



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia de Recursos Naturais

LINHA DE PESQUISA: Recursos Hídricos

MANOEL VIEIRA DE FRANÇA

**EROSIVIDADE PLUVIAL OBTIDA COM DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS NO BAIXO
RIO SÃO FRANCISCO NO ESTADO DE SERGIPE**

CAMPINA GRANDE – PB

2023

MANOEL VIEIRA DE FRANÇA

EROSIVIDADE PLUVIAL OBTIDA COM DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS NO BAIXO RIO SÃO FRANCISCO NO ESTADO DE SERGIPE

Tese de Doutorado apresentada ao Programa do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, na Área de Concentração Engenharia de Recursos Hídricos em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Doutor.

ORIENTADOR: Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa

COORIENTADOR: Dr. Romildo Morant de Holanda

CAMPINA GRANDE – PB

2023

F815e França, Manoel Vieira de.
Erosividade pluvial obtida com diferentes modelos matemáticos no baixo rio São Francisco no Estado de Sergipe / Manoel Vieira de França. – Campina Grande, 2023.
80 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa, Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda".

Referências.

1. Recursos Hídricos. 2. Índice de Aridez. 3. Intensidade de Chuva. 4. Balanço Hídrico. 5. Perda de Solo. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Holanda, Romildo Morant de. III. Título.

CDU 556.18(043)

FICHA CATALOGráfICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225

MANOEL VIEIRA DE FRANÇA

EROSIVIDADE PLUVIAL OBTIDA COM DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS NO BAIXO RIO SÃO FRANCISCO NO ESTADO DE SERGIPE

Tese de Doutorado apresentada ao Programa do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, na Área de Concentração Engenharia de Recursos Hídricos em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Doutor.

Aprovado(a) em: 10/02/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa - UFCG
Orientador

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda - UFRPE
Co-orientador

Prof. Dr. Madson Tavares Silva - UFCG Membro
Interno

Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva- UFCG
Membro Interno

Prof. Dr. Lincon Elói de Araújo - UFCG
Membro Interno

Prof. Dr. Luciano Marcelo Fallé Saboya- UFCG
Membro Interno



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CNPJ nº 05.055.128/0001-76
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
Rua Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/TESE

Ata da **SEGUNDA** sessão pública de Defesa de **Tese** do Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao **DÉCIMO** dia do mês de **FEVEREIRO** de 2023, às **09:00** horas, **presencialmente** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA/UFCG**, como

orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **ROMILDO MORANT DE HOLANDA**

, como co-orientador Prof.(a.) Dr.(a.) **MADSON TAVARES SILVA/UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a.) **VICENTE DE PAULO ROGRIGUES DA SILVA** □/UFCG como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **LINCOLN ELÓI DE ARAÚJO** □/UFPB, como membro externo; Prof.(a.) Dr.(a) **LUCIANO MARCELO FALLÉ SABOYA/UFCG** , como membro externo; a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 02/2023** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com Sr(a) **MANOEL VIEIRA DE FRANÇA** candidato(a) ao Grau de **Doutor(a)** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr(a). **FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA/UFCG** , anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Tese sob o título: **"EROSIVIDADE PLUVIAL OBTIDA COM DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS NO BAIXO RIO SÃO**

FRANCISCO NO ESTADO DE SERGIPE". Área de Concentração: **Engenharia de Recursos Hídricos**, orientada pelo(a) Professor(a) Dra. **FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA/UFCGO(A)** presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos

presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após O(a) candidato(a), no prazo máximo de 30 dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 10/02/2023.

Assinaturas:

Coordenadora do PPGEGRN _____

Candidato(a) _____

Presidente _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____



Documento assinado eletronicamente por **FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR,**

em 01/03/2023, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.](#)



Documento assinado eletronicamente por **LUCIANO MARCELO FALLESBOYA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR,** em

02/03/2023, às 16:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamentono art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.](#)



Documento assinado eletronicamente por **ROMILDO MORANT DE HOLANDA, Usuário Externo,** em 03/03/2023, às 11:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.](#)



Documento assinado eletronicamente por **Lincoln Eloi de Araújo, Usuário Externo,** em 05/03/2023, às 08:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.](#)



Documento assinado eletronicamente por **MADSON TAVARES SILVA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR,** em 17/03/2023, às

14:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.](#)



Documento assinado eletronicamente por **VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA, PROFESSOR 3 GRAU,** em 17/03/2023, às

19:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3143134** e o código CRC **5791A8E6**.

Referência: Processo nº 23096.089736/2022-16

Aos meus pais, José Vieira e Amália Lina

Aos meus irmãos

Aos meus filhos: Rômulo, Frederico, Robson, Hudson, Emanuel, Artur e Alfredo

Aos meus netos e bisneta

À Aneide Ferraz Lima de França (*in memoriam*)

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela oportunidade do aperfeiçoamento permanente e ao anjo amigo pelos constantes conselhos.

Ao Orientador professor Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa por haver me aceitado como orientando e acompanhado nesta construção.

Ao Orientador professor Dr. Romildo Morant de Holanda, coordenador do CITAR / DTR / UFRPE, pelo acolhimento durante as pesquisas que oportunizou realizar esta construção.

Ao Pós-Doc Raimundo Mainar de Medeiros e ao Dr. Luciano Marcelo Fallé Saboya – UAEEA/UFCG, pelos incentivos e sugestões.

Aos meus professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, PPGRN, que apesar de estarem passando por um período atípico, pandêmico, não mediram esforços no cumprimento das metas a serem alcançadas.

Aos professores Dr. Bernardo Barbosa da Silva e Dr. Lincoln Eloi de Araújo, UFCG e UFPB pelos incentivos que possibilitaram esta conquista.

Ao professor Fernando Cartaxo Rolim Neto, UFRPE, pela sua importante participação na correção de textos.

Ao Engenheiro Agrônomo Salatiel Ewen Braga e ao Geógrafo Wagner Rodolfo de Araújo pela colaboração e amizade.

Agradeço a instituição UFRPE por ter sido meu lar durante todo esse tempo e pela liberação para execução deste doutorado.

RESUMO

A obtenção de índices de erosividades mensal e anual, para municípios ou bacias hidrográficas, com o uso de modelos matemáticos, tem grande importância nos cálculos das perdas de solo. Tais índices podem ser utilizados com segurança de forma a ampliar a possibilidade do seu emprego no planejamento conservacionista em atividades tais como agricultura, pecuária, entre outras. O presente trabalho teve como objetivo determinar um modelo matemático de erosividade para o município de Amparo de São Francisco, no Baixo Rio São Francisco, no estado de Sergipe. Foram utilizados dados pluviométricos mensais e anuais adquiridos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO), no período 1963-2019, totalizando 57 anos. Foram realizadas classificações pluviométricas mensais e anuais, usando-se intervalos de desvio, com o intuito de explicar as variabilidades pluviométricas interanuais e assim também mostrar a sua relação com o Índice de aridez (Ia). O cálculo do balanço hídrico foi obtido pelo método de Thornthwaite, visando delimitar a classificação climática pelo Índice de aridez (Ia) interanual da série de dados. Para obtenção dos valores mensais de erosividade foram utilizadas 4 equações com base em modelos matemáticos distintos, produzidos em ambientes diferentes. De acordo com a classificação do regime pluvial anual, ocorreram de uma forma geral, períodos mais úmidos de 1963 a 1973 e períodos muito secos de 2017 a 2019. Os índices de erosividades mensais, evidenciaram para os modelos estudados, as classificações de erosividade variando de fraca a moderada, com predominância da fraca. Mensalmente, os mais altos índices de erosividade ocorreram de abril a junho, enquanto que anualmente, os maiores índices erosivos e pluviométricos foram registrados nos anos de 1964, 1966 e 1972, e os menores índices ocorreram em 1970 e 2018.

Palavras-chave: índice de aridez; intensidade de chuva; balanço hídrico; perda de solo.

ABSTRACT

Obtaining monthly and annual erosivity indices for municipalities or watersheds, using mathematical models, is of great importance in calculating soil losses. Such indices can be safely used in order to increase the possibility of their use in conservation planning in activities such as agriculture, livestock, among others. The present work aimed to determine a mathematical model of erosivity for the municipality of Amparo de São Francisco, on the Lower São Francisco River, in the state of Sergipe. Monthly and annual rainfall data acquired from the Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) and the Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO) were used in the period 1963-2019, totaling 57 years. Monthly and annual rainfall classifications were carried out, using deviation intervals, in order to explain the interannual rainfall variability and thus also show its relationship with the aridity index (Ia). The calculation of the water balance was obtained by the Thornthwaite method, aiming to delimit the climate classification by the interannual aridity index (Ia) of the data series. To obtain monthly erosivity values, 4 equations were used based on different mathematical models, produced in different environments. According to the classification of the annual rainfall, there were, in general, wetter periods from 1963 to 1973 and very dry periods from 2017 to 2019. The monthly erosivity indices, for the studied models, showed erosivity classifications ranging from weak to moderate, with a predominance of weak. Monthly, the highest erosivity indices occurred from April to June, while annually, the highest erosive and rainfall indices were recorded in the years 1964, 1966 and 1972, and the lowest indices occurred in 1970 and 2018.

Keywords: aridity index; rainfall intensity; hydric balance; soil loss.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização de Amparo de São Francisco dentro do estado do Sergipe.	38
Figura 2: Índice de erosividade pluvial mensal para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, no período de 1963 a 2019 pelo modelo matemático de Morais et al. (1991).....	50
Figura 3: Índice de erosividade pluvial mensal para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, no período de 1963 a 2019 pelo modelo matemático de Silva (2001).	51
Figura 4: Índice de erosividade pluvial mensal para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, no período de 1963 a 2019 pelo modelo matemático de Lombardi & Moldenhauer (1992).	52
Figura 5: Índice de erosividade pluvial mensal para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, de 1963 a 2019, utilizando o modelo de França (2023).....	54
Figura 6: Médias mensais dos índices de erosividade e da precipitação para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, do período de 1963 a 2019, utilizando os modelos de França (2023), Morais et al. (1991), Silva et al. (2001) e Lombardi et al. (1992).	56
Figura 7: Índices erosivos anuais para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, do período de 1963 a 2019, utilizando os modelos de França (2023), Morais et al. (1991), Silva et al. (2001) e Lombardi et al. (1992).....	57
Figura 8: Índice de erosividade pluvial anual para o município de Amparo de São Francisco – SE, no período de 1963 a 2019 e médias históricas dos referidos modelos matemáticos.	58
Figura 9: Desvio padrão normalizado da erosividade pluvial anual para o município de Amparo de São Francisco – SE, utilizando-se os modelos matemáticos Lombardi & Moldenhauer (1992), Morais et al. (1991), Silva (2001) e França (2023) no período de 1963	59
Figura 10: Anomalias erosivas pluviais anuais para o município de Amparo de São Francisco – SE, utilizando-se dos modelos matemáticos de Lombardi & Moldenhauer (1992), Morais et al. (1991), Silva (2001) e França (2023) no período de 1963 a 2019.....	59
Figura 11: Variabilidades das precipitações (mm) máximas, médias e mínimas para Amparo de São Francisco entre 1963-2019.....	60
Figura 12: Dados de precipitação e de número de dias com chuva (NDC) em termos, totais anuais.	61
Figura 13: Distribuições anuais dos índices de aridez do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe.....	66

- Figura 14:** Distribuições anuais dos índices pluviais (mm) e da erosividade (MJ. mm. ha-1. h-1. ano-1) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe..... 67
- Figura 15:** Distribuições mensais dos índices de erosividade (MJ. mm. ha-1. h-1. ano-1) e seu comparativo entre os modelos de França (2023) e Morais et al. (1991) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe. 68
- Figura 16:** Distribuições mensais dos índices de erosividade (MJ. mm. ha-1. h-1. ano-1) e seu comparativo entre os modelos de França (2023) e Silva et al. (2001) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe..... 69
- Figura 17:** Distribuições mensais dos índices de erosividade (MJ. mm. ha-1. h-1. ano-1) e seu comparativo entre os modelos de França (2023) e Lombardi et al. (1992) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe 70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Critérios de classificação pluviométrica mensal e anual conforme desvio percentual para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe.....	40
Quadro 2: Classificação climática conforme valores do Índice de aridez (Ia).	41
Quadro 3: Classificação quanto ao nível de susceptibilidade à desertificação com o auxílio do uso do Índice de aridez.	41
Quadro 4: Classificação do potencial erosivo anual da chuva.	43
Quadro 5: Equações erosivas e seus respectivos autores e ano de publicação.	43
Quadro 6: Classificação do regime pluviométrico mensal e anual para Amparo de São Francisco – Sergipe entre 1963-2019.....	46
Quadro 7: Erosividade pluviométrica obtidos com o modelo de Morais et al. (1991) e sua classificação erosiva pela metodologia de Carvalho (2008).	49
Quadro 8: Meses do ano, valores de erosividade pluviométrica ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$) obtidos pelo modelo matemático de Silva (2001) e suas respectivas classificações erosivas pela metodologia de Carvalho (2008).	50
Quadro 9: Meses do ano, valores de erosividades pluviométricas ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$) obtidos com o modelo matemático de Lombardi & Moldenhauer (1992) e suas respectivas classificações erosivas pela metodologia de Carvalho (2008).	52
Quadro 10: Meses do ano, valores de erosividade pluviométrica ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$) obtidos pelo modelo matemático de França (2023) e suas respectivas classificações erosivas pela metodologia de Carvalho (2008).	53

No Quadro 11 tem-se as variabilidades das classificações por modelos e seus comparativos, para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe, entre 1963-2019. Observam-se que nos modelos matemáticos erosivos de Silva (2001) e o modelo de Lombardi & Moldenhauer (1992), as erosividades foram classificadas de acordo com a Fraca para todos os meses dos anos. Com o modelo Morais et al. (1991) foram registrados onze meses de Fraca erosividade e o mês de abril com erosividade moderada. No modelo de França (2023), a erosividade nos meses de abril e maio foram classificadas como moderada. Nos demais meses foi a erosividade fraca. Sabe-se que em estudos realizados na região semiárida do Nordeste, a erosividade em grande maioria é classificada de Moderada a Moderada-Forte, como foi evidenciado por Lopes e Brito (1993), para as regiões de Petrolina – PE, Juazeiro - BA (erosividade moderada). Em Patos - PB, a classificação de erosividade Moderada-Forte foi observada por Carvalho (2008). Portanto o

modelo de França no seu período chuvoso vem corroborar os resultados analisados neste trabalho.....	54
Quadro 11: Variabilidade das classificações por modelos e seus comparativos para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe, entre 1963-2019.	55
Quadro 12: Anos, precipitação anual (mm), classificação climática da precipitação anual para o município de Amparo de São Francisco – SE, entre 1963 – 2019.	63
Quadro 13: Índices de aridez, anos, classificações climáticas e o nível de susceptibilidade anual para o município de Amparo de São Francisco – SE.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

I _a	Índice de aridez
PB	Paraíba
SE	Sergipe
PE	Pernambuco
BA	Bahia
%	Porcentagem
Mm	Milímetros
R	Índice de Erosividade das Chuvas
°C	Graus Celsius
BH	Balanco hídrico
B ₂	Cenário otimista
A ₂	Cenário pessimista
MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	Mega Joule milímetros hectare hora ano
EPM	Método de Erosão Potencial
RUSLE	Equação Universal de Perda de Solo Revisada
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
DEF	Deficiências Hídricas
EXC	Excedente Hídrico
CAD	Capacidade de água disponível
EI ₃₀	Índice de erosividade
NEB	Região Nordeste do Brasil
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
CODEVASF	Companhia do Vale do São Francisco
EMDAGRO – SE	Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe
GPS MAP	Receptor do sistema GPS
UTM	Unidade Transversa de Mercator (projeções cartográficas)
RN	Referência de Nivelamento
MDTs	Modelos Digitais do Terreno
C	Chuvoso
EC	Extremamente Chuvoso
ES	Extremamente Seco
N	Normal
MS	Muito Seco
MC	Muito chuvoso
S	Seco
CC	Classificação climática
NS	Nível de susceptibilidade;
A	Árido
AS	Semiárido
SUS	Subúmido seco
SU	Subúmido
AI	Alta
MA	Muito alta
M	Moderada
MS	Superior a moderada
MAE	Muito alta erosividade
BAE	Baixa/alta erosividade
AE	Alta erosividade

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ME	Média erosividade
DCC	Dias com ocorrências de chuvas
NDC	Número de dias com chuvas
ANA	Agencia Nacional das águas
Niño(a)	El Niño/La Niña
ENOS	El Niño Oscilação Sul
NOAA	Serviço climatológico nacional dos Estados Unidos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
APA	Área de Proteção Ambiental

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	23
2.1. Geral	23
2.2. Específicos	23
2.3. Justificativas	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1 Fator Erosividade	25
3.2 Fator Erosão	29
3.3. Variabilidades climáticas	31
3.4. O Baixo São Francisco	36
4. MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1. Área de estudo	38
4.2 Obtenção e utilização de dados	39
4.3. Critérios de classificações pluviais mensais e anuais	39
4.4. Balanço hídrico	40
4.5. Índice de aridez (Ia)	40
4.6. Fator Erosividade	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 Caracterização do regime pluvial	45
5.2. Comparações de modelos matemáticos erosivos	48
5.3. Precipitação	60
5.4. Número de dias com ocorrências de chuvas	60
5.5. Cálculo dos Índices de aridez (Ia)	61
5.6. Comparativos dos modelos matemáticos erosivos	68
5.7. Considerações gerais	70
6. CONCLUSÕES	71
7. REFERÊNCIAS	72

1. INTRODUÇÃO

Diversos fatores relacionados ao solo e sua degradação, como a erosão pluvial que vem contribuindo significativamente ao esgotamento das terras agrícolas produtivas, onde os agricultores trabalham sem técnicas, além do pastoreio, a retirada da cobertura vegetal rasteira e a ausência da arborização nativa vem ocasionado consequências ao meio ambiente, a perda de solo e água, redução na fertilidade e produtividade das culturas, sedimentação e eutrofização de cursos de água.

O desequilíbrio dos sistemas naturais, excedendo sua capacidade de suporte e as transformações que se iniciam, com a não conservação da cobertura vegetal das superfícies impermeabilizadas, causam alterações morfológicas, físico-químicas e biológicas dos solos, desencadeando uma série de processos de degradação, não apenas dos solos, mas de toda a cadeia ecossistêmica (GOMES, 2019). Segundo ainda este autor o desgaste e a perda do solo, ocasionam uma gama variada de problemas, como o comprometimento de fertilidade natural e o assoreamento de corpos hídricos, com efeitos secundários derivados.

O clima tem uma variabilidade natural e as mudanças climáticas consistem em variações estatisticamente significativas dos elementos do clima, ocasionadas por processos naturais, forçamentos externos e, até mesmo, por ações antrópicas (IPCC, 2013), cujas projeções futuras, atentam para a ocorrência de variações e mudanças no clima (IPCC, 2022; MARENGO et al., 2020).

O estudo da erosão concentra-se sobretudo onde vem ocorrendo desagregação, transporte e deposição de solo particulado. Os estudos em escalas de bacias hidrográficas e na hidrologia permitem melhores abrangências desses processos por conta da grande variabilidade existente. Vários estudiosos vêm empregando técnicas de monitoramento e modelagem de erosão em escala de bacia hidrográfica e na hidrologia (BATISTA et al., 2018; YAN et al., 2018; COELHO 1994).

O conceito de desertificação, como estabelece o Artigo 1º da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, se refere “a degradação das terras das zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas” (BESERRA, 2011). Na Convenção foi aceita a utilização de um Índice de Aridez (I_a) que é a razão da precipitação total anual e a evapotranspiração total anual, sendo que as terras áridas a subúmidas secas possuem um I_a entre 0,03 e 0,65, com exceção para as regiões polares e subpolares, conforme Nicholson & Tucker (1998).

O potencial erosivo e sua intensidade estão ligados diretamente às condições físico-climáticas de cada região, tais como precipitação, topografia e cobertura do solo. Segundo Corrêa et al. (2018), a erosão hídrica ocorre devido ao destacamento das partículas do solo pela ação da chuva, acarretando o transporte das partículas e suas deposições.

