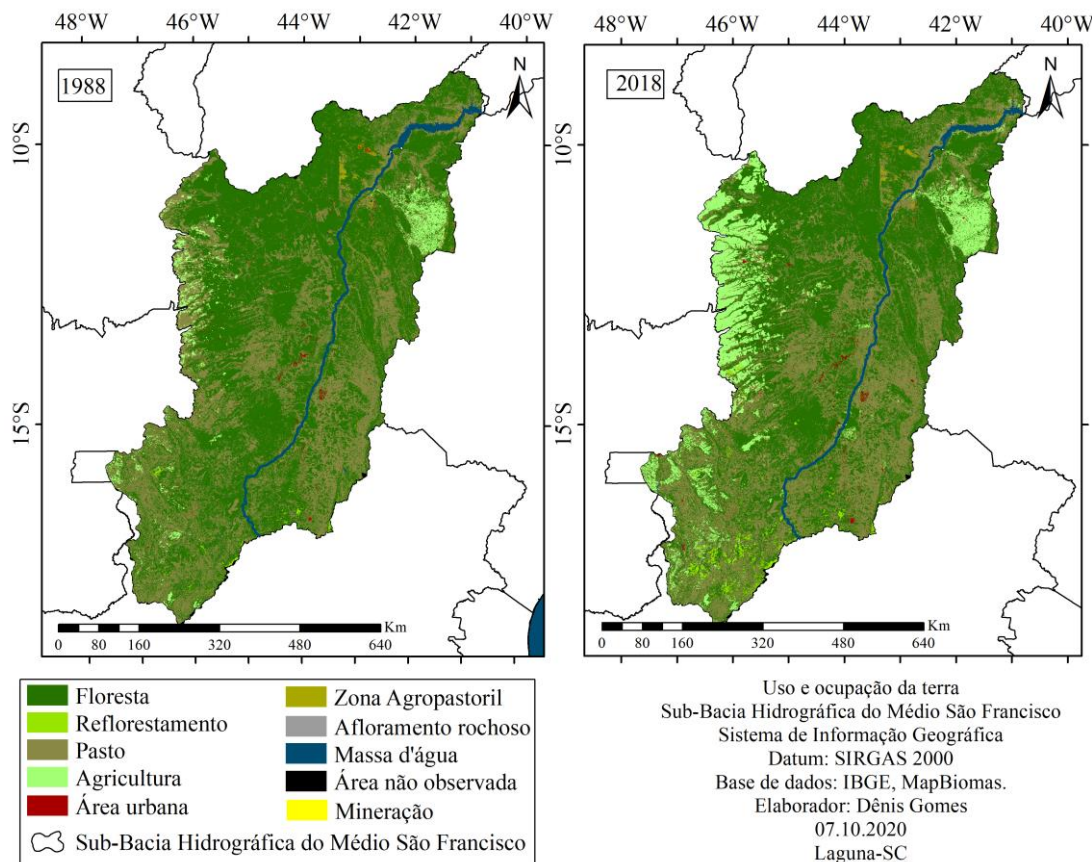


Figura 9. Mudanças do uso e ocupação da terra (1988-2018): Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. Fonte: MapBiomias (2020). Autor (2020).

Em 2018, observa-se modificações consideráveis na cobertura da terra, onde as Florestas, ainda que sob domínio da SBHMSF, sofreram cortes decaindo para 208.316,4 km² (52,1 %). Um dos motivos pode estar relacionado ao aumento principalmente no setor sudeste, mesmo que baixo, das áreas de Pasto compondo cerca de 138.885,4 km² (34,7 %). Contudo, possivelmente o avanço da Agricultura para 40.888,6 km² (10,2 %) advinda da borda oeste pode ser o fator catalizador da supressão florestal, apesar do aumento do Reflorestamento 3.994,8 km² (1,0 %).

Este cenário provavelmente está associado a diminuição da Massa d'água para 3.161,8 km² (0,8 %), o que pode ser reforçado pelas maiores Áreas urbanas com 2.905,5 km² (0,7 %) e Mineração com 5,2 km² (0,001 %). As Zonas Agropastoris diminuíram para 1.296,7 km² (0,3 %), sendo possivelmente transformada para finalidades mais específicas das atividades agrícolas (agricultura e/ou pasto). Os Afloramentos rochosos aumentaram para 211,5 km² (0,05 %), assim como as Áreas não observadas 979,4 km² (0,2 %).