O solo é um recurso natural essencial para preservar a continuidade da ecologia terrestre e sua degradação vem sendo um problema global. Segundo alguns autores (SCHNEIDER et al. 2011; LICCO & MAC DOWELL, 2015; CORNELLI et al., 2016) a intensificação do uso da terra de modo insustentável vem influenciando os sistemas hidrológicos com a redução da infiltração d'água pluvial no solo e acarretando aumento no escoamento superficial. Os efeitos da substituição das áreas de florestas pela agropecuária, ação do desmatamento e das queimadas também são discutidos por muitos autores (BALBINOT et al., 2008; ZAMBERLAN et al., 2014; SCHAADT & VIBRANS, 2015).

O conhecimento do potencial erosivo das chuvas de uma região permite o planejamento de estruturas de conservação do solo e práticas agrícolas, que auxiliem na conservação do solo através da manutenção de sua cobertura vegetal (PEÑALVA-BAZZANO et al., 2010). As perdas de solo por erosão podem ser estimadas com a utilização de modelos de predição, sendo a Equação Universal de Perdas de Solo um dos modelos mais utilizados no mundo (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A incidência pluvial é um dos elementos meteorológicos mais importantes para o estudo das oscilações climáticas na América do Sul e em especial no Brasil, ocasionando impacto apreciável em múltiplos domínios estruturais da sociedade, como a agropecuária. Essa incidência está relacionada à ocorrência de alagamentos, inundações, enchentes e erosões, quando associada a alterações desordenadas do uso e ocupação da terra e condicionantes ambientais, como gradiente topográfico, pedologia e a dinâmica fluvial (LICCO & MAC DOWELL, 2015; LEMOS et al., 2018).

A precipitação conforme se eleva em magnitude, intensidade e duração, tende a aumentar o escoamento superficial. Durante o evento de precipitação, uma taxa de evapotranspiração elevada acarreta em uma menor umidade do solo e, conseqüentemente, uma maior taxa de infiltração. Há ainda as condições de superfície decorrentes do tipo de solo, da topografia e da rede de drenagem. O tipo de solo interfere na taxa de infiltração da água no solo e na capacidade de retenção de água sobre a superfície; a topografia influencia na velocidade e capacidade de armazenamento d'água sobre o solo; a rede de drenagem permite a rápida concentração do escoamento, favorecendo conseqüentemente a ocorrência de volumes elevados de escoamento superficial (PRUSKI & SILVA, 1997).

O movimento d'água no solo causado pela infiltração e escoamento, pode ser determinado através de modelos hidrológicos os quais descrevem matematicamente a distribuição espacial destes processos (SABZEVARI et al., 2010). Um modelo que descreve o índice de umidade do solo permite analisar o comportamento hidráulico e a propensão dos solos ao escoamento superficial, haja vista a significativa influência da umidade do solo na coesão e desagregação das partículas do solo, influenciando as fases iniciais da erosão, causada pela precipitação (DAMACENA et al., 2009).

Segundo Veloso (2016), um dos principais impactos ambientais provocados pelo uso inadequado do solo é a erosão, por resultar em uma perda considerável de sedimentos, na redução da fertilidade e produtividade agrícola, no assoreamento dos cursos d'água e consequente poluição das águas.

Rocha (2019) mostrou que os processos e alterações de origem natural ou antrópica que ocorrem nas bacias hidrográficas são refletidos diretamente nos cursos d'água. Assim, a qualidade ambiental de um curso d'água está diretamente relacionada com a qualidade ambiental da sua bacia hidrográfica como um todo, refletindo diretamente na quantidade e qualidade dos benefícios oferecidos ao agroecossistema nela presentes. Uma das variáveis utilizadas para medir a saúde ambiental de um curso d'água é o grau de degradação dos solos de suas margens, principalmente no que diz respeito à erosão.

Segundo França et al. (2020) com a variabilidade geoespacializada podem ser geradas cartas do índice da erosividade pluviométrica mensal e anual, considerando a equação da perda do solo, tempo de retorno erosivo, probabilidade e classificação erosiva, além do coeficiente pluvial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. As áreas agricultáveis e seus entornos localizam-se ao longo de todo seu território, tendo suas regiões climáticas diferentes potenciais erosivos. Logo, o conhecimento deste potencial será de enorme valor para escolha de práticas de manejo do solo visando controlar o processo erosivo. A concretização deste estudo vem a contribuir para políticas de planejamento e gestão regional ou local, servindo como subsídio a novos desenvolvimentos de estudos.

Múltiplo estudo vem demonstrando que as regiões semiáridas e áridas são susceptíveis às modificações climáticas, bem como às degradações ambientais provocadas por ações antrópicas, podendo inclusive intensificar seus níveis de aridez (GREVE et al., 2017; KIMIURA, 2020).

A erosão configura-se como um processo dinâmico e complexo de degradação da terra e para melhor compreendê-lo é necessário conhecer os processos físicos e antropogênicos envolvidos e suas inter-relações (AKBARI et al., 2020). Por ser consequência de múltiplos

fatores, a desertificação ou erosão envolve a deterioração da vegetação, solos, recursos hídricos, biodiversidade, produtividade agrícola e, conseqüentemente, da qualidade de vida das populações afetadas (FERREIRA, 2021).

O planejamento ambiental de uso do solo, o domínio de processos erosivos e a minimização de impactos ao ambiente, principalmente aos corpos hídricos, configuram uma estratégia para o entendimento dos processos do ambiente, pois ao compreender sua vulnerabilidade, menos suscetível ele estará à impactos ambientais. Daí a importância de estudos integrados do ambiente físico-ambiental em bacias hidrográficas (COSTA et al., 2019; PEREIRA & CRISTO, 2019), como fonte de compreensão para o entendimento da elaboração de projetos de caráter preventivo e interdisciplinar para a elaboração de cenários futuros (RIBEIRO & ALBUQUERQUE, 2017).

Silva Neto et al. (2020), Lombardi Neto (1997) e Leprum (1981) destacaram que a erosividade está diretamente ligada à intensidade das chuvas, sendo assim, na medida em que a relação intensidade-duração-frequência da chuva aumenta, maior será o potencial erosivo da precipitação pluvial.

Segundo Pham et al. (2018), as taxas médias de erosão do solo em todo o mundo são estimadas entre 12 e 15 t ha⁻¹ ano⁻¹, isso significa que todos os anos são perdidos cerca de 0,90 - 0,95 mm de solo na superfície da terra.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

2.1. Geral

O presente trabalho teve como objetivo determinar um modelo matemático de erosividade mais ajustado ao município de Amparo de São Francisco, no Baixo Rio São Francisco, no estado de Sergipe.

2.2. Específicos

- Classificar as variabilidades pluviais e sua relação com o Índice de aridez (Ia) no município Amparo de São Francisco no estado de Sergipe;
- Calcular a evapotranspiração média mensal, pelo método do balanço hídrico climático em conformidade com Thornthwaite (1948) e Thornthwaite & Mather (1953);
- Determinar o índice de erosão para as chuvas mensais, utilizando-se quatro modelos matemáticos no cálculo da erosividade na região estudada;
- Determinar e analisar a relação R^2 para os modelos matemáticos usados na área de estudo.

2.3. Justificativas

A vulnerabilidade ambiental aparece em diversas escalas nos territórios e em regiões ou áreas isoladas, com suas aptidões e potencialidades desiguais diante de problemas idênticos. A escolha do município Amparo de São Francisco como área de estudo foi por se tratar de um município ribeirinho, tendo sido observado no campo a contribuição da erosão do solo, através da ocorrência pluvial, destruindo a vegetação e arborização nativas, carreando o solo erodido para as margens dos lagos, lagoas, rios, riachos e córregos, e em especial para o leito do Rio São Francisco.

A exploração antrópica acentuada da natureza a partir do desmatamento indiscriminado com agropecuária extensiva, vem ocasionando o desequilíbrio ambiental promovendo o desgaste físico, químico e biológico do solo, desencadeando processos de degradação erosiva e/ou desertificação. A natureza passa a ser um meio de produção de mercadoria que pode gerar crise ambiental e socioeconômica.

A perda do solo em razão das forças erosivas ocasionadas pela ocorrência dos índices pluviiais é um problema que precisa ser equacionado, através de políticas públicas capazes de mitigar as ações antrópicas em médio e longo prazo, garantindo a sustentabilidade do meio ambiente, na exploração agropecuária e agricultura familiar mantendo em estabilidade o solo, seus nutrientes e vegetação, gerando informações que possam subsidiar os tomadores de decisões governamentais, com técnicas mitigadoras às perdas de solo na região de estudo.

Deste modo pretende-se descobrir o porquê das problemáticas erosivas pluviiais que vêm ocasionando a perda do solo fértil, vegetação nativa e rasteira, aterros dos rios, riachos, córregos, lagos e lagoas, com grandes cheias e enchentes seguidamente, resultando grandes sulcos erosivos e início de voçorocas e com tendência à desertificação.

O crescimento dos processos de industrialização e urbanização desordenados, ao mesmo tempo em que promove o progresso tecnológico/científico, reflete nas relações do homem em relações à natureza, representando cenários de vulnerabilidades socioambientais, mediante a interação de processos naturais e antrópicos.

Muitas das causas da erosão são determinadas pelas mudanças de clima, caracterizadas principalmente por um crescente excedente pluvial, em curto intervalo de tempo, e pela ação do homem em fazer progresso sem planejamento, retirando a arborização e a vegetação rasteira, para criar um cenário vertical de progresso, podendo comprometer as reservas paisagísticas.

As atividades como agricultura sem planejamento, pecuária e mineração estão presentes em quase todo o estado de Sergipe. Estas, quando realizadas de forma inadequada, poderão suscitar processos erosivos que alcançam níveis consideráveis de desertificação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fator Erosividade

Para Zore et al. (2022) a erosividade das chuvas é o principal fator de erosão do solo pela água. Interceptação de chuva pela vegetação pode reduzir o poder erosivo das gotas pluviais e mitigar perdas por erosão do solo. O efeito das gotas de chuva no poder erosivo sob a bétula em um parque urbano na cidade de Ljubljana foi investigado. Mais de um ano de medições de dropsize distribuição usando dois disdrômetros ópticos colocados acima e abaixo da copa da bétula foram usados para investigar o impacto da interceptação da chuva no poder erosivo das gotas de chuva. O número de gotas, queda velocidade e diâmetro de queda foram, em média, menores abaixo do dossel em comparação com as medidas acima do dossel para 20, 7 e 27%, respectivamente. Isso também resultou em uma redução na cinética da chuva. Energia (3 e 30% nos períodos sem folhas e com folhas, respectivamente) e erosividade da chuva (21 e 50% para os períodos sem folhas e com folhas, respectivamente). Os resultados demonstraram que a interceptação da chuva tem uma influência sazonal no poder erosivo. Portanto, as características da vegetação devem ser consideradas como parâmetros variáveis no tempo em vez de constantes em estudos de modelagem de erosão do solo.

Diversos estudos têm sido realizados para caracterizar a distribuição espacial regional da erosividade da chuva no Brasil e em outros países (SILVA 2014; AQUINO 2005; MEN et al., 2008; SILVA et al., 2009; SANTOS & MONTENEGRO 2012). Contudo, não há relatos de estudos similares para a região do Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais. A região é considerada uma das mais pobres do país, apresentando trechos com clima próximo à semiaridez (SILVA, 2020). Isso indica que o desenvolvimento socioeconômico deve ser pautado por preceitos de desenvolvimento sustentável. A caracterização espaço-temporal da erosividade da chuva pode contribuir para identificar áreas com maiores riscos de sofrerem efeitos dos processos erosivos (FERRO et al., 1999), verificando eventuais tendências temporais nos processos erosivos, bem como avaliar sua variabilidade temporal e períodos críticos para eventuais intervenções nas áreas de interesse (CAPOLONGO et al., 2008), contribuindo para a adoção de medidas mais efetivas de conservação e manejo do solo (FERRO et al., 1999).

As classes hídricas devem ser consideradas, pelo círculo do cenário climático futuro pluvial e térmico do ar, levando-se em conta os cenários médios mensais com redução pluvial e o seu impacto erosivo no solo, visando mostrar os efeitos do aquecimento global através do

cômputo do balanço hídrico (FRANÇA et al., 2020b). Os autores determinaram o fator erosividade aplicando a equação proposta por Wischmeier & Smith. Os índices evapotranspirativos registraram acréscimo nas regiões, nos cenários estudados. Advertem para situações críticas de condições do solo podendo ocorrer impactos nos recursos hídricos e nas culturas de sequeiro.

A análise do índice erosivo pluvial na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca – Pernambuco foi realizada por França et al. (2020c). Eles obtiveram alta correlação do índice erosividade com o coeficiente de chuva e utilizaram as equações obtidas para estimar o fator R de perda de solo. Este fator deve ser utilizado com segurança para as áreas de entorno da bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, com características climáticas semelhantes, ampliando a possibilidade de utilização deste fator no planejamento conservacionista da atividade agropecuária.

França et al. (2018) avaliaram as variabilidades da precipitação e do índice de erosividade da chuva mensal e anual para o município de Caruaru – Pernambuco, com base na equação universal de perda do solo, sua probabilidade e seu tempo de retorno, fornecendo informações relevantes ao setor agropecuário para realizações de planejamentos com melhores fontes de segurança, visando a instalação de projetos e sua produção sustentável, além da possibilidade de fechamento de áreas degradadas, transformando-as em sistemas de captação de água de chuva em Barroquinhas para manutenção da água do solo. Constatou-se que os usos dos solos aceleraram os processos erosivos, havendo predomínio da morfogênese em detrimento da pedogênese, necessitando de readequação do uso do solo.

As condições hídricas por meio do panorama climático da variabilidade da capacidade de campo, visando detectar as flutuações erosivas do solo, no município de Amparo de São Francisco – Sergipe, foram avaliadas por França et al. (2020), utilizando o cômputo do balanço hídrico de Thornthwaite. Nas capacidades de campo de 25, 50 e 75 mm foram registrados índices erosivos altos. Nas capacidades de campo de 100, 125 e 150 mm foi registrada erosividade moderada. Índices erosivos fracos foram registrados para a capacidade de campo de 175 mm. Foi constatado que os índices pluviométricos para as capacidades de campo estudadas devem ocasionar mais incidências erosivas, visto que se esperam chuvas fortes com grandes magnitudes e em curto intervalo de tempo.

Medeiros (2019) caracterizou o potencial erosivo das precipitações trimestrais do período seco e chuvoso, da erosividade total e anual no estado do Piauí, utilizando coletas de dados pluviométricos das 15 microrregiões. Os dados compreendem anos do período 1962-2016 por serem as séries de maiores índices pluviométricos distribuídos nas microrregiões. Na determinação do

fator erosividade foi utilizada a equação proposta por Wischmeier & Smith (1958), Wischmeier et al. (1971) e Wischmeier & Smith (1978).

O balanço hídrico climatológico normal em face dos fenômenos de larga escala El Niño e ou La Niña, foi estudado por França et al. (2020d), visando avaliar a variabilidade erosiva para o município de Amparo de São Francisco – SE, disponibilizando informações aos tomadores de decisões governamentais para que possam realizar planejamento visando conter perdas de solo na região. Verificou-se que os índices de aridez têm maior contribuição para o processo erosivo, registrados no período de ocorrência de La Niña (3,63%), seguidamente dos períodos de El Niño (21,78%) e da série pluvial (1963-2019) (35,85%).

Medeiros et al. (2017) estimaram a erosividade da chuva na bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto, utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo, em quarenta e oito localidades, no período crítico de ocorrência de chuvas intensas na referida área. No período crítico, de outubro a março, chove 90,74% do total anual. Encontraram estágios avançados de erosividade em várias localidades: Fazenda Cachoeira, no município de Santa Filomena, com 51.955,2 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; Fazenda Paus, em Monte Alegre do Piauí, com 37.322,6 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e Fazenda Melancia, em Gilbués, com 34.923,4 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. O município de Colônia do Gurguéia, com 19.608,5 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, é o local com menor risco de erosividade. Nos outros quarenta e três municípios os índices de erosividade foram de moderados a fortes.

Foi avaliada por França et al. (2020e) a variabilidade geoespacializada, gerando cartas do índice da erosividade pluviométrica mensal e anual, considerando a equação de perda do solo, tempo de retorno erosivo, probabilidade e classificação erosiva, além do coeficiente pluvial, da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Tais autores constataram que as áreas agricultáveis e seu entorno localizam-se ao longo de todo seu território, tendo suas regiões climáticas diferentes potenciais erosivos.

Medeiros et al. (2018) realizaram o cômputo do balanço hídrico e da erosividade pluvial levando em conta cenários médios mensais, com redução pluvial de 10% e acréscimo no índice térmico de 1 °C (cenário otimista = B₂) e 20% e 4 °C (cenário pessimista = A₂) para a cidade de Cabaceiras – PB. Utilizaram dados mensais e anuais pluviais e térmicos do ar estimados referentes ao período de 1950-2010. No índice de erosividade das chuvas (R) foi utilizada a Equação Universal de Perdas de Solo. Os resultados obtidos mostram que nos cenários otimistas (B₂) e pessimistas (A₂) há ocorrências críticas das condições de perda de solo, afetando os recursos hídricos e os cultivos de sequeiro; os índices pluviais para o cenário A₂, não são suficientes para diversas culturas; a área em estudo enquadra-se como sendo de alta erosividade pluvial onde o R encontrado foi de 11.701,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Medeiros (2019a) encontrou a erosividade para o município de Areia - PB com valor de 31.528,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano. Foi verificado que os maiores índices de erosividade foram registrados nos meses de março a agosto, coincidindo com o período chuvoso, e a capacidade de campo atinge valores máximos, com restos de cultivos. De setembro até a primeira quinzena do mês de fevereiro, ocorreram reduções nos índices erosivos, sendo de fato o período seco e o início das chuvas de pré-estação.

Santos Neto & Chistofaro (2019) determinaram a variação espaço-temporal da erosividade das chuvas na bacia do Rio Araçuai - MG. Os resultados apontaram uma erosividade média anual na bacia com valor de 9125 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. A análise espacial indicou a existência de um gradiente decrescente de erosividade no sentido Sul-Norte, com os maiores valores nos trechos mais altos da bacia. A análise temporal demonstrou que os maiores valores de erosividade ocorreram no período de outubro a março e os menores valores ocorreram de abril a setembro.

O fator erosividade (R) de perdas de solo concebe o potencial erosivo pluvial de uma determinada região, assumindo períodos de dados pluviométricos com 20 a 30 anos. O fator R pondera o potencial erosivo das chuvas de certo local, onde se conhece a capacidade e o potencial pluvial em ocasionar erosão (MENEZES & LEITE, 2017). Este índice fundamentou-se em distintos artigos sobre erosividade, em que se sobressaem as pesquisas desenvolvidas por Zanin et al. (2017) e Jardim et al. (2017).

Silva Neto et al. (2020) destacaram que a erosividade está diretamente ligada à intensidade das chuvas, sendo assim, na medida em que a relação intensidade-duração-frequência da chuva aumenta, maior será o potencial erosivo da precipitação pluvial (Fator R). Para Xavier et al. (2019) o fator R estima o fenômeno produzido pelas chuvas, quando as gotas de água impactam o solo em função de sua energia cinética. Pode-se afirmar que o fator R é o índice de erosão pelas chuvas, que expressa a capacidade de uma chuva erodir um solo desprotegido.

Silva et al. (2020) ao estudarem o índice de erosividade (EI₃₀) das chuvas para a bacia experimental do riacho Mimoso, no semiárido pernambucano, encontraram erosividade referente ao ano de 2010 de 10.152,31 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Já Santos & Montenegro (2012) estudando erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano, alcançaram resultados diferentes. Os autores obtiveram para o fator erosividade (R) valor de 2.779,79 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, caracterizando as chuvas do Agreste de Pernambuco com erosividade média.

De acordo com Pinheiro et al. (2018) a grande variabilidade espacial da erosividade no Brasil é natural, decorrente das diferentes variações climáticas entre as diversas regiões do país, indicando grande variabilidade no risco de erosão hídrica.

Rufino et al. (1993) estimando a erosividade para oito regiões do estado do Paraná, obtiveram coeficientes de determinação que variaram de 0,84 a 0,93. Santos & Montenegro (2012) estudando a erosividade do Agreste Central pernambucano, alcançaram um coeficiente de determinação de 0,71, com uma linha de tendência ajustada ao tipo potência, não apresentando uma correlação elevada, quando comparada com coeficiente de determinação de 0,91, obtido por Almeida et al. (2011), para Cuiabá, MT.

3.2 Fator Erosão

A erosão é um processo natural que consiste no transporte das partículas do solo, tendo como consequência o assoreamento de corpos hídricos e acarretando a perda da qualidade de água até a extinção de espécies de fauna e flora (PIRES et al., 2002). A degradação do solo resulta em perda de nutrientes e consequentemente perda da fertilidade, aumentando assim os custos na reparação (MEIRA et al., 2016; SILVA et al., 2020), além de prejuízos econômicos e ambientais para as regiões onde o solo carregado é sedimentado (SANTOS et al., 2020). Alguns fatores atenuam ou agravam esse tipo de erosão, como precipitação, tipos de solo, uso e ocupação do solo, entre outros (SIMONETTI et al., 2019).

A erosão do solo, particularmente devido à perda de solo, é preocupante face à redução na capacidade produtiva do solo, aumentando o assoreamento de recursos hídricos e redução da qualidade da água. Estudos sobre erosão do solo envolvem: a quantificação do fator erodibilidade K do solo no campo, sob chuva natural, e o desenvolvimento de monogramas para solo subtropical (CASSOL et al., 2018) ou em condições de laboratório (THOMAZ & FIDALSKI, 2020); fator erosividade R; fator uso e manejo C; e fator práticas conservacionistas P da USLE (SILVA et al., 2020); monitoramento do impacto do uso do solo sobre a produção de sedimentos em bacias hidrográficas, para identificação de fontes de sedimentos (AVANZI et al., 2019; RODRIGUES & RODRIGUES, 2018; VALENTE et al., 2020; VALENTE et al., 2021); pagamento por serviços ambientais (BISPO et al., 2020); efeito de plantas de cobertura na erosão do solo (BENIAICH et al., 2020); práticas de manejo e relação com perda de solo, água e nutrientes, perda do solo como indicador de risco à desertificação (RIOS et al., 2020); fontes de sedimentos e volume erodido em voçorocas (CÂNDIDO et al., 2020); erosão em áreas degradadas (SIQUEIRA JUNIOR et al., 2019); relação posição relevo do solo com erosão e

propriedades do solo; e modelagem hidrossedimentológica em bacias hidrográficas (MAURI et al., 2020; EBLING et al., 2021). Além disso, a erosão tem clara relação com a qualidade da água, sendo necessária a identificação de fontes de poluição (BASTOS et al., 2021) e com o balanço hídrico em bacias hidrográficas (FERRETO et al., 2021; FERRETO et al., 2020).

O movimento da água no solo causado pela infiltração e escoamento pode ser determinado através de modelos hidrológicos os quais descrevem matematicamente a distribuição espacial destes processos (SABZEVARI et al., 2010). Um modelo que descreve o índice de umidade do solo permite analisar o comportamento hidráulico e a propensão dos solos ao escoamento superficial, haja vista a significativa influência da umidade do solo na coesão e desagregação das partículas do solo, influenciando as fases iniciais da erosão causada pela precipitação (DAMACENA et al., 2009).

A paisagem com relevo mais movimentado de uma sub-bacia, favorece uma maior velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior arraste das partículas do solo. Segundo Calderano Filho et al. (2018) numa superfície inclinada entre 8 e 14%, o escoamento superficial tende a ser médio ou rápido, e a erosão sob cultivo varia amplamente com o solo e práticas de manejo. Entre 14 e 20%, a superfície é tida como inclinada a muito inclinada e o escoamento superficial é rápido ou muito rápido na maioria dos solos, os quais provavelmente sofrem erosão hídrica sob cultivo, exceto aqueles mais permeáveis. Da mesma maneira, em relevo forte ondulado (20 a 45%) a superfície é fortemente inclinada e o escoamento é muito rápido, para a maioria dos solos.

Ganasri & Ramesh (2016) mostraram que os modelos de erosão são fáceis de interpretar, requerem recursos mínimos e podem ser executados com as informações disponíveis. Esses modelos, quando combinados com Sistemas de Informações Geográficas, permitem a espacialização dos resultados e a identificação de elevados riscos de erosão, contribuindo para o planejamento de medidas mitigatórias.

Os métodos convencionais que envolvem experimentos de campo para determinar as taxas de erosão e identificar zonas susceptíveis são caros e requerem uma grande demanda de tempo. Além disso, pode ser impraticável implementar esses procedimentos em uma escala de bacia hidrográfica (GANASRI & RAMESH, 2016; EFTHIMIOU et al., 2017). Portanto, o uso de técnicas de modelagem pode ajudar a superar essas limitações e obter resultados precisos e eficazes.

Para Matos et al. (2017) as ações antropogênicas contribuem para o avanço da erosão com a retirada da cobertura vegetal, pois o solo perde sua consistência. A água que antes era interceptada e utilizada pela vegetação, passa a infiltrar no solo e escoar pela sua superfície,

podendo causar a instabilidade e erosão do solo. O processo erosivo e sua intensidade estão relacionados diretamente com as condições físico-climáticas de cada região, como a precipitação, topografia e cobertura do solo (COSTA et al., 2020).

De acordo com Rodrigues et al. (2017) a erosão do solo consiste em um problema para a humanidade, visto que tal fator é responsável pelo decaimento da qualidade e produtividade do solo, pelo esgotamento das terras agricultáveis, redução da infiltração, aumento do escoamento superficial e pela deterioração da qualidade da água. Dessa forma, Wang et al. (2016) consideraram que a erosão do solo é um dos maiores problemas ambientais em escala global. Segundo Pham et al. (2018) as taxas médias de erosão do solo, em todo o planeta Terra, são estimadas entre 12 e 15 t ha⁻¹ ano⁻¹, significando que todos os anos são perdidos cerca de 0,90 - 0,95 mm de solo na superfície da terra.

Silva et al. (1986) estudando os efeitos de coberturas vegetais na proteção do solo na Região Nordeste do Brasil, observaram maior proteção da pastagem e, em seguida, da cana-de-açúcar, do milho, do feijão e do algodão.

As condições satisfatórias, associadas às barreiras naturais ou artificiais, a meandros dos cursos d'água ou lagos, lagoas e a reservatórios podendo culminar no assoreamento, assim, é possível afirmar que os impactos consistem, em geral, na perda de camadas de solo agricultáveis e no assoreamento dos mananciais hídricos adjacentes dos processos associados à erosão laminar ou pluvial. Especialmente nas áreas rurais, a perda de solos envolve o carreamento da parte superficial do solo, diminuindo a produtividade e aumentando o gasto com insumos agrícolas. (HECKMANN et al., 2018; NAJAFI et al., 2021).

3.3. Variabilidades climáticas

Visando caracterizar, compreender e identificar as influências dos elementos, a fim de verificar sua relação com o processo de desertificação em Cabaceiras – PB, França et al. (2020a) levaram em consideração os aspectos morfológicos, as variabilidades climáticas associadas à forte erosividade das chuvas e da erodibilidade dos solos, que assumem maior expressividade nos condicionantes da desertificação. Concluíram que os dados de temperaturas máximas, mínimas, médias e amplitudes térmicas, velocidade e direção do vento, evaporação, evapotranspiração, insolação total, nebulosidade, precipitação, desvio padrão da precipitação, coeficiente de variância e precipitações máximas e mínimas absolutas têm enorme contribuição para os aumentos da erodibilidade dos solos.

As variabilidades climáticas e suas oscilações nos elementos atmosféricos no período de 1963-2019 para o município de Amparo de São Francisco, SE, foram estudadas por França et al. (2021a), visando fornecer informações aos tomadores de decisões governamentais e à população em geral, para ocorrências de fatores extremos na área de estudo. As análises das variabilidades pluviais, evapotranspirativas, evaporativas e térmicas, apresentaram expressivas variabilidades interanual para o município em estudo. Foram registrados acentuados déficit e excedentes hídricos, praticamente em dois meses; os índices de umidade, aridez e balanço hídrico foram irregulares no período estudado.

Amparo de São Francisco posiciona-se em uma área de fluutuabilidade pluvial extensa com alta potencialidade na perda da camada fértil do solo, afetando a produção agropecuária. Neste município foi estimada a erosividade através de modelagem proposta por França et al. (2021b) nos períodos de 1963-1982, 1983-2001 e 2002-2019. As informações geradas podem servir de suporte ao planejamento conservacionista da área e com isso ser possível a adoção de estratégias de recuperação e prevenção de danos aos recursos ambientais, aumentando a capacidade produtiva da propriedade e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico (FRANÇA et al., 2021c).

Considerando a usual vulnerabilidade dos ecossistemas em plantações florestais relacionada, entre outros, à baixa fertilidade natural do solo (FERREIRA et al., 2020), relevo movimentado e mecanização, o uso sustentável do solo exige o conhecimento das potencialidades e limitações dos componentes ambientais para subsidiar o planejamento das atividades produtivas e gerenciamento dos recursos naturais (SILVA et al., 2014).

Em relação aos impactos da mudança do uso e manejo do solo sobre as variáveis hidrológicas e erosivas, a floresta desempenha papel fundamental na distribuição de energia e água na superfície, influenciando os processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão. Sendo o escoamento superficial a fase do ciclo hidrológico mais diretamente associada ao desenvolvimento do processo erosivo, é imprescindível considerar em sua análise, tanto parâmetros agroclimáticos como parâmetros fisiográficas (PRUSKI & SILVA, 1997).

O planejamento ambiental é uma necessidade para a preservação dos recursos hídricos, de maneira a evitar o desgaste de solos com ocupações inadequadas, que potencializam enchentes e agravam o problema da escassez da água (NARDINI et al., 2015). Para a manutenção dos recursos hídricos deve-se monitorar a retirada da cobertura vegetal de nascentes e da mata ciliar. O uso indiscriminado de agroquímicos e a exploração excessiva dos recursos naturais influenciam diretamente na qualidade da água da bacia (LEAL & TONELLO,

2016). As ações antrópicas têm acelerado e potencializado alterações nas características fisiográficas das bacias hidrográficas, por meio da canalização e reutilização de cursos fluviais, terraplenagem e impermeabilização do solo (OLIVERA et al., 2017).

A precipitação conforme se eleva em magnitude, intensidade e duração, tende a aumentar o escoamento superficial. Durante o evento de precipitação, uma taxa de evapotranspiração elevada acarreta em uma menor umidade do solo e, conseqüentemente, uma maior taxa de infiltração. Há ainda as condições de superfície decorrentes do tipo de solo, da topografia e da rede de drenagem. O tipo de solo interfere na taxa de infiltração da água no solo e na capacidade de retenção de água sobre a superfície; a topografia influencia na velocidade e capacidade de armazenamento d'água sobre o solo; a rede de drenagem permite a rápida concentração do escoamento favorecendo conseqüentemente a ocorrência de volumes elevados de escoamento superficial (PRUSKI & SILVA, 1997).

Medeiros et al. (2016) analisaram a relação entre o número de dias com chuva, e precipitação no município de Bom Jesus Piauí, no período 1960-2014 e suas influências entre os fenômenos El Niño e La Niña. As análises realizadas englobaram todos os meses do ano, gerando informações indicativas para uso adequado da água para atividades agropecuárias, geração de energia, recursos hídricos e abastecimento d'água.

Medeiros et al. (2012) mostraram que as correlações entre os números de dias de chuva e a precipitação foram averiguadas pelo teste F ao nível de 5% para o município de Cabaceiras, com precipitação anual de 1.337,8 mm, registrada em 80 dias. Os meses com maiores índices de precipitação foram fevereiro, março e abril, totalizando 860,5 mm distribuídos em 46 dias ao longo dos três meses. No trimestre agosto, setembro e outubro ocorreram os menos índices pluviais, com 60,6 mm em 12 dias. Nos anos com precipitação abaixo da média, existiu uma melhor distribuição temporal das chuvas, ao contrário de quando choveu acima da média, em que a precipitação foi mais concentrada no tempo. Houve tendência significativa de incremento na precipitação e no número de dias com chuva no 1º trimestre do ano, enquanto que no 2º e 4º trimestres, essa tendência é inversa, ou seja, ocorrendo redução da precipitação e do número de dias com chuva, considerando o período de 1913 a 2005, ajudando deste modo aos captadores de águas de chuvas a um melhor planejamento para a sua captação.

As incertezas hidrológicas, como o número de dias com chuvas (NDCC), as variações das demandas e o grande número de variáveis representativas dos processos físicos, químicos e biológicos, conferem elevado nível de complexidade à análise dos sistemas de recursos hídricos (CARVALHO et al., 2019).

Souza et al. (2003) estudaram o comportamento do número de dias de chuva no estado de Santa Catarina e observaram que, em se tratando de precipitação anual, foi necessário separar as observações em anos de El Niño e La Niña, devido à influência desses fenômenos na precipitação. Nesse estudo, observou-se que em anos de ocorrência de El Niño o número de dias com chuva é maior que em anos de La Niña. Neste sentido, os dados de precipitação e de número de dias com chuva de Bebedouro precisam ser analisados para uma maior série de anos, identificando-se fenômenos que contribuem para o aumento ou redução da precipitação local, como os fenômenos El Niño/La Niña. Uma vez verificada a correlação entre estes fenômenos e a precipitação local, a previsão dos mesmos pode ser utilizada para orientar a população no sentido de que em anos cuja previsão aponte para a ocorrência de chuvas um pouco abaixo da média, pode haver necessidade de irrigação para maior chance de sucesso das atividades agrícolas; enquanto que a previsão de chuvas acima da média deve alertar para o uso das tecnologias de captação e armazenamento de água da chuva.

O conhecimento da variabilidade sazonal da precipitação e do número de dias chuvosos e conseqüentemente, a variação destes ao longo de um ciclo de cultivo, é imperativo para a obtenção de rendimentos satisfatórios na agropecuária e no armazenamento de água. É através destas informações que se pode planejar a melhor época de plantio, planejar e dimensionar sistemas de irrigação, monitorar condições favoráveis à ocorrência de pragas e doenças, além de uma série de outras atividades inerentes ao agronegócio e à hidrologia. Além disso, poderá haver predição com relação ao nível de águas dos mananciais e reservatórios das usinas hidrelétricas, planejando-se o abastecimento urbano e a geração de energia elétrica (SILVA et al., 2011).

Medeiros et al. (2012) analisaram a contribuição para captação de águas de chuva com relação ao número de dias com chuva e a precipitação no município de Teresina - Piauí, gerando subsídios indicativos para utilização adequada da sua captação. A precipitação média anual foi de 1.337,8 mm, ocorrida em 80 dias. Nos meses de fevereiro, março e abril foram registrados 860,5 mm, distribuídos em apenas 46 dias. Já no trimestre agosto, setembro e outubro foram registrados 60,6 mm em 12 dias. Nos anos com precipitação abaixo da média, existiu melhor distribuição temporal das chuvas, ao contrário de quando choveu acima da média, uma vez que a precipitação foi mais concentrada no tempo. Ocorreu tendência significativa de incremento na precipitação e no número de dias com chuvas no 1º trimestre do ano, enquanto que no 2º e 4º trimestres, essa tendência é inversa, ou seja, há redução tanto da precipitação como do número de dias com chuva, quando se considera o período de 1913 a 2005, ajudando deste modo aos administradores de águas de chuvas para um melhor planejamento na sua captação.

Devido à ausência de séries pluviométricas longas, há carência de estudos que mostram a correlação de chuvas com fenômenos climáticos de larga escala, tais como El Niño e La Niña. Medeiros (2018) analisou a influência da variabilidade pluviométrica e do número de dias com chuvas na cidade de Recife - PE, e suas relações com os fenômenos El Niño e La Niña. Foi constatado que no quadrimestre seco, correspondente aos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, não há interferências dos fenômenos El Niño e La Niña nos acréscimos e reduções dos dias com ocorrências de chuvas, estando estes ligados diretamente aos fatores locais, como brisa, movimentos convectivos e linha de instabilidade. Os fenômenos El Niño e La Niña pouco influenciam o DCC (Dias com ocorrência de chuvas) em Recife – PE, pois nos meses com maiores intensidades desses fenômenos, as curvas de tendência evidenciaram ausências de acréscimo ou decréscimo.

A falta de planejamento e o uso não sustentável dos recursos naturais contribuem para a degradação ambiental dos ecossistemas. Estima-se que o mundo já perdeu, desde a metade do Século XX, 1/5 da superfície cultivável e aproximadamente 20% das florestas tropicais. Além disso, a cada ano desaparecem cerca de 25 bilhões de toneladas de húmus por efeito da erosão, desertificação, salinização e outros processos de degradação ambiental (ANDRADE et al., 2018).

O planejamento ambiental de uso do solo, o controle de processos erosivos e a minimização de impactos ao ambiente, principalmente aos corpos hídricos, configuram uma estratégia para o entendimento dos processos do ambiente, pois ao compreender sua vulnerabilidade, menos susceptível ele estará a impactos ambientais. Daí a importância de estudos integrados do ambiente físico-ambiental em bacias hidrográficas (COSTA et al., 2019; PEREIRA & CRISTO, 2019), como fonte de compreensão para o entendimento da elaboração de projetos com caráter preventivo e interdisciplinar, para a elaboração de cenários futuros (RIBEIRO & ALBUQUERQUE, 2017).

É de extrema necessidade a observação de ocorrências de chuvas, sejam intensas, fortes ou moderadas. Uma ocorrência pluvial pode ter seu potencial de dano adicionado ao seu caráter persistente e forte, de acordo com as definições do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Assim, para os meteorologistas, o interesse passa não apenas pela intensidade da chuva, mas também pela sua duração. Em Recife - PE, eventos de chuva acima de 100 mm em 48 h mostraram ser danosos à mobilidade, habitação, economia e até vidas (CAVALCANTI & CUNHA FILHO, 2017).

Para Batista et al. (2018) o estudo de chuvas intensas é importante para o gerenciamento de recursos hídricos, operação de sistemas hídricos (ELSEBAIE, 2012), estimativa de áreas de inundação e avaliações ambientais (MAMOON et al., 2014).

As chuvas intensas são representadas pela intensidade, duração e frequência (Back, 2020). Estas, são uma representação de probabilidade de excedente de chuvas, dado um período de retorno e duração estabelecida (CHANG et al., 2016; BASUMATARY & SIL, 2017).

3.4. O Baixo São Francisco

O território do Baixo São Francisco sergipano foi criado através do Decreto Estadual nº. 24.338, de 20 de abril de 2007 e se constitui em uma unidade de planejamento do estado de Sergipe, base para a promoção do desenvolvimento sustentável e equânime entre as regiões desse estado. Esse território localiza-se no nordeste do estado de Sergipe, sendo formado por quatorze municípios (Amparo de São Francisco, Brejo Grande, Canhoba, Cedro de São João, Ilha das Flores, Japoatã, Malhada dos Bois, Muribeca, Neópolis, Pacatuba, Propriá, Santana do São Francisco, São Francisco, Telha), correspondendo a cerca de 9% da superfície territorial desse estado (IBGE, 2001).

O território do Baixo São Francisco possui uma diversidade de paisagens. Na parte ocidental, entre os municípios de Canhoba e Propriá, o relevo se apresenta colinoso com altitudes modestas devido a sua geologia composta por rochas cristalinas, que associada ao clima semiárido brando com chuvas distribuídas irregularmente, resulta em solos pouco profundos e pedregosos, bastante utilizado para a agricultura temporária e pastagem (SERGIPE, 2008).

O território do Baixo São Francisco possui o segundo menor Produto Interno Bruto - PIB entre os territórios do estado de Sergipe, ficando à frente apenas do Médio Sertão. A Indústria de transformação (setor têxtil), fabricação de produtos alimentícios, minerais não metálicos, vestuário e acessórios são atividades predominantes no setor industrial do Baixo São Francisco. As indústrias se concentram nos municípios de Propriá e Neópolis. O território analisado participa com 2,2% do PIB industrial de Sergipe. Em relação ao PIB do território, o setor industrial representa 18% de tudo que foi produzido entre os setores da economia territorial (SERGIPE, 2008).