A degradação ambiental detectada na SBHMSF com o avanço das áreas destinadas a práticas agropastoris pode agravar quando há elevado risco climático promovidos por eventos extremos que contribuem para o aumento ou diminuição da quantidade de chuvas (Degefu et al., 2021). Deste modo, Xin et al. (2021) destacou a importância de uma gestão adaptativa nas áreas florestais e agropastoris sob condições das mudanças climáticas, indicando que desastres naturais como inundações e secas afetam fortemente na manutenção das culturas. Salazar et al. (2021) analisou a dinâmica da paisagem do bioma da caatinga (nordeste brasileiro), identificou a intensa conversão de áreas florestais para zonas agrícolas e também reiterou que a falta de conexão dos fragmentos da paisagem pode afetar a biodiversidade de ecossistemas. Além disso, tais alterações ambientais podem aumentar os eventos de erosão do solo (Borrelli et al., 2020), pois Lima et al. (2019) em suas investigações observou erosividade moderada em uma região próxima a SBHMSF.

Conclusões

O oceano Atlântico tropical apresentou tendências de aquecimento a partir de 1995. Entretanto, o Pacífico tropical possui um certo equilíbrio, apesar de ao longo dos 32 anos detectar-se frequências anuais de anomalias positivas superiores.

Na maioria dos anos de extremos climáticos foram observadas precipitações anuais acima (abaixo) da média e do desvio padrão, sendo ratificados pelos valores positivos (negativos) do IAC. A exceção são os anos de 1997, 2004, 2005 que ocorreram excedentes hídricos em condições climáticas desfavoráveis a convecção e aumento de chuva, sendo estes eventos possivelmente associados a sistemas de mesoescalas representados por chuvas intensas com grande volume pluvial. A variação espacial da precipitação aponta que climatologicamente na maior parte do ano o setor centro-norte da SBHMSF está susceptível a eventos de seca. Está informação corrobora para que haja um alerta maior e enfoque no estudo, monitoramento e inovação nas medidas de prevenção contra a seca nesta região.

O regime fluviométrico da SBHMSF representados pela cota e vazão acompanha a sazonalidade da precipitação com defasagem. Ao longo dos anos há uma diminuição nos

níveis deste trecho do rio São Francis. Isto pode estar relacionado ao déficit na recarga pluvial aliada as forçantes climáticas inibidoras de chuva e também ao avanço acelerado das alterações do uso e cobertura do solo, provocados principalmente pelo desmatamento, em que a transformação da área vegetada em terras destinadas a agricultura e pasto não só desregulam o ciclo hidrológico natural como degrada o meio ambiente aumentando sua vulnerabilidade ambiental.

A intensificação do monitoramento e previsões hidroclimáticas associado ao controle do inadequado uso e ocupação da terra podem minimizar impactos ambientais promovidos por ações antropogênicas e agravados por mudanças climáticas. Por tanto, alertas para o uso sustentável de recursos naturais na região do Agreste nordestino são essenciais para a manutenção e gestão hídrica.

Referências

- ANA. Agência Nacional das Águas. *Dados de Precipitação*. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso: 03/01/2021
- Andreoli, R. V., Kayano, M. T. (2007). A importância relativa do Atlântico tropical sul e Pacífico leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22, 63-74
- Alves, L. M., Chadwick, R., Moise, A., Brown, J., Marengo, J. A. (2020). Assessment of rainfall variability and future change in Brazil across multiple timescales. *International Journal of Climatology*, 41, 1875-1888
- Assis, J. M. O., Souza, W. M., Koch, H., Sobral, M. C. M. (2018). Influência dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais sobre os índices climáticos da precipitação na bacia hidrográfica do submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Climatologia* 23, 411-433
- Barbieri, A. F., Domingues, E., Queiroz, B. L., Ruiz, R. M., Rigotti, J. I., Carvalho, J. A. M., Resende, M. F. (2010). Climate change and population migration in Brazil's Northeast: Scenarios for 2025-2050. *Population and Environment*, 31, 344-370
- Bartiko, D., Oliveira, D. Y., Bonumá, N. B., Chaffe, L. B. (2019). Spatial and seasonal patterns of flood change across Brazil.