O Baixo São Francisco apresenta um pequeno rebanho bovino (95.695 cabeças de gado), sendo o terceiro menor entre os territórios. Possui, por outro lado, todo efetivo de coelhos de Sergipe. As culturas temporárias respondem por 41,1% de toda produção agrícola do

território. As culturas permanentes tiveram o menor percentual de área plantada, porém com maior valor de produção (R\$ 62.810.000,00) representando 59% de todo valor gerado na agricultura do território. Destaca-se entre as culturas permanentes do Baixo São Francisco sergipano o coco-da-baía e a banana. O coco produzido no Baixo São Francisco representa 31% da produção do estado e a banana, 47% (SERGIPE, 2008).

No centro do território, o relevo apresenta-se também colinoso, recoberto por vegetação do bioma Mata Atlântica, e no litoral, precisamente nos municípios de Brejo Grande e Pacatuba, a paisagem se apresenta em largas planícies e formações de dunas de até 20 metros de altura.

O território do Baixo São Francisco abriga duas Unidades de Conservação: a Área de Proteção Ambiental do Litoral Norte – APA Litoral Norte, unidade de conservação de uso sustentável, e a Reserva Biológica de Santa Isabel, unidade de proteção integral. A APA Litoral Norte abrange parte dos municípios de Brejo Grande, Ilha das Flores, Pacatuba e Japoatã e é administrada pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), e a Reserva Biológica de Santa Isabel, unidade federal, gerenciada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (SERGIPE, 2008).

A bacia do Rio São Francisco é sem dúvida, uma das mais importantes bacias hidrográficas do país, tanto pela sua importância hídrica como pelo desenvolvimento gerado para a região Nordeste do Brasil (NEB). Em um total de 2700 km, sua extensão vai da cabeceira no estado de Minas Gerais até sua foz entre os estados de Alagoas e Sergipe e contribui para o desenvolvimento socioeconômico de 13 milhões de pessoas, o equivalente a 8% da população nacional (ANA, 2005).

O perfil longitudinal do baixo curso do Rio São Francisco pode ser dividido em dois trechos com declividades distintas. O primeiro trecho localiza-se entre Paulo Afonso (BA) e Piranhas (AL), possuindo aproximadamente 65 km de extensão, onde sua declividade média é de $1,8 \text{ m.km}^{-1}$. O segundo trecho vai de Piranhas até a foz, possuindo cerca de 200 km com declividade média de $0,5 \text{ m.km}^{-1}$ (FONTES, 2002). A calha do rio está contida na unidade geomorfológica Planície do Rio São Francisco, que corresponde ao fundo do vale do rio. Trata-se de uma superfície de acumulação gerada por processos fluviais (CODEVASF, 1991).

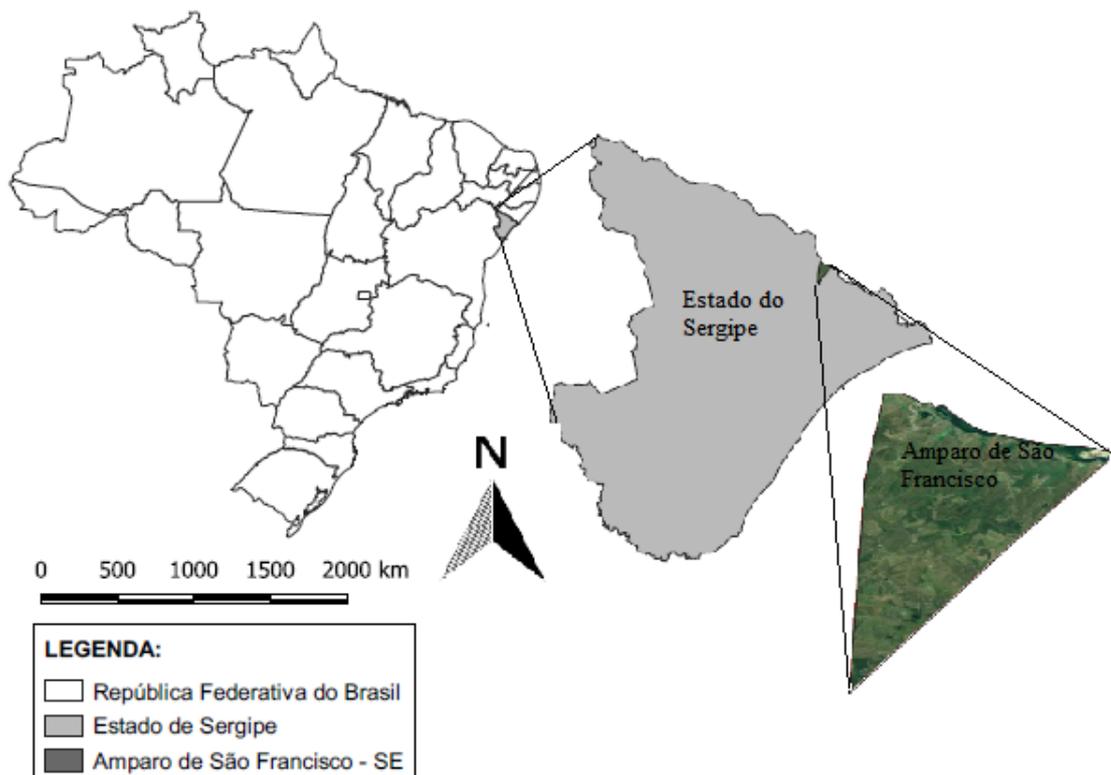
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

Amparo do São Francisco localiza-se na região nordeste do estado de Sergipe (Figura 1), na bacia do Rio São Francisco, limitando-se com os municípios de Telha ao leste e ao sul, Canhoba a oeste, e o estado de Alagoas ao norte. A sede municipal tem altitude de 51 m e coordenadas geográficas de 10° 08' 04" de latitude sul e 36° 55' 46" de longitude oeste. Encontra-se na mesorregião Nordeste Sergipano, microrregião Propriá, com distância de 128 km em relação à capital Aracaju. Possui população de 2.386 habitantes, área de 35,683 km², com densidade demográfica de 64,75 hab km⁻², IDH 0,611 (IBGE, 2016). O bioma presente é a Caatinga. Os solos são em sua maior parte Neossolos Litólicos eutróficos e Argissolos Vermelhos Amarelos equivalentes eutróficos (EMBRAPA, 2018).

A economia do município é gerada principalmente pela atividade agropecuária, sendo os principais produtos: milho, manga, mandioca, arroz e feijão; bovinos, suínos, equinos e ovinos. O clima se apresenta com precipitação média anual de 760 mm e temperatura média anual de 25,9 °C (FRANÇA, 2019; FRANÇA, 2021a).

Figura 1: Localização de Amparo de São Francisco dentro do estado do Sergipe.



Amparo de São Francisco localiza-se em uma região caracterizada por duas estações bem definidas, um período chuvoso oscilando de fevereiro a agosto e um período seco fluindo de setembro a janeiro. Conforme a classificação climática (KÖPPEN & GEIGER, 1928; KÖPPEN, 1931; ALVARES et al., 2014; MEDEIROS, 2020a), a área de estudo tem o clima do tipo “As” (quente e úmido, tropical chuvoso).

4.2 Obtenção e utilização de dados

Foram utilizados dados de precipitações mensais e anuais fornecidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO, 2020) entre 1963 e 2019.

Os dados passaram pela análise de consistência, homogeneização e preenchimentos de falhas através do programa Fórmula Usada Para Homogeneizar os Índices pluviométricos de um posto - Média Ponderada pelo o Inverso da Distância ao Quadrado (MEDEIROS, 2018).

4.3. Critérios de classificações pluviais mensais e anuais

Foram utilizados índices pluviais mensais e anuais da série de 57 anos, no período 1963-2019, e calculou-se o desvio padrão percentual pela seguinte equação, conforme CPTEC/INPE/núcleos de meteorologia (2010).

$$DPN = \frac{(\text{Precipitação observada} - \text{Precipitação climatológica})}{\text{Precipitação climatológica}} \times 100 \quad (1)$$

Os critérios de classificação adotados utilizando-se os intervalos de desvio percentual constam do Quadro 1. Analisando-se o período de 57 anos, foi possível classificar as variabilidades pluviais e sua relação com o Índice de aridez (Ia).

Quadro 1: Critérios de classificação pluvial mensal e anual conforme desvio percentual para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe.

Critérios de classificação	
Desvio Percentual	Classificação
± 0,0 a 25,0%	Normal
±25,1 a 45,0%	Seco/Chuvoso
± 45,1 a 70,0%	Muito Seco/Muito Chuvoso
± 70,1 > 100,0%	Extremamente Seco/Extremamente Chuvoso

Fonte: CPTEC/INPE/núcleos de meteorologia (2010).

4.4. Balanço hídrico

O cômputo do balanço hídrico foi realizado pelo método de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite & Mather (1953).

4.5. Índice de aridez (Ia)

A classificação climática pelo Índice de aridez (Ia) interanual da série de dados compreendidos no período 1963-2019 foi determinada pela equação 2.

$$Ia = \frac{DEF}{ETP} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

Ia - índice de aridez

DEF - deficiência hídrica (mm ano⁻¹)

ETP - evapotranspiração (mm ano⁻¹)

O Índice de Aridez (Ia) caracteriza-se por indicar a deficiência hídrica expressa em percentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). É definido em função da deficiência hídrica e evapotranspiração potencial anuais (MATALLO JÚNIOR, 2001).

A finalidade de uso do Ia está inter-relacionado à quantidade e qualidade das distribuições pluviais ano a ano. Para tanto, foi utilizado a classificação proposta por Matallo Júnior (2001) para classificar o município conforme classes do índice de aridez (Quadro 2).

Quadro 2: Classificação climática conforme valores do Índice de aridez (Ia).

Tipos de Clima	Índice de aridez (Ia)
Hiperárido (H)	$Ia \leq 0,03$
Árido (A)	$0,03 < Ia \leq 0,2$
Semiárido (AS)	$0,2 < Ia \leq 0,5$
Subúmido seco (SUS)	$0,5 < Ia \leq 0,65$
Subúmido (SU)	$0,65 < Ia \leq 1,0$
Úmido (U)	$Ia > 1,0$

Fonte: Matallo Júnior (2001).

Dessa forma, o Ia foi calculado para o município em estudo com os resultados de precipitação mensal e anual e os dados de temperatura média do ar, sendo calculada a evapotranspiração média mensal, pelo método do balanço hídrico climático em conformidade com Thornthwaite (1948) e Thornthwaite & Mather (1953). Foi utilizada, portanto, a planilha eletrônica desenvolvida por Medeiros (2016) para cálculo do balanço hídrico.

Conhecendo-se as séries históricas meteorológicas de precipitação e de temperatura média e do Ia, pode-se caracterizar a disponibilidade da água e o planejamento para o desenvolvimento socioeconômico e aos tomadores de decisões governamentais e técnicos. É possível também destacar os períodos anuais que serão críticos, com perdas ou excedentes hídricos (SOUZA & AZEVEDO, 2012).

No Quadro 3 tem-se as variações dos Ia e sua respectiva classificação quanto ao nível de susceptibilidade à desertificação desenvolvido por Matallo Júnior (2001).

Quadro 3: Classificação quanto ao nível de susceptibilidade à desertificação com o auxílio do uso do Índice de aridez.

Índice de aridez (Ia)	Nível de susceptibilidade à desertificação
$Ia > 0,65$	Superior à moderada (SM)
$0,51 < Ia < 0,65$	Moderada (M)
$0,21 < Ia < 0,50$	Alta (AL)
$0,05 < Ia < 0,20$	Muito Alta (MA)
$Ia < 0,05$	Inferior a muito alta (IMA)

Fonte: Matallo Júnior (2001)

4.6. Fator Erosividade

Em seguida, foi determinado o EI_{30} estabelecido na metodologia proposta por Wischmeier & Smith (1958), Wischmeier et al. (1971) e Wischmeier & Smith (1978).

$$EI_{30} = \frac{P_m^2}{p} \quad (3)$$

Em que:

EI_{30} - erosividade ($MJ \text{ mm} (ha \text{ h})^{-1}$)

P_m^2 - precipitação média mensal ao quadrado (mm).

p - precipitação anual (mm).

O modelo matemático de França (2023) em comparação com os três modelos matemáticos foi determinado pelos valores dos desvios padrões pluviais, anomalias erosivas pluviais, erro padrão, seguidamente de sua constante e índice de elevação desenvolvidos para melhor obtenção da erosividade pluvial e visando avaliação no qual o referido modelo a ser aplicado na área de estudo.

As decorrências da erosividade pluvial em Amparo de São Francisco – SE estão representadas em Figuras para o período 1963 - 2019, compreendendo uma série pluvial de 57 anos, com registros mensais. Para obtenção dos valores mensais de erosividade foram utilizadas 4 equações com base nos modelos matemáticos distintos de áreas de suas aplicações e propostas por Morais et al. (1991), Silva (2001), Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) e França (2023).

Para determinar o fator erosividade pluvial foram usadas as equações propostas por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), Silva (2001), Morais (1991) e França (2023), sendo esta última, comparada às demais para o uso no município de Amparo de São Francisco – Sergipe.

O potencial erosivo (R) anual da chuva foi classificado a partir do Quadro 4, segundo Carvalho (2008).

Quadro 4: Classificação do potencial erosivo anual da chuva.

Erosividade (MJ mm (ha h) ⁻¹)	Classe de erosividade
$R \leq 2452$	Fraca
$2452 < R \leq 4905$	Moderada
$4905 < R \leq 7357$	Moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito forte

Fonte: Carvalho (2008).

No Quadro 5 têm-se as equações erosivas (modelos matemáticos) e seus respectivos autores e anos que foram trabalhados neste estudo.

Quadro 5: Equações erosivas e seus respectivos autores e ano de publicação.

Modelo	Equações	Fórmula	Autor(es), Ano
1	3	$R_x = 36,849 * (M_x / 2P)^{1,0852}$	Morais et al. (1991)
2	4	$R_x = 42,307 * (P_m^2 / P_a) + 69,763$	Silva (2001)
3	5	$R_x = 68,73 + (M_x / 2P)^{0,841}$	Lombardi Neto & Moldenhauer (1992)
4	6	$R_x = 0,3908 * (P)^{1,651}$	França (2023)

Morais et al. (1991) desenvolveram a Equação 3 para o sudoeste de Mato Grosso fundamentada no modelo de Fournier (1960), em que:

R_x - valor médio da erosividade (MJ mm (ha h)⁻¹);

M_x - precipitação mensal (mm);

P - Precipitação anual (mm).

A Equação 4 foi desenvolvida por Silva (2001), tomado por base o modelo de Fournier (1960), em que:

R_x - valor médio da erosividade (MJ mm (ha h)⁻¹);

P_m - precipitação mensal (mm);

P_a - precipitação anual (mm).

A equação 5 foi desenvolvida por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) no município de Campinas, SP, com base no modelo de Fournier (1960), que nesta equação foi modificado por M_x , que representa a precipitação média mensal para uma localidade, em que:

R_x - fator R (MJ mm (ha h)⁻¹);

M_x - precipitação mensal (mm);

P - Precipitação anual (mm).

A equação 6 para cálculos erosivos no município de Amparo de São Francisco – Sergipe foi desenvolvida por França (2023) com base no modelo de Fournier (1960) na qual sua constante (0,3908) e sua elevação de 1,651 foram definidas após várias tentativas para se conseguir os valores representativos da área de estudo.

Em que:

Rx - fator R (MJ mm (ha h)⁻¹) para a região estudada;

P - Precipitação mensal ou anual (mm).

As classificações erosivas pela metodologia de Carvalho (2008), foram definidas para os modelos em estudo conforme consta nos resultados.

Foram determinados os valores de erosões médias anuais e sua média histórica, desvio padrão normalizados e anomalias erosivas dada pela unidade MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e pelas equações 7, 8, 9 e 10

Média anual erosiva (Ma) dada por:

$$Ma = \sum j_1 + j_2 + j_3 \dots j_{12} \quad (7)$$

Em que:

Ma é a média anual;

$j_1 + j_2 + j_3 \dots j_{12}$ valores mensais erosivos.

Média histórica (Mh) dada por:

$$Mh = \sum n_1 + n_2 + n_3 \dots + n_4 / N \quad (8)$$

Em que:

$n_1 + n_2 + n_3 \dots + n_4$ - valores mensais erosivos;

N - valor dados totais.

Desvio padrão normalizado erosivo (DPN) dado por:

$$\text{DPN} = ((\text{prec. Obs.} - \text{prec. Climat.}) / \text{prec Climat}) * 100 \quad (9)$$

Em que:

prec. Obs. - precipitação observada;

prec. Climat. - precipitação climatológica;

Anomalias erosivas (AE) dada por:

$$\text{AE} = \text{Média anual} - \text{Média histórica} \quad (10)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do regime pluvial

A caracterização do regime pluvial para Amparo de São Francisco é apresentada no Quadro 6. Esta caracterização vem a demonstrar suas variabilidades e tentar compreender como foram as distribuições mensais e anuais do período de 1963-2019, os critérios de classificação pluvial mensal e anual conforme desvio percentual para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe, está representado no Quadro 6.

Os meses de janeiro foram registrados 18 períodos normais; 3 períodos seco e 1 chuvoso; 4 períodos muito seco e 2 muito chuvoso, seguidamente de 7 períodos extremamente chuvoso e 4 extremamente seco. Nos meses de fevereiro observou-se 9 períodos extremamente chuvoso e 16 extremamente seco; os períodos muito secos e muito chuvosos foram de 10 e 4 períodos respectivamente, com 3 e 2 períodos seco e chuvoso e 12 períodos com chuvas entre a normalidade. Nos meses de março registrou-se 14 períodos normais; 10 períodos extremamente seco e 9 períodos extremamente chuvoso; 4 e 5 períodos secos e chuvosos e para os períodos muito seco e muito chuvoso registrou-se 5 e 7 períodos consecutivos. Com 14 períodos normais para os meses de abril; 9 e 6 períodos extremamente seco e chuvoso; para os períodos muito chuvoso e muito seco ocorreram 10 e 5 períodos; com 4 e 9 períodos classificados de chuvoso e seco, respectivamente.

Os meses de maio dos períodos em estudo, registrou-se 5 e 8 períodos secos e chuvosos; 7 e 2 períodos ocorreram para a classificação do período muito seco e muito chuvoso, 23 períodos com chuvas entre a normalidade e 6 períodos com chuvas extremas e 5 com chuvas

abaixo da média. Os meses de junho e julho registrou-se 33 e 43 períodos de ocorrências de chuvas entre a normalidade, com período seco registrou-se 3 e 5 períodos respectivamente, já para o período ocorrem 5 e 1 eventos. Os meses de junho e julho para a classificação muito seco foram de 5 períodos consecutivos respectivamente. Para o período muito chuvoso registrou 4 e 1 período consecutivamente. Não se registrou períodos extremamente seco e 2 períodos extremamente chuvoso consecutivamente. Os meses de agosto dos períodos em estudo ocorreu 29 períodos com classificações normais, 1 e 4 classificações de extremamente seco e extremamente chuvoso, 8 e 3 períodos com classificações muito seco e muito chuvoso, para as classificações seca e chuvosa ocorreram consecutivamente 5 períodos.

Setembro registrou 17 períodos de chuvas entre a normalidade, 9 e 6 períodos secos e chuvosos, 11 períodos classificados como muito seco e sem ocorrências da classificação muito chuvoso, registrou-se 9 períodos de classificações extremamente chuvoso e 6 extremamente seco. No mês de outubro registrou-se 12 períodos classificados como normais, 7 períodos secos e 2 chuvosos. Para as classificações muito chuvoso e muito seco foi observado 2 e 8 períodos. Nas classificações extremamente chuvoso e extremamente seca ocorreram 11 e 14 períodos. Ocorreu 10 períodos de classificações normais, 6 e 4 classificações seca e chuvosa e nas classificações muito seca e muito chuvosa registrou-se 6 e 4 períodos. Já nas classificações extremamente chuvosa e seca ocorreram 6 e 17 períodos. Os meses de dezembro dos período em estudo, segundo as suas classificações, foram 8 períodos normais, 3 e 5 períodos secos e chuvosos, 8 e períodos muitos secos e período chuvoso, as classificações extremamente chuvosa e extremamente seca foram de 12 e 18 períodos respectivamente.

Estas variabilidades nas irregularidades pluviais mensais e anuais decorrem dos sistemas de meso, micro e larga escala auxiliados pelos efeitos locais e apresentam similaridades com os estudos de Marengo et al. (2015) e Marengo et al. (2017).

Quadro 6: Classificação do regime pluvial mensal e anual para Amparo de São Francisco – Sergipe entre 1963-2019.

Anos/meses	Classificação do regime pluvial mensal												anual
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1963	N	MC	C	EC	C	N	N	C	MS	ES	MS	EC	N
1964	ES	ES	EC	C	N	EC	MC						
1965	EC	ES	ES	N	S	MC	N	MC	EC	EC	EC	EC	C
1966	EC	EC	EC	EC	EC	N	N	N	EC	ES	N	N	MC
1967	ES	MS	ES	N	N	N	N	C	N	ES	ES	EC	N
1968	N	ES	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	MS	N
1969	EC	N	MC	N	S	N	EC	MS	MS	MS	MS	MS	N
1970	MS	S	EC	MS	ES	MS	S	S	MS	MS	EC	ES	S

1971	N	MC	MC	EC	C	N	N	N	C	N	MC	EC	C
1972	MC	EC	EC	EC	EC	C	S	MC	EC	MC	EC	EC	EC
1973	C	EC	MC	EC	MC	C	N	C	EC	MC	EC	EC	MC
1974	MC	EC	C	MC	N	N	N	N	C	C	MC	EC	C
1975	N	EC	EC	MC	N	N	N	N	N	MS	N	N	N
1976	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	C	N
1977	N	MC	MS	MC	EC	N	N	MC	N	EC	S	C	C
1978	ES	C	MC	MS	C	N	N	C	EC	MS	ES	N	N
1979	MS	ES	N	N	N	S	N	MS	N	ES	MS	ES	S
1980	N	EC	N	ES	ES	MS	MS	MS	N	EC	ES	ES	S
1981	N	EC	MC	MC	N	N	N	N	C	N	C	EC	C
1982	N	MC	MC	EC	N	N	N	N	C	N	MC	EC	C
1983	N	EC	C	C	C	N	N	N	C	N	N	C	N
1984	S	MS	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N
1985	MS	MS	S	S	N	N	N	N	MS	S	N	ES	S
1986	ES	ES	N	ES	MC	N	N	N	MS	N	ES	ES	N
1987	S	MS	MS	N	ES	S	N	N	ES	ES	EC	ES	S
1988	MS	ES	N	S	MS	MC	MS	MS	N	ES	MC	C	S
1989	N	ES	EC	C	N	N	N	N	N	N	N	C	N
1990	N	C	C	C	N	N	N	N	N	N	C	MC	N
1991	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	N
1992	N	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	MS	N
1993	ES	N	ES	ES	MS	S	MS	MS	ES	EC	MS	MS	S
1994	ES	ES	N	S	S	EC	N	S	N	ES	MS	MS	N
1995	ES	ES	ES	ES	N	C	N	N	MS	ES	EC	ES	S
1996	MS	ES	N	C	N	N	N	EC	ES	S	EC	N	N
1997	MC	MS	N	N	N	N	N	N	ES	ES	ES	N	N
1998	EC	ES	ES	MS	S	N	N	N	S	MS	ES	ES	S
1999	ES	ES	ES	ES	N	N	N	N	EC	EC	EC	S	N
2000	N	EC	N	N	MS	N	N	N	EC	MS	N	EC	N
2001	ES	ES	N	MS	ES	MC	MC	C	S	EC	ES	C	N
2002	EC	N	MS	ES	N	N	N	N	MS	ES	S	MS	N
2003	ES	MS	C	MS	S	S	S	MS	S	MC	EC	ES	S
2004	EC	N	MC	S	S	N	S	C	S	ES	ES	ES	N
2005	ES	MS	Es	MS	MC	N	S	N	MS	ES	ES	S	N
2006	ES	ES	ES	S	N	C	N	S	EC	EC	S	ES	N
2007	ES	N	EC	N	N	MS	N	EC	S	S	ES	ES	N
2008	ES	N	EC	MS	N	S	N	S	ES	ES	ES	ES	N
2009	MS	N	ES	MS	EC	N	N	EC	S	ES	ES	N	N
2010	N	S	ES	N	MS	C	N	N	C	MS	ES	ES	N
2011	N	MS	ES	MC	C	MS	N	N	N	N	EC	ES	N
2012	ES	N	S	ES	MS	S	N	N	N	N	ES	ES	S
2013	N	ES	MS	S	S	S	C	N	MS	EC	S	N	N
2014	ES	MS	MS	S	N	S	N	N	N	EC	S	N	N
2015	ES	N	S	ES	S	N	N	MS	MS	S	ES	ES	S
2016	EC	MS	N	MS	MS	MS	MS	MS	S	MS	ES	MS	MS

2017	ES	ES	ES	N	EC	MC	N	N	EC	S	ES	ES	N
2018	MS	N	MS	ES	MS	S	MS	ES	ES	ES	MS	MS	MS
2019	S	MS	EC	MS	ES	N	N	S	S	ES	ES	ES	MS

Legenda: C - chuvoso; EC - extremamente chuvoso; MC - muito chuvoso; N - normal; MS - muito seco; S - seco; ES - extremamente seco; regime pluvial (mm).

5.2. Comparações de modelos matemáticos erosivos

Processos erosivos são acontecimentos nos quais materiais não consolidados da crosta terrestre são desagregados e transportados por agentes da natureza, como água, vento e gelo, os quais podem ser acelerados ou mesmo provocados por ações antrópicas. O fluxo d'água nos solos pode percolar e gerar movimento de massa, em que tal adversidade é consequência de diversos fatores relacionados às características do relevo local, trazendo como resultado a possível deterioração de uma região ribeirinha e seu entorno.

A região de Amparo de São Francisco caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação e dos processos de escoamento e erosão dos solos, como também pelo alto potencial evapotranspirado e evaporado d'água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano (CHESF, 2018).

A erosão do solo é a decorrência de afazeres realizados por um administrador erosivo, o qual tem como fonte potencial ativa o processo de erosão, dotado de energia, que atua sobre o solo. A precipitação é a força motriz do processo erosivo hídrico, na qual o desprendimento e o transporte pelo escoamento superficial dos sedimentos dependem da intensidade, frequência e duração dos eventos em determinada área (AMARAL et al., 2014).

No Quadro 7 estão apresentados valores de erosividade obtidos pelo modelo matemático de Moraes et al. (1991) e suas respectivas classificações erosivas segundo a metodologia de Carvalho (2008).

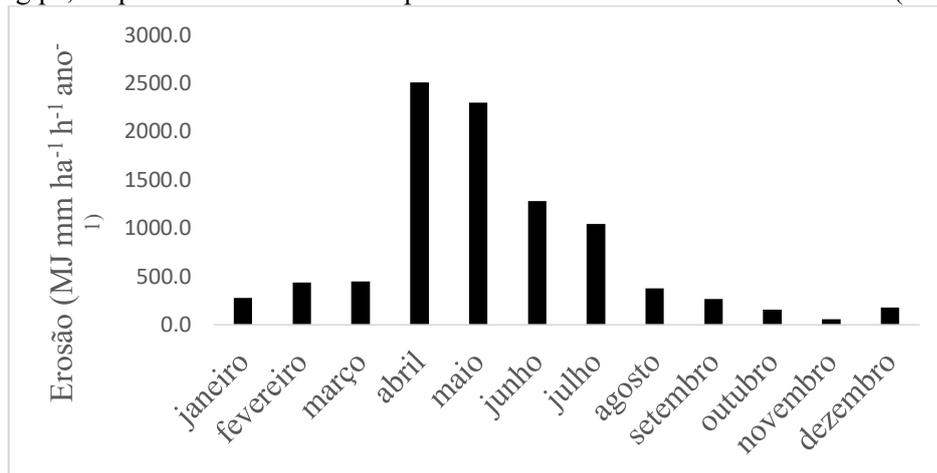
Com o modelo matemático de Moraes et al. (1991) registraram-se os seguintes tipos de classificações: fraca nos meses de janeiro a março e de maio a dezembro, o mês de abril foi classificado com índice de erosividade pluvial moderada. Tais classificações corroboram os Estudos Marengo et al. (2015) e de França et al. (2018).

Quadro 7: Erosividade pluvial obtidos com o modelo de Morais et al. (1991) e sua classificação erosiva pela metodologia de Carvalho (2008).

Meses	Valor médio da erosividade (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹); Morais et al. (1991)	Classificação mensal
Janeiro	278,5	Fraca
Fevereiro	436,3	Fraca
Março	447,0	Fraca
Abril	2510,4	Moderada
Maiο	2299,7	Fraca
Junho	1277,1	Fraca
Julho	1039,9	Fraca
Agosto	373,3	Fraca
Setembro	262,8	Fraca
Outubro	152,9	Fraca
Novembro	57,7	Fraca
Dezembro	176,0	Fraca

A Figura 2 construída em função de dados obtidos pelo modelo matemático de Morais et al. (1991), evidencia que as flutuabilidades erosivas foram irregulares com oscilações fluindo entre 0,0 MJ. mm.ha⁻¹.h⁻¹ano⁻¹ a 20000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ano⁻¹. Os meses de outubro, novembro e dezembro registaram a ocorrências dos menores índices erosivos, e nos meses de abril a julho ocorreram os maiores índices erosivos ocasionados pelas distribuições pluviais em atividade na área de estudo com potencias erosivos semelhante ao da Figura 3 (modelo matemático de Silva 2001). Resultados similares foram apresentados nos estudos de França et al. (2018), Santos Neto (2019); França et al. (2020b); Silva et al. (2020) e Silva et al. (2001) corroborando o resultado discutido.

Figura 2: Índice de erosividade pluvial mensal para o município de Amparo de São Francisco - Sergipe, no período de 1963 a 2019 pelo modelo matemático de Morais et al. (1991).



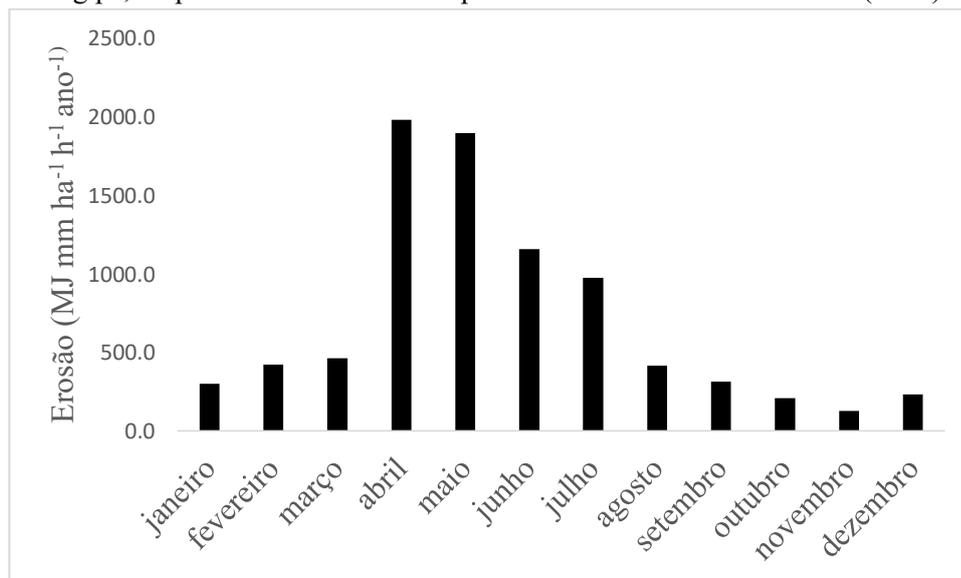
O Quadro 8 evidencia os valores de erosividade obtidos com o modelo matemático erosivo desenvolvido pelo autor Silva (2001) apresentando classificação Fraca entre os meses de janeiro a dezembro. Tal fluatibilidade erosiva está interligada à distribuição pluvial e às condições do modelo. Os estudos de Cavalcanti et al. (2017), Costa et al. (2020) corroboram as discussões apresentadas neste trabalho.

Quadro 8: Meses do ano, valores de erosividade pluvial ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) obtidos pelo modelo matemático de Silva (2001) e suas respectivas classificações erosivas pela metodologia de Carvalho (2008).

Meses	Silva (2001)	Classificações
Janeiro	303,2	Fraca
Fevereiro	424,1	Fraca
Março	464,7	Fraca
Abril	1980,5	Fraca
Maio	1897,1	Fraca
Junho	1160,2	Fraca
Julho	976,8	Fraca
Agosto	417,3	Fraca
Setembro	313,6	Fraca
Outubro	210,0	Fraca
Novembro	127,9	Fraca
Dezembro	232,5	Fraca

O índice de erosividade mensal para o município de Amparo de São Francisco - Sergipe, no período de 1963 a 2019, pelo modelo matemático de Silva (2001) (Figura 3), evidencia valores fluindo entre 127,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (novembro) a 1980,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (abril). Nos meses de abril a julho registraram-se as maiores erosividades e de setembro a janeiro as menores oscilações nos índices erosivos. Estes valores foram considerados de fraco potencial erosivo conforme a classificação proposta por Carvalho (2008). O estudo de Carvalho et al. (2019) corroboram as discussões apresentadas neste trabalho.

Figura 3: Índice de erosividade pluvial mensal para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, no período de 1963 a 2019 pelo modelo matemático de Silva (2001).



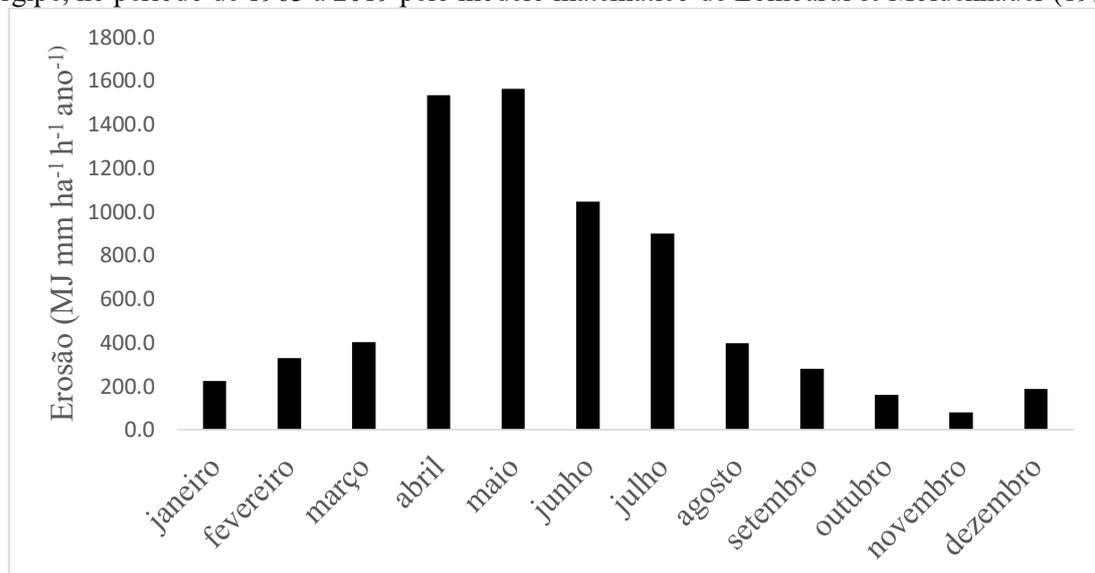
Para o modelo matemático de Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) registrou-se a classificação fraca em todos os meses estudados. Esta variabilidade está diretamente ligada às oscilações pluviais e seus fatores provocadores e/ou ocasionadores de chuvas atuantes na área de estudo, seguidamente das características do modelo utilizado. Os meses com menores índices erosivos foram novembro com 78,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e o mês de maio com 1561,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Quadro 9).

Quadro 9: Meses do ano, valores de erosividades pluviais ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) obtidos com o modelo matemático de Lombardi & Moldenhauer (1992) e suas respectivas classificações erosivas pela metodologia de Carvalho (2008).

Meses	Lombardi & Moldenhauer (1992)	Classificações
Janeiro	223,3	Fraca
Fevereiro	327,1	Fraca
Março	401,9	Fraca
Abril	1533,7	Fraca
Maio	1561,8	Fraca
Junho	1044,7	Fraca
Julho	898,4	Fraca
Agosto	397,1	Fraca
Setembro	279,8	Fraca
Outubro	160,6	Fraca
Novembro	78,7	Fraca
Dezembro	186,3	Fraca

Na Figura 4 observam-se os índices de erosividade mensal para o município de Amparo de São Francisco - Sergipe, no período de 1963 a 2019, de acordo com valores obtidos com o modelo erosivo de Lombardi & Moldenhauer (1992). O modelo evidencia valores erosivos diferenciados entre os meses. Os meses com maiores índices erosivos centram de abril a agosto. Nos meses de setembro a março observam-se os menores índices erosivos.

Figura 4: Índice de erosividade pluvial mensal para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, no período de 1963 a 2019 pelo modelo matemático de Lombardi & Moldenhauer (1992).



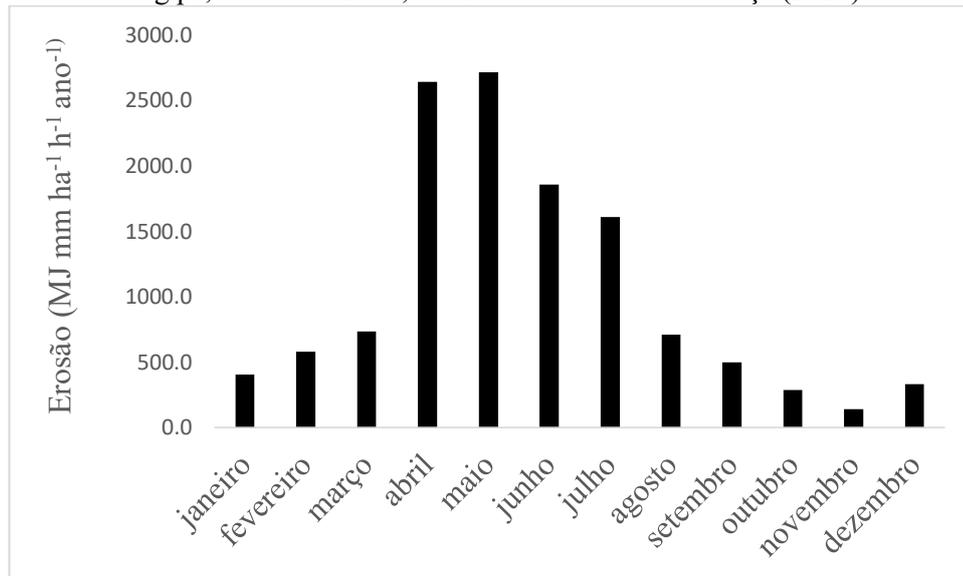
Para o modelo matemático erosivo de França (2023) no Quadro 10, foram registradas as classificações Fracas, entre janeiro e março e de maio a dezembro. Nos meses de abril e maio, as classificações foram moderadas, visto que os índices pluviais foram mais intensos que a normalidade, conforme afirma Marengo et al. (2015).

Quadro 10: Meses do ano, valores de erosividade pluvial ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) obtidos pelo modelo matemático de França (2023) e suas respectivas classificações erosivas pela metodologia de Carvalho (2008).

Meses	França (2023)	Classificações
Janeiro	406,1	Fraca
Fevereiro	578,8	Fraca
Março	734,0	Fraca
Abril	2640,0	Moderada
Maio	2712,6	Moderada
Junho	1855,9	Fraca
Julho	1608,3	Fraca
Agosto	709,6	Fraca
Setembro	499,3	Fraca
Outubro	285,6	Fraca
Novembro	142,5	Fraca
Dezembro	333,3	Fraca

Na Figura 5 registram-se as oscilações dos índices mensais erosivos para o município de Amparo de São Francisco - SE, no período de 1963 a 2019, utilizando-se o modelo matemático erosivo de França (2023). Os meses de abril a julho são os de maiores erosividades, sendo novembro o mês com menor incidência erosiva. Estudos semelhantes foram realizados por Jardim et al. (2017), Beniaich et al. (2020), França (2023) e Carvalho et al. (2019), corroborando com os resultados apresentados neste trabalho.