- Hydrological Sciences Journal 64, 1071-1079
- Belay, T., Mengistu, D.A. (2021). Impacts of land use/land cover and climate changes on soil erosion in Muga watershed, Upper Blue Nile basin (Abay), Ethiopia. *Ecol Process* 10, 68
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., Ballabio, C., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water. *Proceedings on the National Academy of Sciences on the United States of America (PNAS)*, 117 (36), 21994-22001
- Bulgin, C. E., Merchant, C. J., Ferreira, D., 2020. Tendencies, variability and persistence of sea surface temperature anomalies. *Scientific Reports*, 10 (7986), 1-13
- Campos, J. N. B., 2015. Paradigms and public policies on drought in Northeast Brazil: a historical perspective. *Environmental Management*, 55, 1052-1063
- Chen, Q; Chen, H., Wang, J., Zhao, Y., Chen, J. Xu, C. (2019). Impacts of climate change and land-use change on hydrological extremes in the Jinsha river basin. *Water*, 11, 1-25
- Chi, Q.; Zhou, S.; Wang, L.; Zhu, M.; Liu, D.; Tang, W.; Cui, Y.; Lee, J. (2021). Exploring on the Eco-Climatic Effects of Land Use Changes in the Influence Area of the Yellow River Basin from 2000 to 2015. *Land* 10, 601
- Cunha, A. P. M. A., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G. G., Brown, M., Garcia, S. R., Brito, S. B., Carvalho, M. A. (2018). Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northast. *Atmospheric Science Letters*, 19, 2-8
- Dantas, L. G., Santos, C. A. C., Olinda, R. A., Brito, J. I. B., Santos, C. A. G., Martins, E. S. P. R., Oliveira, G., Brunsell, N. A. (2020). Rainfall prediction in the state of Paraíba, Northeastern Brazil using generalized additive models. *Water*, 12, 1-26
- Darela Filho, J. P., Lapola, D. M., Torres, R. R., Lemos, M. C. (2016). Socio-climate hotspots in Brazil: how do changes drive by the new set of IPCC climatic projections affect their relevance for policy? *Climate Change*, 136, 413-425
- Degefu, M. A., Tadesse, Y., Bewket, W., 2021. Observed changes in rainfall amount and extreme events in southeastern Ethiopia, 1955-2015. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 967-983
- Dias, G. F. M., Gomes, D. J. C., Serrão, E. A. O.; Lima, A. M. M.; Miranda, S. B. A.; Silva Junior, J. A.; Sousa, A. M. L. (2020). Associação entre os eventos de ENOS e a distribuição espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Capim. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 521-524
- Dippe, T.; Greatbatch, R. J.; Ding, H. (2018). On the relationship between Atlantic Niño variability and ocean dynamics. *Climate Dynamics*, 51, 597-612
- Fereday, D. R., Chadwick, R., Knight, J. R., Scaife, A. A. (2020). Tropical rainfall linked to stronger future ENSO-NAO teleconnection in CMIP5 models. *Geophysical Research Letters*, 47, 5
- Ferreira, A. G., Mello, N. G. S. (2005). Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1, 15-28
- Ferreira Filho, D. F., Pereira, B. R. L., Crispim, D. L., Pessoa, F. C. L., Fernandes, L. L. (2020). Análise pluviométrica no estado do Pará: comparação entre dados obtidos de estações pluviométricas e do satélite GPCC. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 541-560
- Ferreira, L. G. C., Kemenes, A. (2019). Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a sustentabilidade 2. Zuffo, A. M. (Orgs.). *A Influência das anomalias de temperatura da superfície do mar sobre a precipitação do Nordeste do Brasil*. Ponta Grossa (PR), Ed. Atena, cap. 1, pp. 1-8
- Ferreira, P. S., Souza, W. M., Silva, J. F., Gomes, V. P. (2018). Variabilidade espaço-temporal das tendências de precipitação na mesorregião Sul cearense e sua relação com as anomalias de TSM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33, 141-152
- Feng, Q., Liu, J., Gong, J. (2015). Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier – a case of Yuyao, China. *Water*, 7, 1437-1455
- Finke, K., Jiménez-Esteve, B., Taschetto, A. S., Ummenhofer, C. C., Bumke, K., Domeisen D. I. V. (2020). Revisiting remote drivers of