Figura 5: Índice de erosividade pluviométrica mensal para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, de 1963 a 2019, utilizando o modelo de França (2023).



No Quadro 11 tem-se as variabilidades das classificações por modelos e seus comparativos, para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe, entre 1963-2019. Observam-se que nos modelos matemáticos erosivos de Silva (2001) e o modelo de Lombardi & Moldenhauer (1992), as erosividades foram classificadas de acordo Fraca para todos os meses dos anos. Com o modelo Morais et al. (1991) foram registrados onze meses de Fraca erosividade e o mês de abril com erosividade moderada. No modelo de França (2023), a erosividade nos meses de abril e maio foram classificadas como moderada. Nos demais meses foi a erosividade foi fraca. Sabe-se que em estudos realizados na região semiárida do Nordeste, a erosividade em grande maioria é classificada de Moderada a Moderada-Forte, como foi evidenciado por Lopes e Brito (1993), para as regiões de Petrolina – PE, Juazeiro - BA (erosividade moderada). Em Patos, PB, a classificação de erosividade Moderada-Forte foi observada por Carvalho (2008). Portanto, o modelo de França, no seu período chuvoso, vem corroborar com os resultados discutidos.

Quadro 12: Variabilidade das classificações por modelos e seus comparativos para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe, entre 1963-2019.

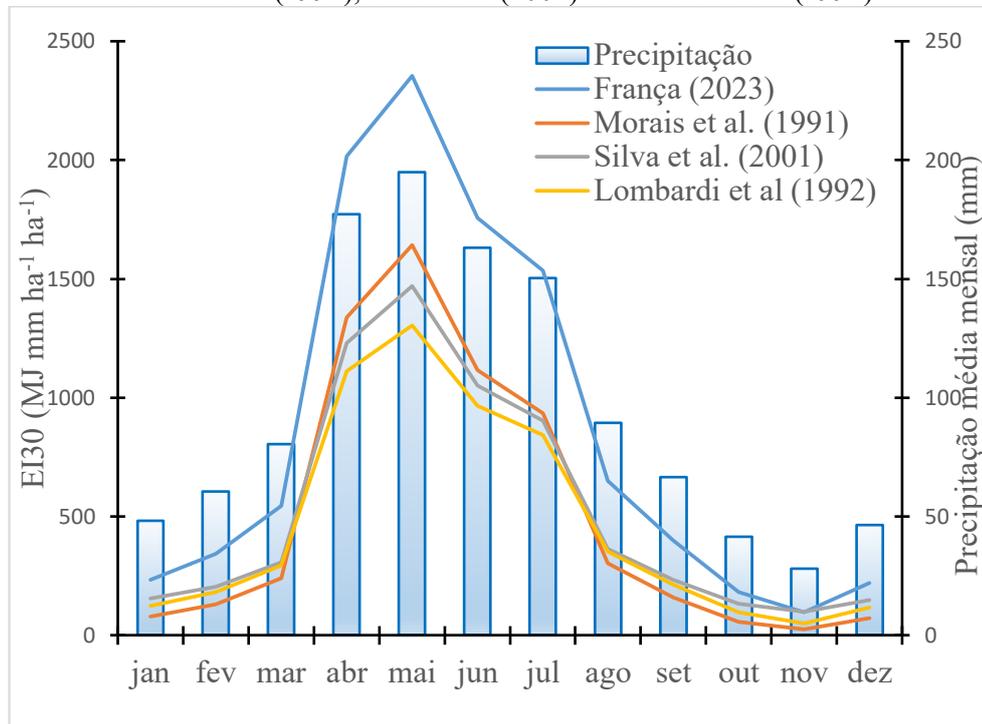
Meses	Classificações			
	Morais et al. (1991)	Silva (2001)	Lombardi & Moldenhauer (1992)	França (2023)
Janeiro	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Fevereiro	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Março	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Abril	Moderada	Fraca	Fraca	Moderada
Maiο	Fraca	Fraca	Fraca	Moderada
Junho	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Julho	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Agosto	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Setembro	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Outubro	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Novembro	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Dezembro	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca

As distribuições médias mensais dos índices de erosividade e da precipitação para o município de Amparo de São Francisco - Sergipe, do período de 1963 a 2019, utilizando os modelos: França (2023), Morais et al. (1991), Silva et al. (2001) e Lombardi et al. (1992) estão representadas na Figura 6.

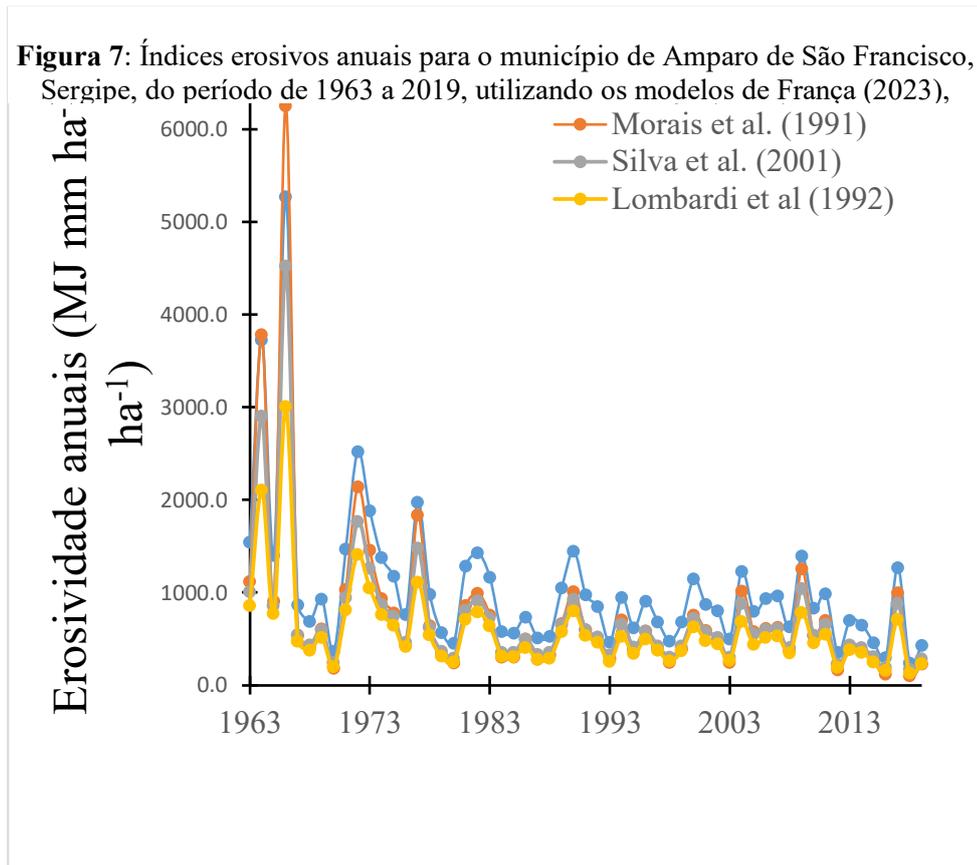
O modelo Lombardi et al. (1992) e o modelo Silva et al. (2001) praticamente mostram os mesmos valores erosivos para os meses de janeiro ao final de março. Entre os meses de abril a julho o modelo Silva supera os valores do modelo Lombardi. Na segunda quinzena de julho até a primeira quinzena de setembro, os dois modelos em debate registram valores erosivos iguais. Nos meses de outubro a dezembro o modelo de Silva supera os valores erosivos do modelo de Lombardi. O modelo Morais et al. (1991) apresenta valores erosivos inferiores aos modelos de Silva e Lombardi para os meses de janeiro a março. Entre março e abril o modelo de Morais registra índices erosivos superiores aos outros dois. Entre a segunda quinzena de abril à primeira quinzena de julho, o poder erosivo do modelo de Morais supera os dois modelos comparativos. De agosto a dezembro o Modelo Morais registra erosividade menores que os modelos de Silva e Lombardi com uma variabilidade erosiva se distanciando de todos os

modelos, exceto no mês de novembro que se equipara ao modelo de Silva. O modelo de França (2023) apresenta valores de erosividade maiores do que todos os modelos usados neste estudo.

Figura 6: Médias mensais dos índices de erosividade e da precipitação para o município de Amparo de São Francisco, Sergipe, do período de 1963 a 2019, utilizando os modelos de França (2023), Morais et al. (1991), Silva et al. (2001) e Lombardi et al. (1992).

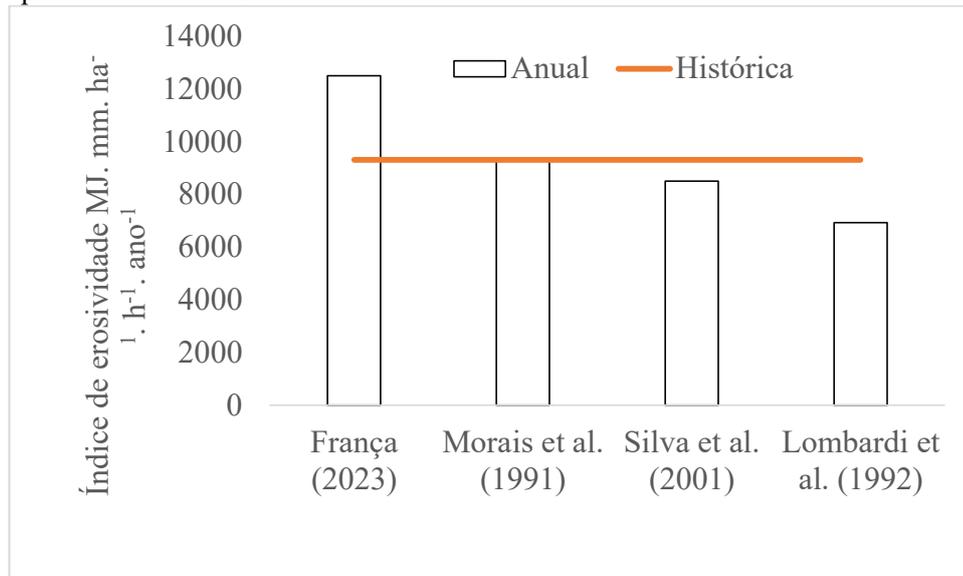


Na Figura 7 tem-se as oscilações dos índices erosivos interanuais para o município de Amparo de São Francisco - Sergipe, do período de 1963 a 2019, utilizando-se os modelos de França (2023), Morais et al. (1991), Silva et al. (2001) e Lombardi et al. (1992). Os modelos de Silva et al. (2001) e Lombardi et al. (1992) tem representatividades erosivas iguais para quase todo o período de estudo, exceto para os anos 1964, 1965, 1973, 1978, 1990, 1994, 2004, 2010, 2011. Destaca-se que estes modelos estimaram seus respectivos valores, menores do que os que ocorreram naturalmente. O modelo Morais et al. (1991), comparado com os dois modelos já descritos, apresenta valores mais coerentes e para alguns anos superestima os valores erosivos como nos anos 1964, 1973, 2004, 2010 e 2017. O modelo de França (2023) tem uma distribuição erosiva bem definida e com valores mais confiáveis e relevantes do que os outros três modelos apresentados e analisados. Observa-se que no modelo de França (2023) ocorrem algumas anomalias nas oscilações, provavelmente devido à calibração e aos efeitos do solo, superestimando alguns valores erosivos como nos anos 1963, 1973, 1978, 1983, 1990, 2001, 2004 e 2010. Os trabalhos dos autores Amaral et al. (2014), Avanzi et al. (2019) e Cavalcanti et al. (2017) corroboram com as discussões apresentadas.



Na Figura 8 tem-se as oscilações dos índices de erosividade pluvial anual para o município de Amparo de São Francisco – SE, no período de 1963 a 2019 e médias históricas dos referidos modelos matemáticos. A média histórica dos quatro modelos matemáticos estudados foi de 7098,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Destacam-se os modelos de Silva et al. (2001) e Lombardi et al. (1992) com valores erosivos inferiores à média histórica. O modelo de Morais et al. (1991) registraram valores erosivos próximos à média histórica e o modelo de França (2023) registrou poder erosivo superior à média. Estas variabilidades de modelos são definidas por diversos autores como Silva et al. (2020) e Silva et al. (2001) visando fornecer informações adequadas aos usuários e aos poderes governamentais, para que possam realizar planejamentos visando uma melhor utilização do solo.

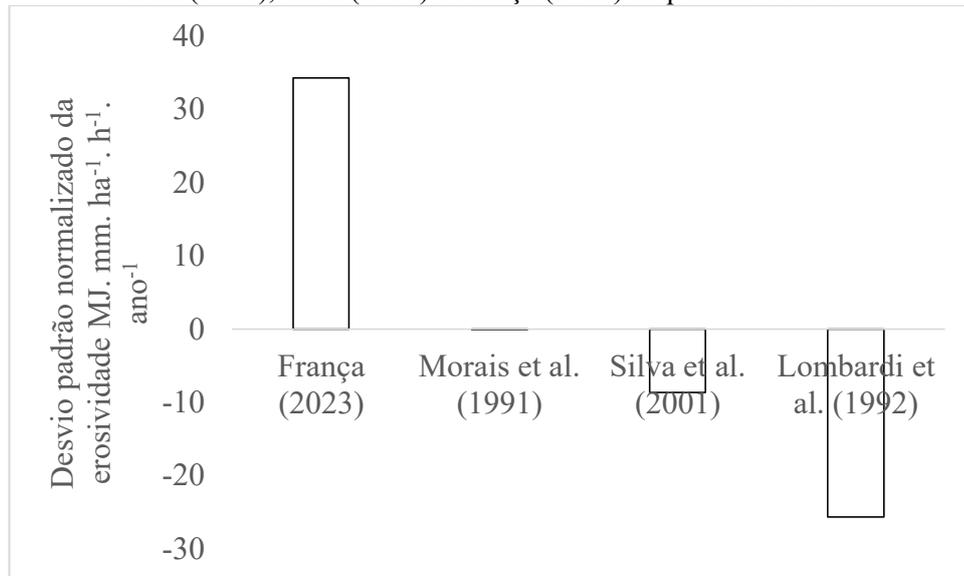
Figura 8: Índice de erosividade pluvial anual para o município de Amparo de São Francisco – SE, no período de 1963 a 2019 e médias históricas dos referidos modelos matemáticos.



As variabilidades do desvio padrão normalizado da erosividade pluvial anual para o município de Amparo de São Francisco, SE, utilizando-se os modelos matemáticos Lombardi et al. (1992), Morais et al. (1991), Silva (2001) e França (2023) no período de 1963 a 2019, estão representadas na Figura 9.

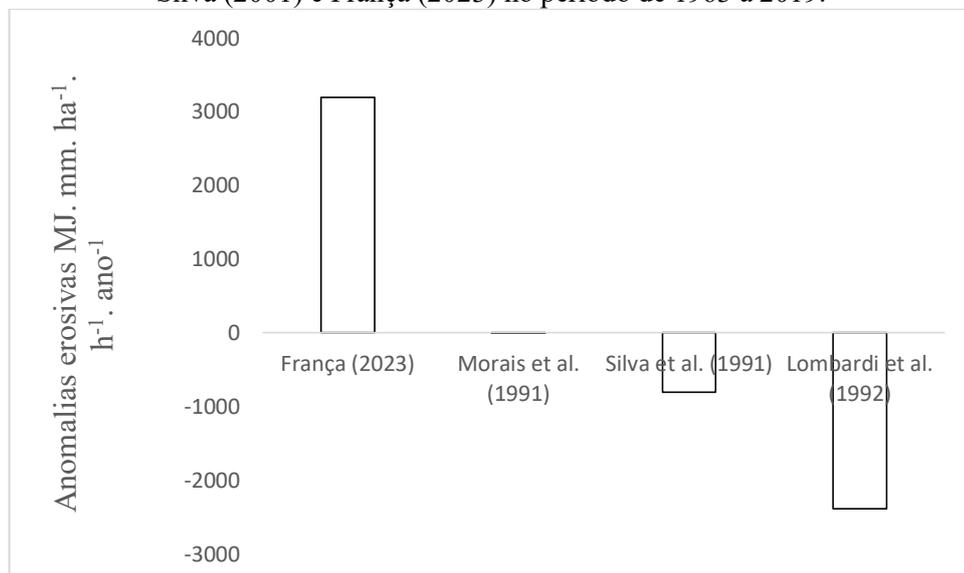
Para Galvani (2011), o desvio padrão é de suma importância para gerar informações sobre o “grau de dispersão dos valores pluviométricos em relação ao valor médio”. As flutuações dos desvios padrões normalizados para os modelos em estudo estão representados na Figura 9. Destaca-se o modelo de Morais et al. (1991) com desvio padrão normalizado próximo à média histórica e com boa representatividade dos dados, e os modelos Silva (2001) e o de Lombardi et al. (1992) com valores negativos e distanciando da média, quando comparados ao modelo de França (2023). Este último apresentou maior dispersão em relação à média, demonstrando que o referido modelo superestimou seus valores erosivos com relação aos demais modelos. Estes resultados não apresentaram semelhanças com o estudo realizado por Medeiros (2019) em que calculou a erosividade agrupando as áreas similares para o estado do Piauí.

Figura 9: Desvio padrão normalizado da erosividade pluvial anual para o município de Amparo de São Francisco – SE, utilizando-se os modelos matemáticos Lombardi & Moldenhauer (1992), Morais et al. (1991), Silva (2001) e França (2023) no período de 1963



Os índices de anomalias erosivas dados pela unidade MJ. mm. ha⁻¹. h⁻¹. ano⁻¹ estão representados na figura 10. O modelo de Morais et al. (1991) registrou anomalias próximas a média da série estudada. Os modelos Lombardi et al. (1992) e Silva et al. (2001) registraram anomalias erosivas negativas e distâncias das médias, demonstrando que os referidos modelos subestimaram os valores da erosibilidade. Estas oscilações foram contrárias aos resultados dos estudos de Medeiros (2019) e França (2023).

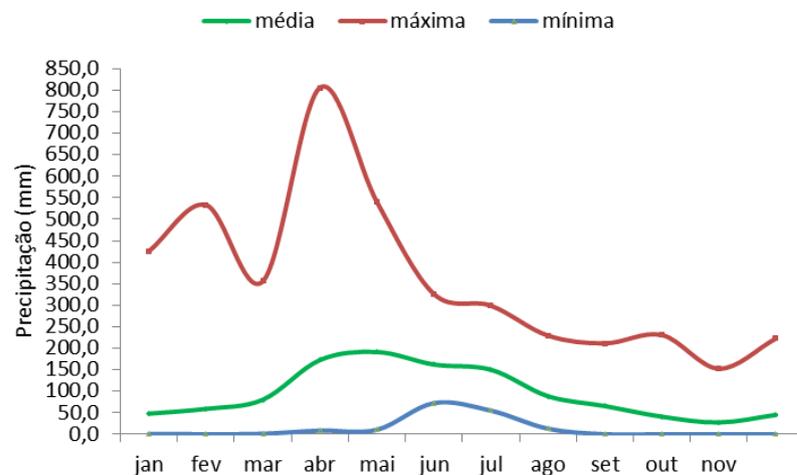
Figura 10: Anomalias erosivas pluviiais anuais para o município de Amparo de São Francisco – SE, utilizando-se dos modelos matemáticos de Lombardi & Moldenhauer (1992), Morais et al. (1991), Silva (2001) e França (2023) no período de 1963 a 2019.



5.3. Precipitação

A precipitação é um dos elementos essenciais nas atividades humanas, agrícolas, armazenamento e represamento d'água, lazer e irrigação, sendo seu monitoramento de grande utilização e aplicação. O município de Amparo de São Francisco tem uma média anual de 1130,4 mm, oscilando de 27,3 mm em novembro a 191,3 mm em maio. O quadrimestre chuvoso centra nos meses de abril a julho e o quadrimestre seco entre os meses de outubro a janeiro, com estatística evidenciando desvio padrão com valor de 468,6 mm e coeficiente de variância com valor de 0,41. As precipitações máximas e mínimas anuais registradas foram de 3032,8 mm e 498,8 mm, respectivamente (Figura 9).