- the 2014 drought in South-Eastern Brazil. *Climate Dynamics*, 55, 3197-3211
- Franca, R. R., Mendonça, F. A. A. (2016). Pluviosidade na Amazônia meridional: variabilidade e teleconexões extra-regionais. *Revista Franco-Brasileira de Geografia*, 29
- Freitas, M.A.S. (2005). Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. *Revista Tecnologia*, 84-95
- Gomes, D. J. C., Lima, A. M. M., Soares, C. S. T., Ferreira, N. S. (2019). Influência do uso e cobertura da terra associados a eventos climáticos em sistemas hidrometeorológicos. *Revista Geográfica Acadêmica*, 13, 21-36.
- Gomes, D. J. C., Ribeiro, P. S., Dias, G. F. M. (2020). Impactos de extremos climáticos e uso da terra na hidrologia do Município de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, Brasil. *Research, Society and Development*, 9, 1-24
- GPCC. *Global Precipitation Climatology Centre*. Disponível em: <<https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>> Acesso: 03/05/2021
- Grimm, A. M., Tedeschi, R. G. (2009). ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, 22, 1589-1609
- Hao, S., Zhu, F. & Cui, Y. (2021). Land use and land cover change detection and spatial distribution on the Tibetan Plateau. *Scientific Reports* 11, 7531
- Hänsel, S., Schucknecht, A., Matschullat, J. (2016). The modified Rainfall Anomaly Index (mRAI) – is this an alternative to the Standardised Precipitation Index (SPI) in evaluating future extreme precipitation characteristics. *Theoretical and Applied Climatology*, 123, 827-844
- Hounsou-Gbo, Servain, J., Araujo, M., Caniaux, G., Boulès, B., Fontenele, D., Martins, E. S. P. R. (2019). SST indexes in the tropical South Atlantic for forecasting rainy seasons in Northeast Brazil. *Atmosphere*, 10, 1-21
- Hu, Q., Zhou, Q., Chen, X., Li, J., Li, Q., Chen, D., Liu, W., Yin, G. (2018). Evaluation of three global gridded precipitation data sets in central Asia based on rain gauge observations. *International Journal of Climatology*, 38
- Jaweso, D., Abate, B., Bauwe, A., Lennartz, B., 2019. Hydro-Meteorological trends in the upper Omo-Ghibe river basin, Ethiopia. *Water*, 11 (9), 1-18
- Jorge, R. L. O.; Lucena, D. B. (2018). Eventos extremos anuais de precipitação em Mauriti – CE. *Revista Ciência & Natura*, 40, 1-10
- Koch, H., Silva, A. L. C., Liersch, S., Azevedo, J. R. G., Hattermann, F. F. (2020). Effects of model calibration on hydrological and water resources management simulations under climate change in a semi-arid watershed. *Climate Change*, 163, 1247-1266
- Kouadio, Y. K., Servain, J., Machado, L. A. T., Lentini, C. A. D. (2012). Heavy rainfall episodes in the Eastern Northeast Brazil linked to large-scale ocean-atmosphere conditions in the tropical Atlantic. *Advances in Meteorology*, 2012, 1-16
- Lima, M. C. G., Santos, T. E. M., Costa, V. S. O., Lima, C. E. S., Reis, J. V., Souza, W. M., 2019. Avaliação do padrão hidroclimático e da erosividade no Sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12 (5), 1757-1769
- Lins, F. A. C., Silva, J. B., Moura, G. B. A., Ortiz, P. F. S., Oliveira, J. D. A., Alves, M. V. C. (2017). Quantile technique to precipitation, rainfall anomaly index and biophysical parameters by remote sensing in Serra Talhada, Pernambuco. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7, 334-344
- Li, X. X., Koh, T. Y., Panda, J., Norford, L. K. (2016). Impact of urbanization patterns on the local climate of a tropical city, Singapore: Naensemble study. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 121, 4386-4403
- Li, Y., Chang, J., Luo, L., Wang, Y., Guo, A., Ma, F., Fan, J. (2019). Spatiotemporal impacts of land use land cover changes on hydrology from the mechanism perspective using SWAT model with time-varying parameters. *Hydrology Research*, 50, 244-261
- Li, H., Ding, J., Zhang, J., Yang, Z., Yang, B., Zhu, Q., Peng, C., 2020. Effects of land cover changes on net primary productivity in the terrestrial ecosystems of China from 2001 to 2012. *Land*, 9 (12), 1-13
- Li, Z.; Song, K.; Peng, L. (2021). Flood Risk Assessment under Land Use and Climate Change in Wuhan City of the Yangtze River Basin, China. *Land* 10, 878
- Lubbecker, J. F.; McPhaden, M. J. (2017). Symmetry on the Atlantic Niño mode. *Geophysical Research Letters*, 44, 965-973.
- Machado, A. T. M. (2008). A construção de um programa de revitalização na bacia do rio

- São Francisco. *Estudos Avançados*, 22, 195-210
- Marcuzzo, F. N., Andrade, L. R., Melo, D. C. R. (2011). Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4, 793-804
- Martins, A. M., Filgueira, J. A., Azevedo Filho, A. C., Silva, T. C., Silva Junior, M. H. (2020). Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 2896-2907
- Mas, J. F., Vasconcelos, R. N., Franca-Rocha, W. (2019). Analysis of high temporal resolution land use/land cover trajectories. *Land* 8, 1-19
- Moreira Filho, O., Buckup, P. A. (2005). Um caso pouco conhecido de transposição de bacias hidrográficas entre as bacias dos rios São Francisco e Alto Paraná. *Revista Ictiologia Neotropical* 3, 449-452
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. (2006). *Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco*. Brasília
- Nascimento, M. B., Almeida, N. V., Araujo, L. E. (2020). Análise da variabilidade da precipitação pluviométrica na microrregião de Umbuzeiro, Paraíba. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 233-248
- Nascimento, O. S., Morais, R. C. S., Souza, I. R. M., Lima, T. P. (2018). Análise espaço-temporal do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Alto Paraim-Piauí. *Revista Geoambiente*, 32, 210-230
- NOAA. *National Oceanic and Administration Atmospheric*. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>>. Acesso em: 03 mai. 2021
- Pereira, M. D. B., Moura, M. O., Lucena, D. B. (2020). Análise da variabilidade pluviométrica interanual da zona da mata nordestina e a identificação de anos padrão. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 30-50
- Pereira, S. B., Pruski, F. F., Demetrius, D. S., Ramos, M. M. (2007). Estudo do comportamento hidrológico do rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11, 615-622
- Pilz, T., Delgado, J. M., Voss, S., Vormoor, K., Francke, T., Costa, A. C., Martins, E., Bronstert, A. (2019). Seasonal drought prediction for semiarid northeast Brazil: what is the added value of a process-based hydrological model? *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 1951-1971
- Porto, M. F. A., Porto, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Revista Estudos Avançados*, 22, 43-60
- Pousa, R., Costa, M. H., Pimenta, F. M., Fontes, V. C., Brito, V. F. A., Castro, M. (2019). Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgente need for hydroclimatic monitoring. *Water*, 11, 1-21
- MAPBIOMAS – *Coleção 5.1 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil*. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 03 mai. 2021
- Obeidat, M., Awawdeh, M., Lababneh, A., 2019. Assessment of land use/land cover change and it's environmental impacts using remote sensing and GIS techniques, Yarmouk river basin, north Jordan. *Arabian Journal of Geosciences*, 12 (685)
- Oliveira, P. T., Silva, C. M. S., Lima, K. C. (2016). Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brasil. *Theoretical and Applied Climatology* 130, 77-90
- Olokeogun, O. S., Anyanlade, A., Popoola, O. O. (2020). Assessment of riparian zone dynamics and it's flood-related implications in Eleyele área of Ibadan, Nigeria. *Environmental System Research*, 9, 1-11
- Ramos, H. C., Dallacort, R., Neves, S. M. A. S., Dalchiavon, F. C., Santi, A., Vieira, F. F. (2017). Precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando krigagem ordinária. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20, 211-233
- Rebeita, M. S., Rodrigues, M., Armando, R. P., Freitas, C., Martins, D., Gabriel, M. (2016). Causas da semi-aridez do Sertão nordestino. *Revista Brasileira de Climatologia*, 19, 254-277
- Ribeiro Neto, A., Paz, A. R., Marengo, J. A., Chou, S. C. (2016). Hydrological processes and climate change in Hydrographic regions of Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 1103-1127
- Rodrigues, L. O., Souza, W. M., Costa, V. S. O., Pereira, M. L. T. (2017). Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 1995-2009