Figura 11: Variabilidades das precipitações (mm) máximas, médias e mínimas para Amparo de São Francisco entre 1963-2019.

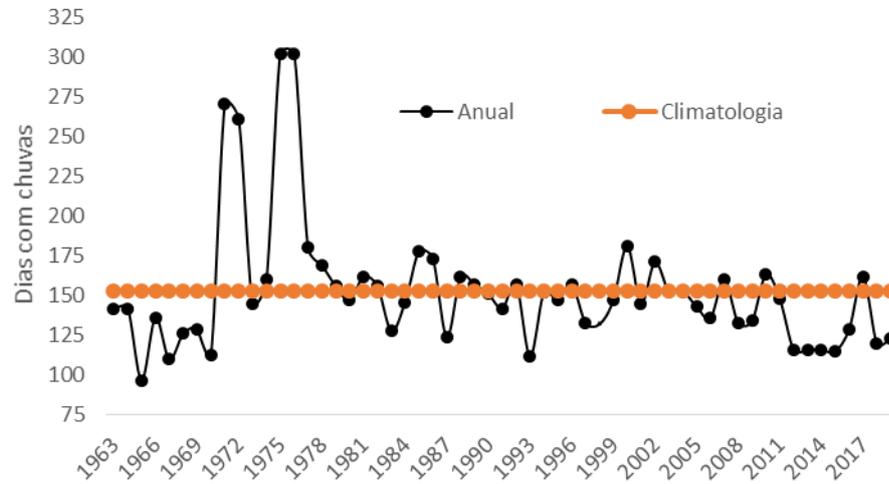


5.4. Número de dias com ocorrências de chuvas

Avaliou-se como dia de ocorrências de chuva, todo e qualquer dia em que seu índice pluviométrico foi superior a 0,0 mm. Os dados de precipitação e de número de dias com chuva (NDCC) foram analisados em termos, totais anuais. A existência de tendências temporais para as precipitações anuais (Figura 12), foram verificadas aplicando-se o teste F da análise de regressão linear ao nível de 5% de probabilidade, sendo que quando o valor F for igual ou menor do que 0,05 verificam-se a significância na sua tendência temporal. Estas contribuições são de fundamental importância aos pesquisadores, poderes governamentais e tomadores de decisões

(Federal; Estadual e Municipal) sobre uso de águas das chuvas, cujas informações são significativas e importantes na realização de melhores planejamentos à redução erosiva do solo.

Figura 12: Dados de precipitação e de número de dias com chuva (NDC) em termos, totais anuais.



5.5. Cálculo dos Índices de Aridez (Ia)

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) adotou a classificação climática, associada ao valor do Ia - Índice de Aridez, sendo calculado pela razão entre a evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, o que resultou no enquadramento de três faixas: subúmido úmido, subúmido seco e semiárido (UNEP, 1992).

O índice de aridez (Ia) é o principal indicador e classificador de terras secas, por ser um indicador que permite distinguir as terras secas em áridas, semiáridas e subúmidas secas, e ainda mensura o grau de susceptibilidade à desertificação. Destaca-se, ainda, que valores de Ia entre 0,21 e 0,50 delimitam áreas semiáridas e subúmidas secas.

O Ia foi calculado para o município em estudo com os dados de precipitação mensal e anual e os dados de temperatura média do ar, sendo calculada a evapotranspiração média mensal, pelo método do balanço hídrico climático em conformidade com Thornthwaite (1948) e Thornthwaite & Mather (1953). Utilizou-se, portanto da planilha eletrônica desenvolvida por Medeiros (2016) para cálculo do balanço hídrico. A classificação climática de uma determinada localidade tem que estar de acordo com os valores do Ia, demonstrada na Quadro 12.

Para Dos Santos et al. (2017) os ciclos hidrológicos determinam as variabilidades climáticas, produzindo deficiências e/ou excessos pluviais em todo o globo, os quais geram secas ou inundações. Os eventos climáticos de extremas intensidades demonstram um papel significativo no dia a dia das sociedades, seja por sua intensidade e frequência de ocorrência,

seja pela vulnerabilidade socioambiental. Com esta visão resolveu-se realizar a classificação climática visando uma melhor clareza nas oscilações pluviiais da área de estudo.

O grau da desertificação está associado à susceptibilidade de acordo com o índice Ia, acrescentado do rigor do período de estiagens, pressão demográfica, tipo de uso dos recursos naturais e ainda o nível de desenvolvimento do país e a qualidade de medidas preventivas (FAO, 1967). É possível também destacar os períodos anuais que serão críticos, com perdas ou excedentes hídricos, em conformidade com Souza & Azevedo (2012).

A estabilidade ou vulnerabilidade, a resistência ao processo natural de erosão das unidades de paisagem natural, são definidas pela análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo, vegetação e clima.

Com índices pluviiais irregulares e mal distribuídos durante os anos, no Quadro 12 tem-se o total anual e a classificação climática do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco.

Com o aquecimento da atmosfera, espera-se que ocorram mudanças nos padrões da precipitação (aumento ou diminuição na frequência, intensidade e/ou quantidade de precipitação), o que poderá afetar a disponibilidade e a distribuição temporal das vazões nos rios. Alterações nas precipitações podem comprometer a disponibilidade hídrica, aumentando a ocorrência de eventos de cheias e estiagens (ANA, 2016; CHOKKAVARAPU & MANDLA, 2019; DEY & MISHRA, 2017; SILVA et al., 2019).

Quadro 13: Anos, precipitação anual (mm), classificação climática da precipitação anual para o município de Amparo de São Francisco – SE, entre 1963 – 2019.

Ano	Precipitação Anual	CC	Ano	Precipitação Anual	CC	Ano	Precipitação Anual	CC
1963	1574,3	C	1982	1559,8	C	2001	1020,2	N
1964	2558,4	EC	1983	1377,8	N	2002	1005,2	N
1965	1565,3	C	1984	895,6	N	2003	814,6	S
1966	3032,8	EC	1985	840,4	S	2004	1187,4	N
1967	1050,7	N	1986	874,0	N	2005	881,2	N
1968	934,3	N	1987	751,5	S	2006	1073,6	N
1969	1116,6	N	1988	752,5	S	2007	1120,2	N
1970	627,1	MS	1989	1261,9	N	2008	847,4	S
1971	1578,9	C	1990	1571,7	C	2009	1220,9	N
1972	2182,7	EC	1991	1236,3	N	2010	991,9	N
1973	1828,3	MC	1992	1129,0	N	2011	1099,4	N
1974	1539,9	C	1993	635,4	S	2012	633,0	S
1975	1352,3	N	1994	1008,4	N	2013	961,5	N
1976	1061,5	N	1995	767,6	S	2014	930,7	N
1977	1663,5	MC	1996	1069,0	N	2015	663,2	S
1978	1159,4	N	1997	923,6	N	2016	595,4	MS
1979	797,3	S	1998	731,8	S	2017	1192,8	N
1980	728,9	S	1999	921,5	N	2018	498,8	MS
1981	1464,0	C	2000	1341,1	N	2019	675,2	S

Legenda: C - chuvoso; EC - extremamente chuvoso; N - normal; MS - muito Seco; S - Seco;
CC - classificação climática.

Os gráficos e quadros apresentados foram relacionados com a problemática da erosão e do escoamento superficial como fator de degradação da chuva, sendo possível entender como as diversas variáveis se relacionam, e desta forma como podem ser úteis para um plano de implantação de estruturas para contenção da erosão.

O Quadro 13 foi gerado utilizando-se das informações contidas nos Quadros 1 e 2 acima descritas. Para tanto se utilizou o cálculo do BHC para definir os índices de aridez e realizar suas classificações e seus níveis de susceptibilidades (Quadro 13).

No Quadro 13 observa-se que na Classificação climática tem-se clima árido com seis anos; o clima semiárido foi registrado em 32 anos; o clima subúmido seco apresentou-se em quinze anos; e o clima subúmido com registro de três anos. Estes resultados estão em conformidade com o estudo de França et al. (2020e) e corroboram com os resultados analisados.

Quadro 14: Índices de aridez, anos, classificações climáticas e o nível de susceptibilidade anual para o município de Amparo de São Francisco – SE.

Ano	Ia	CC	NS	Ano	Ia	CC	NS	Ano	Ia	CC	NS
1963	0,240	A	AL	1982	0,252	AS	AL	2001	0,500	AS	AL
1964	0,232	AS	AL	1983	0,292	AS	AL	2002	0,434	AS	AL
1965	0,169	A	MA	1984	0,431	AS	AL	2003	0,496	AS	AL
1966	0,187	A	MA	1985	0,480	AS	AL	2004	0,364	AS	AL
1967	0,389	AS	AL	1986	0,553	SUS	M	2005	0,562	SUS	M
1968	0,446	AS	AL	1987	0,548	SUS	M	2006	0,480	AS	AL
1969	0,403	AS	AL	1988	0,549	SUS	M	2007	0,387	AS	AL
1970	0,582	SUS	MA	1989	0,317	AS	AL	2008	0,463	AS	AL
1971	0,208	AS	AL	1990	0,304	AS	AL	2009	0,529	SUS	M
1972	0,113	A	MA	1991	0,334	AS	AL	2010	0,480	AS	AL
1973	0,193	A	MA	1992	0,450	AS	AL	2011	0,422	AS	AL
1974	0,186	A	MA	1993	0,597	SUS	M	2012	0,590	SUS	M
1975	0,245	AS	AL	1994	0,532	SUS	M	2013	0,406	AS	Al
1976	0,357	AS	AL	1995	0,592	SUS	M	2014	0,434	AS	Al
1977	0,337	AS	AL	1996	0,464	AS	AL	2015	0,624	SU	M
1978	0,399	AS	AL	1997	0,456	AS	AL	2016	0,636	SU	M
1979	0,504	SUS	M	1998	0,556	SUS	M	2017	0,511	SUS	M
1980	0,528	SUS	M	1999	0,468	AS	AL	2018	0,680	SU	SM
1981	0,257	AS	AL	2000	0,272	AS	AL	2019	0,574	SUS	SM

Legenda: Ia – índices aridez; CC - classificação climática; NS - nível de susceptibilidade;

A - árido; AS - semiárido; SUS - subúmido seco; SU - subúmido; Al - alta;

MA - muito alta; M - moderada; SM - superior à moderada.

Os Níveis de susceptibilidade ocorreram em 35 anos com alta susceptibilidade; com nível de susceptibilidade muito alto registrado em seis anos; com nível de susceptibilidade moderada ocorrendo em quinze anos; e dois anos com susceptibilidade superior à moderada.

Oliveira et al. (2010) afirmaram que a geomorfologia tem grande importância no conhecimento de fenômenos ambientais, podendo mostrar uma compreensão integrada de uma paisagem, se encontrando diretamente relacionada à caracterização do ambiente, procurando diagnosticar as formas de relevo.

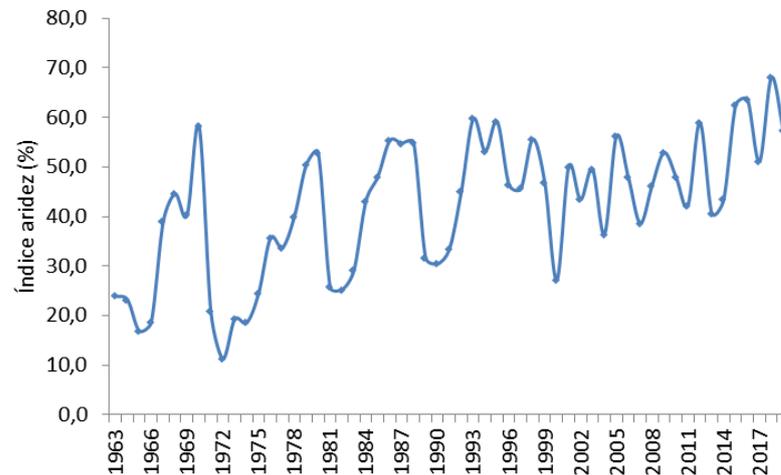
Estas variabilidades ou mudanças de classificações climáticas são decorrentes das oscilações meteorológicas atuantes em meso e microescala, seguidamente dos efeitos regionais e locais (MARENGO & CAMARGO, 2007; MARENGO et al., 2010; MARENGO et al., 2011; MEDEIROS, 2020).

Almeida et al. (2015) abordaram que a forma com que o solo é usado influencia muito nos processos erosivos, como construção de estradas, desmatamento, criação e expansão de cidades, cultivo de terras e pecuária. Quando esta última ocorre com grande quantidade de animais pisoteando o solo, resulta na mudança de sua configuração, compactando-o. São exemplos do uso e ocupação do solo que contribuem para a aceleração dos processos erosivos.

O cálculo das erosividades pluviais requerem originalmente dados do ponto de interrupção (WISCHMEIER & SMITH, 1978) e precipitação anual (LO et al., 1985; RENARD & FREIMUND, 1994). Para estimar o fator R, Yin et al. (2015) aferiram a precisão dos modelos utilizados por diferentes resoluções de dados e expuseram que, a precisão dos modelos aumentou com a resolução temporal pluvial. Também afirmaram que os dados diários de precipitação são adequados para estimar o fator R, ao passo que geralmente geram erros maiores para a estimativa do Índice EI_{30} . Estas afirmações corroboram os resultados apresentados neste estudo.

Os menores valores dos índices de aridez foram registrados nos anos de 1965, 1972, 1983, 1990 e 1999. Os maiores índices de aridez ocorreram nos anos de 1970, 1993, 1996, 2014, 2015 e 2017 (Figura 12). Estudos de vários autores (VILAR & MEDEIROS, 2019; SILVA et al., 2019) apresentam similaridades com os resultados analisados neste trabalho.

Figura 13: Distribuições anuais dos índices de aridez do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe.

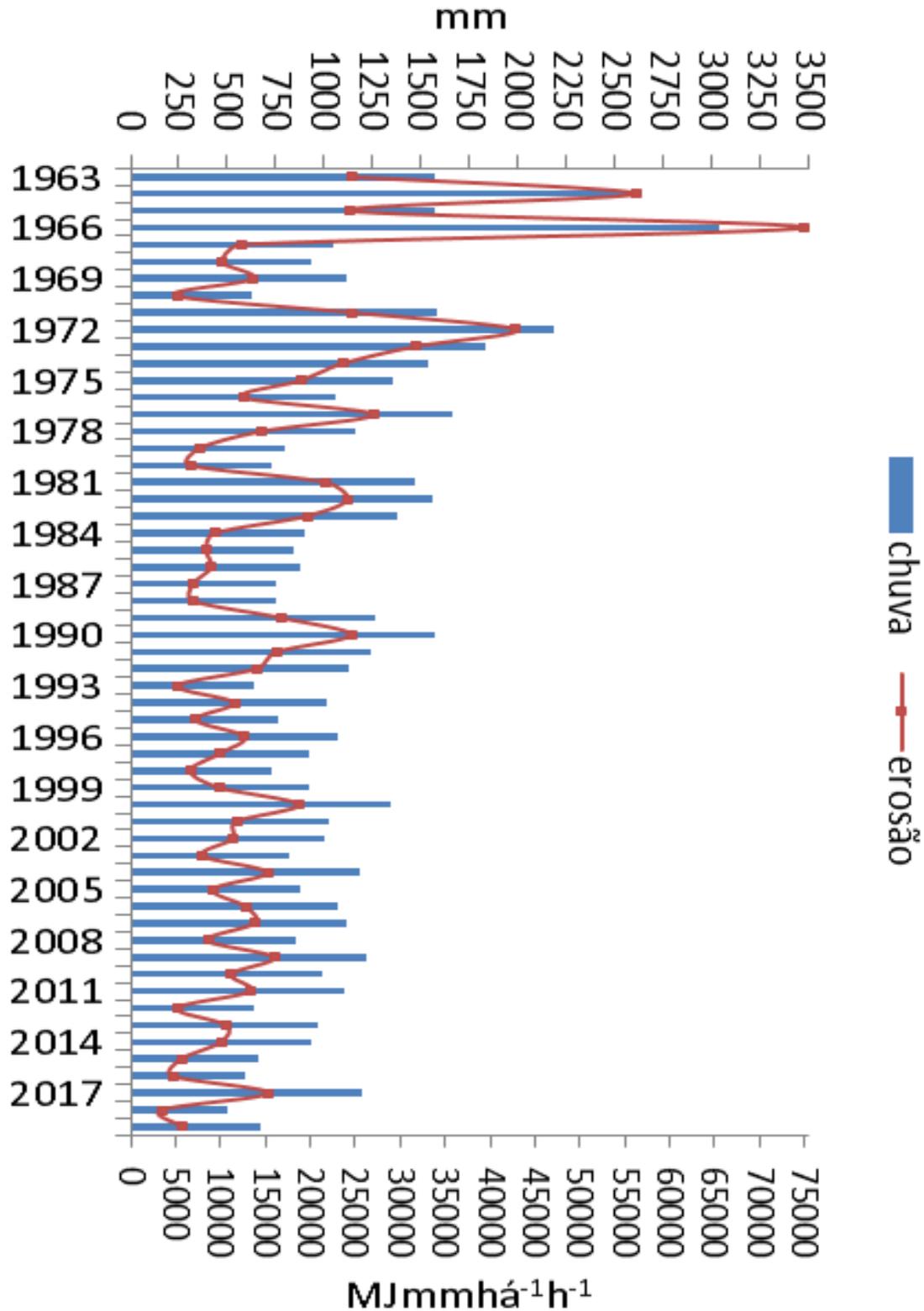


Na região do São Francisco foram identificadas áreas degradadas ou susceptíveis à desertificação (CGEE, 2016; LOPES et al., 2017) corroborando a precisão de formulação de planos e políticas públicas (COSTA et al., 2018). Diversos estudos mostraram que as regiões áridas e semiáridas são susceptíveis às mudanças climáticas, assim como às degradações ambientais provocadas por ações antrópicas, podendo inclusive intensificar seus níveis de aridez (GREVE et al., 2017). Estas afirmações contribuem com os resultados discutidos e apresentados neste trabalho.

O Índice de Aridez (Ia) é uma ferramenta coadjuvante para gestão de riscos e incertezas (FENG & FU, 2013), e contribui para o planejamento da garantia hídrica de um território (MARCOS JUNIOR et al., 2018). Este índice tem como premissa a razão entre os volumes precipitados anualmente numa determinada região e suas perdas para a atmosfera, estimadas através da evapotranspiração potencial anual, evidenciando que, quanto maior for o déficit, maior será a sua aridez (ALLEN et al., 1998). Como mostrado, a variabilidade do Ia na área estudada é corroborada pelas afirmações dos autores acima.

As flutuações da precipitação anual e dos índices erosivos do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe estão representados na Figura 14. Os maiores índices erosivos e pluviométricos registraram-se nos anos de 1964, 1966 e 1972 e os menores índices ocorreram em 1970 e 2018. Estudo como o de França et al. (2020a) corrobora os resultados discutidos nesta pesquisa.

Figura 14: Distribuições anuais dos índices pluviiais (mm) e da erosividade (MJ. mm. ha-1. h-1. ano-1) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe.



Silva (2005), em seu estudo, afirmou que ao longo da latitude 20° S foi observada uma faixa de precipitação elevada nos meses de novembro a março, a qual seria a posição média da

Zona de Convergência do Atlântico Sul sobre a Bacia hidrográfica do São Francisco. A Zona de Convergência do Atlântico Sul foi apontada como o principal mecanismo produtor de precipitação nesta área.