- Rooy, M. P. V. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. Notes. *Weather Bureau of South Africa*, 14, 43-48
- Salazar, A. A., Arellano, E. C., Muñoz-Sáez, A., Miranda, M. D., Silva, F. O., Zielonka, N. B., Crowther, L. P., Silva-Ferreira, V., Oliveira-Reboucas, P., Dicks, L. V., 2021. Restoration and Conservation of priority áreas of caatinga's semi-arid forest remnants can support connectivity within na agricultural landscape. *Land*, 10 (6), 1-20
- Santos, T. P. (2016). A influência do fenômeno El Niño sobre a pluviosidade do município de Vitória da Conquista-BA. *Revista Eletrônica GeoAraguaia*, 6, 32-46
- Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SNPDC). *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais (S2iD)*. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 03 mai. 2021
- Silva, D. F., Galvêncio, J. D., Almeida, H. R. R. C. (2010). Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. *Qualitas Revista Eletrônica*, 9, 1-17
- Silva, F. J. B. C., Azevedo, J. R. G. (2020). Temporal trend of drought and aridity índices in semi-arid pernambucano to determine susceptibility to desertification. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25, 1-18
- Smith, W. S., Silva, F. L., Biagioni, R. C. (2019). Desassoreamento de rios: quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência. *Ambiente & Sociedade*, 22, 1-20
- Souto, J. I., Beltrão, N., Teodoro, A. (2019). Performance of remotely sensed soil moisture for temporal and spatial analysis of rainfall over São Francisco river basin, Brazil. *Geosciences*, 9, 1-15
- Spruce, J., Bolten, J., Mohammed, I. N., Srinivasan, R., Lakshmi, V., 2020. Mapping land use land cover change in the lower Mekong basin from 1997 to 2010. *Frontiers in Environmental Science*, 8 (21), 1-18
- Stolf, R., Piedade, S. M. S., Silva, J. R., Silva, L. C. F., Maniero, M. A. (2012). Transferência de água do rio São Francisco para o semiárido nordestino: dados técnicos, impactos ambientais, levantamento de opinião sobre o montante a ser transferido. *Revista Engenharia Agrícola*, 32, 998-1010
- Tarekegn, N., Abate, B., Muluneh, A. Dile, Y. (2021). Modeling the impact of climate change on the hydrology of Andasa watershed. *Modeling Earth Systems and Environment*
- Thapa, P. (2021). The Relationship between Land Use and Climate Change: A Case Study of Nepal. [Online First], *IntechOpen*
- Tomaziello, A. C. N., Gandu, A. W. (2013). Impacto da temperatura da superfície do mar na simulação da zona de convergência do Atlântico sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28, 291-304
- Torres, F. L. R., Ferreira, G. W. S., Kuki, C. A. C., Vasconcellos, B. T. C., Freitas, A. A., Silva, P. N., Souza, C. A., Reboita, M. S. (2020). Validações de diferentes bases de dados de precipitação nas bacias hidrográficas do Sapucaí e São Francisco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 368-404
- Utida, G., Cruz, F. W., Etourneau, J., Bouloubassi, L., Shefub, E., Vuille, M., Novello, V. F., Prado, L. F., Sifeddine, A., Klein, V., Zular, A., Viana, J. C. C., Turcq, B. (2019). Tropical South Atlantic influence on Northeastern Brazil precipitation and ITCZ displacement during the past 2.300 years. *Scientific Report*, 9, 1-8
- Yao, X., Wang, Z., Wang, H. (2015). Impact of urbanization and land-use change on surface climate in middle and lower reaches of the Yangtze river, 1988-2008. *Advances in Meteorology*, 2015, 1-10
- Yisehak, B. (2021). Prediction of flood frequency under a changing climate, the case of Hare watershed, Rift Valley Basin of Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management* 7, 9
- Xie, W., Huang, J., Wang, J., Cui, Q., Robertson, R., Chen, K., 2020. Climate change impacts on China's agriculture: The responses from Market and trade. *China Economic Review*, 62, 1-31
- Xuan, X., Liu, B., Zhang, F., 2021. Climate change and adaptive management: case study in agriculture, forestry and pastoral areas. *Land*, 10 (8), 1-17
- Zhang, B.; Zhou, W. (2021) Spatial–Temporal Characteristics of Precipitation and Its Relationship with Land Use/Cover Change on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Land* 10, 269.

Wang, M.; Shao, Y.; Jiang, Q.; Xiao, L.; Yan, H.; Gao, X.; Wang, L.; Liu, P. (2020). Impacts of Climate Change and Human

Activity on the Runoff Changes in the Guishui River Basin. *Land* 9, 291.