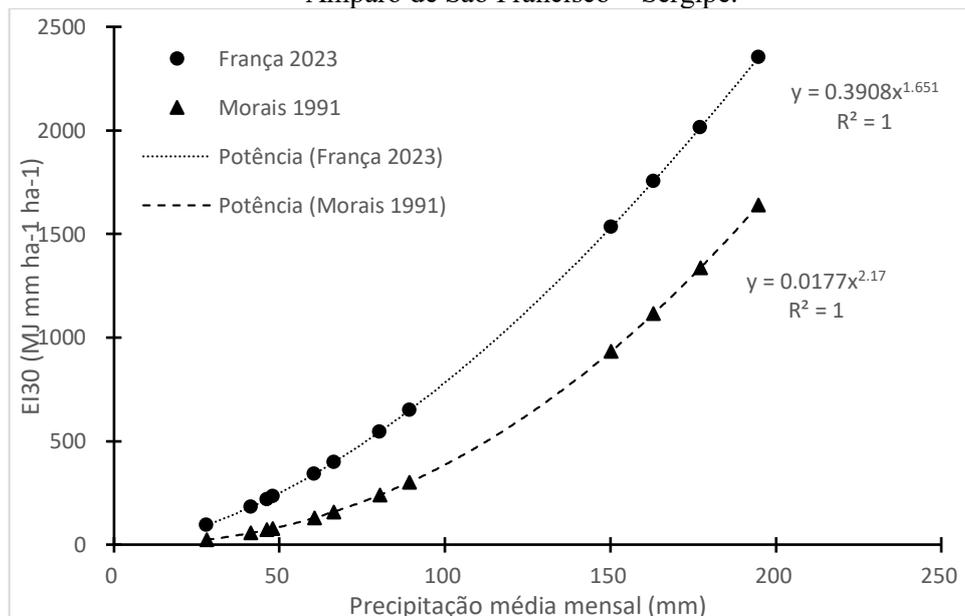
No Baixo São Francisco onde se localiza a área de Amparo de São Francisco, observa-se que ocorreu a maior quantidade de eventos climáticos na categoria “normal”, aproximadamente 60% dos casos, corroborando as flutuações pluviiais analisadas neste estudo.

5.6. Comparativos dos modelos matemáticos erosivos

Os gráficos 15, 16 e 17 representam um ajuste das equações para justificar os dados trabalhados nos modelos. As equações matemáticas usadas para justificar os fenômenos da erosão, não seguem esses ajustes.

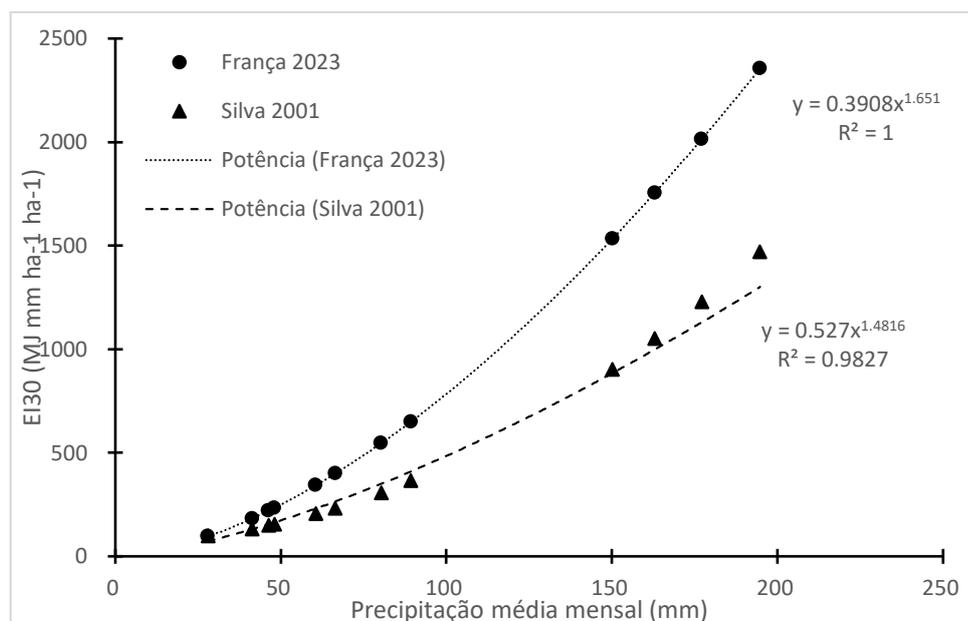
Observando-se o modelo de França (2023) e o seu comparativo com o modelo de Morais et al. (1991), vê-se que para os índices erosivos potenciais (Figura 15), foram obtidas duas equações com $R^2 = 100\%$ evidenciando que, para as duas equações, os valores erosivos estimados foram subestimados.

Figura 15: Distribuições mensais dos índices de erosividade (MJ. mm. ha-1. h-1. ano-1) e seu comparativo entre os modelos de França (2023) e Morais et al. (1991) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe.



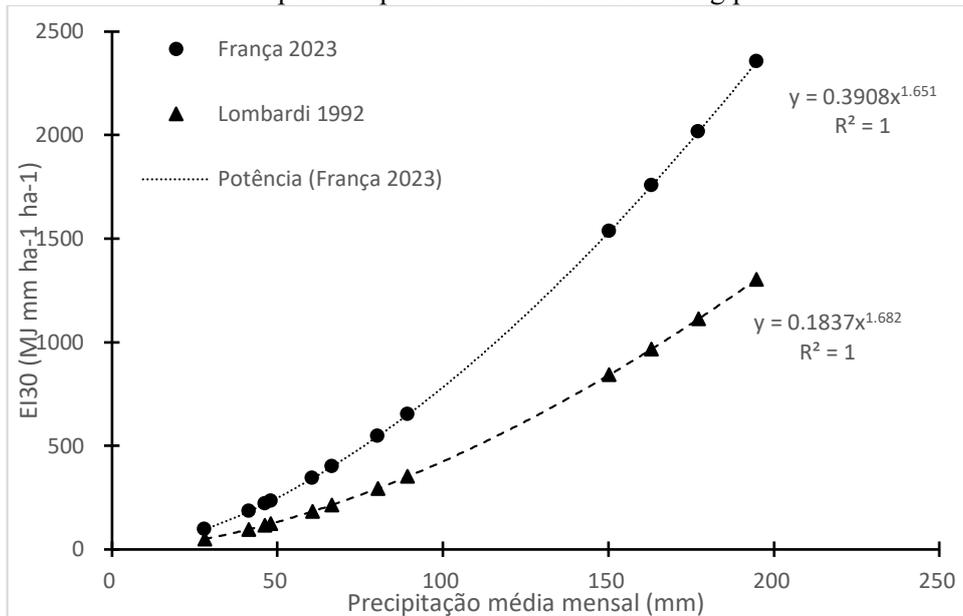
Na Figura 16 tem-se as distribuições mensais dos índices de erosividade ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e seu comparativo entre os modelos de França (2023) e Silva et al. (2001) em que se registraram R^2 de 1 e 0,98, respectivamente. O fato de que as perdas médias de solo para um longo período de tempo podem ser estimadas dentro de limites relativamente estreitos, com base nos valores de EI_{30} , não implica que as perdas de solo para chuvas específicas ou anos específicos possam ser estimadas com igual precisão.

Figura 16: Distribuições mensais dos índices de erosividade ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e seu comparativo entre os modelos de França (2023) e Silva et al. (2001) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe.



Observa-se na Figura 17 as distribuições mensais dos índices de erosividade ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e seu comparativo entre o modelo França (2023) e Lombardi et al. (1992)

Figura 17: Distribuições mensais dos índices de erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e seu comparativo entre os modelos de França (2023) e Lombardi et al. (1992) do período de 1963-2019 para Amparo de São Francisco – Sergipe



5.7. Considerações gerais

Os fatores provocadores de chuva na área municipal de Amparo de São Francisco são: contribuição das entradas das frentes frias, Vórtices Ciclônicos do Atlântico Sul, linha de instabilidade, aglomerados convectivos, contribuição das formações dos vórtices ciclônicos quando o seu centro se posiciona no oceano, aumenta a cobertura de nuvens e transporte de umidade ocasionando chuvas de moderada a forte, em curto intervalo de tempo.

É interessante ressaltar que a estação chuvosa é marcada por frequentes e intensas precipitações em curto intervalo de tempo, favorecendo o surgimento de erosões, visto que pela frequência de chuva em um breve período, a água não consegue infiltrar no solo e acaba realizando o carreamento das partículas sólidas. As contribuições das atividades antrópicas associadas às alterações na periodicidade da sazonalidade climática, atuam significativamente para potencializar manifestação do processo erosivo e de desertificação.

A área de estudo encontra-se na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, onde todos os escoamentos d'água desta região se direcionam ao encontro do rio principal e desta forma acabam modelando o terreno. As águas decorrentes dos índices pluviométricos durante o processo do escoamento superficial, procuram caminhos naturais para o seu escoamento, cuja tendência é que a água escoe de pontos elevados para pontos baixos, percurso principal do Rio São Francisco. No local de estudo os tipos de solos predominantes são do tipo Neossolo Flúvico, às

margens do Rio São Francisco, e em sequência na orientação sul aparecem os solos do tipo Neossolo Litólico.

Os afloramentos rochosos estão presentes em todo o estado de Sergipe, sendo que um dos fatores está relacionado à geologia da área, formada pelos domínios neoproterozóico a mesoproterozóico da Faixa de Dobramentos Sergipana, que interfere na realização dos cultivos agrícolas. Os solos Neossolos Litólicos são rasos, susceptíveis à erosão, apresentando como principais limitações a rochosidade, a pedregosidade e o relevo acentuado que dificultam a penetração e a exploração de água e nutrientes pelas raízes de plantas.

6. CONCLUSÕES

De acordo com a classificação do regime pluvial anual para Amparo de São Francisco – Sergipe, entre 1963 e 2019, ocorreram de uma forma geral, períodos mais úmidos de 1963 a 1973 e períodos muito secos de 2017 a 2019, com as seguintes ocorrências em valores percentuais: 5,26% com anos muito secos (3 anos); 21,05% com anos secos (12 anos); 56,14% com anos neutros (32 anos); 10,53% com anos chuvosos (6 anos); 5,26 com anos muito chuvosos (3 anos); e 1,8% com anos extremamente chuvoso (1 ano).

Os índices de erosividades mensais, para a área em estudo, evidenciaram para os modelos estudados, as classificações de erosividade variando de fraca a moderada, com predominância da fraca.

Mensalmente, os mais altos índices de erosividade ocorreram de abril a junho, período coincidente com as maiores precipitações, sendo o modelo de França (2023) o que resultou em valores mais altos, enquanto o modelo de Lombardi & Moldenhauer (1992) apresentou os valores mais baixos.

Anualmente, os maiores índices erosivos e pluviais foram registrados nos anos de 1964, 1966 e 1972, enquanto os menores índices ocorreram em 1970 e 2018.

Observando-se as oscilações das médias dos índices de erosividade anual dos quatro modelos utilizados e média histórica, constatou-se que os modelos de Silva et al. (2001) e de Lombardi & Moldenhauer (1992) apresentaram valores abaixo da média, o de Moraes valor próximo da média e o de França (2023) valor acima e distante da média.

Com relação ao Desvio Padrão normalizado da erosividade pluvial anual, utilizando-se os modelos matemáticos estudados, constatou-se que o modelo de França (2023) apresentou

maior dispersão em relação à média, indicando que o referido modelo superestimou os valores erosivos, quando comparado aos demais modelos.

7. REFERÊNCIAS

AKBARI, M.; MODARRES, R.; NOUGHANI, M. A. Assessing early warning for desertification hazard based on E-SMART indicators in arid regions of northeastern Iran. **Journal of Arid Environments**, v. 174, e104086, 2020.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. United Nations Environment Program - World Atlas of Desertification. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). **Fao Irrigation and Drainage Paper 56**. FAO, Roma, 1998.

ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; ELTZ, F. L. F.; BORGES, L. E. **Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica**. R. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental, v.15, p.178-184, 2011.

ALMEIDA, E. P. C.; SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Latossolos Vermelho-Amarelos. In **Agência Embrapa de Informação Tecnológica– AGEITEC**. <https://www.agencia.cnptia.2015>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J.; SENTELHAS, P.; GONÇALVES, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p.711-728, 2014.

AMARAL, B. S. D.; DANTAS, J. C.; SILVA, R. M.; CARVALHO NETO, J. F. Variabilidade da erosividade das chuvas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira Geografia Física**, v.7, p.691-701, 2014.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Estudo de modelagem quantitativa e qualitativa de trechos de rio em bacias hidrográficas consideradas críticas: resumo executivo**. Brasília: ANA, 2016.

AQUINO, R. F. Padrões de chuva e variabilidade espacial da erosividade para o sul do Estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 2005. 98p.

AVANZI, J. C.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; GIONGO, M. V.; PONTES, L. M. Modeling of the rainfall and R-factor for Tocantins State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 43, e0190047, 2019.

BACK, Á. J. Alternative model of intense rainfall equation obtained from daily rainfall disaggregation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, p. 1-11, 2020.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BASTOS, F.; REICHERT, J. M.; MINELLA, J. P. G.; RODRIGUES, M. F. Strategies for identifying pollution sources in a headwater catchment based on multi-scale water quality monitoring. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, p.1-24, 2021.

BASUMATARY, V.; SIL, B. S. Generation of rainfall intensity duration-frequency curves for the Barak River basin. **Meteorology Hydrology and Water Management**, v. 6, p. 1-11, 2017.

BATISTA, T. L.; ALVES, F. DE M.; TAVARES, P. R. L. Utilização de dados pluviométricos para o desenvolvimento de equações IDF da região metropolitana de Fortaleza-CE, Brasil. **Revista DAE**, v. 66, n. 211, p. 118-129, 2018.

BENIAICH, A.; SILVA, M. L. N.; GUIMARÃES, D. V.; BISPO, D. F. A.; AVANZI, J. C.; CURTI, N.; PIO, R.; DONDEYNE, S. Assessment of soil erosion in olive orchards (*Olea europaea* L.) under cover crops management systems in the tropical region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190088, 2020.

BESERRA, E. A. Projeções de aridez no Nordeste do Brasil para o século XXI em um cenário de aquecimento global. 93f. Dissertação Mestrado (**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**). São José dos Campos-SP, 2011.

BISPO, D. F. A.; BATISTA, P. V. G.; GUIMARAES, D. V.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; QUINTON, J. N. Monitoring land use impacts on sediment production: a case study of the pilot catchment from the Brazilian program of payment for environmental services. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-15, 2020.

CHAVES, I. B.; LEITE JÚNIOR, G. P.; MAIA NETO, F. F. Análise da pluviometria e da erosividade das chuvas de Patos (PB). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM

CALDERANO FILHO, B.; PALMIERI, F.; GUERRA, A. J. T.; CALDERANO, S. B.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; SILVA, E. F. da; CAPECHE, C. L.; FONSECA, O. O. M. da. Levantamento de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da microbacia Janela das Andorinhas, no município de Nova Friburgo, RJ. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 52p, 2018 (**EMBRAPA Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 27).

CAPOLONGO, D.; DIODATO, N.; MANNAERTS, C. M.; PICCARRETA, M.; STROBL, R. O. Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). **Journal of Hydrology**, v. 356, p. 119–130, 2008.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.7-14, 2019.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática, 2ª ed. **Interciência**, Rio de Janeiro, Brazil. 2008. 599p.

CASSOL, E. A.; SILVA, T. S.; ELTZ, F. L. F.; LEVIEN, R. Soil erodibility under natural rainfall conditions as the K factor of the universal soil loss equation and application of the nomograph for a subtropical Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42, p.1-12, 2018.

CAVALCANTI, R. L. C.; CUNHA FILHO, M. Estimativa das perdas geradas pelas chuvas na cidade de Recife. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 62, **Anais...** RBSIB, 2017.

CGEE - **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil.** Brasília: CGEE, 2016. 252p.

CHANG, K. B.; LAI, S. H.; OTHMAN, F. Comparison of annual maximum and partial duration series for derivation of rainfall intensity-duration-frequency relationships in Peninsular Malaysia. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 21, n. 1, p. 1-11, 2016.

CHESF. Companhia hidroelétrica do São Francisco. **Boletim Técnico**, 2018. 128p.

CHOKKAVARAPU, N.; MANDLA, V. R. Comparative study of GCMs, RCMs, downscaling and hydrological models: a review toward future climate change impact estimation. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 12, 2019.

CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba. **Inventário dos Projetos de Irrigação.** 2ª ed. Brasília: CODEVASF, 1991.

COELHO, E. A. C. **Estimation of rainfall erosivity from daily rainfall: methods and sampling. 72f. Dissertation (Masters in Soil Management and Conservation).** Center of Agrarian Sciences. Federal University of Paraíba. Sand, 1994.

CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CAMIN, G.; SANTOS, G. M. Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de duas sub-bacias hidrográficas do município de Caxias do Sul. **Revista Scientia Cum Industria**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2016.

CORRÊA, E.; MORAES, I. C.; CUNHA, C. M. L.; PINTO, S. A. F. Influência do cultivo de cana-de-açúcar nas perdas de solo por erosão hídrica em Cambissolos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, p. 1-13, 2018.

COSTA, C. E. A. S.; SOUZA, M. M.; RAMOS, C. C.; PROGÊNIO, M. F.; ROSARIO, K. K. L.; ROCHA, G. S. Determinação do fator de erosividade da chuva para o distrito de Marudá (PA). **Nature and Conservation**, p. 55-62, 2020.

COSTA, J. M. F.; MARCOS JUNIOR, A. D.; SILVEIRA, C. S.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C. Influência das mudanças climáticas, projetadas pelo IPCC, na aridez do Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, v. 11, n. 3, p. 429 – 442, 2018.

COSTA, L. R. F., OLIVEIRA, V. P. V., SANTOS, J. O. Fragilidade ambiental no contexto de sítio urbano na sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú–Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 7, p. 2580-2594, 2019.

CPTEC/INPE- Núcleos de meteorologia. Formulação do desvio padrão normalizados para os índices pluviométricos na região nordeste de Brasil. **Clima analise**, v. 5, p. 12-25, 2010.

DA SILVA, D. F. **Variabilidade espacial e temporal de componentes dos balanços de água e de energia sobre a Bacia do Rio São Francisco com Ênfase para a Região da ZCAS.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia, UFCG, 2005.

DAMACENA, F. A.; GUIMARÃES, R. F.; CATÃO, R. C.; GOMES, R. A. T.; BARBOSA, F. L. R.; CARVALHO, O. A.; MARTINS, É. S. Identificação de zonas de saturação na paisagem a partir de dados de transmissividade obtidos em situ na bacia hidrográfica do rio Jardim (DF). **Espaço & Geografia**, v. 12, n. 1, p. 105-123, 2009.

DEY, P.; MISHRA, A. Separating the impacts of climate change and human activities on streamflow: A review of methodologies and critical assumptions. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 278-290, 2017.

DOS SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; SANTOS, A. P. P. Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 111-122, 2017.

EBLING, E. D.; REICHERT, J. M.; PELÁEZ, J. J. Z.; RODRIGUES, M. F.; VALENTE, M. L.; CAVALCANTE, R. B. L.; REGGIANI, P.; SRINIVASAN, R. Event-based hydrology and sedimentation in paired watersheds under commercial eucalyptus and grasslands in the Brazilian Pampa biome. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, p. 180-194, 2021.

EFTHIMIOU, N.; LYKOUDI, E.; PANAGOULIA, D.; KARAVITIS, C. Avaliação da susceptibilidade do solo à erosão utilizando os modelos EPM e RUSLE: o caso da bacia do rio Venetikos. **Global Nest Journal**, v. 18, n. 1, p. 164-179, 2017.

ELSEBAIE, I. H. Developing rainfall intensity-duration-frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, v. 24, n. 2, p. 131-140, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J.B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Solos. 2018. 355p.

EMDAGRO – SE. **Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe**. (2020).

FAO. Food and Agriculture Organization Of The United Nations. **La erosion del suelo por el agua: algunas medidas para em las tierras de cultivo**. Roma: **Organization de Las Nacioes Unidas**, 1967. 207p.

FENG, S.; FU, Q. Expansion of global drylands under a warming climate. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, p. 14637-14665, 2013.

FERREIRA, C. F.; BASSACO, M. V. M.; ARAÚJO, E. M.; PAULETTI, V.; PRIOR, S. A.; MOTTA, A. C. V. Gypsum effects on eucalyptus nutrition in subtropical Brazil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.5, p.25160-25177, 2020.

FERREIRA, Y. B. **Balço hídrico climatológico como ferramenta de análise hidroclimática de núcleos de susceptibilidade a desertificação**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

FERRETO, D. O. C.; REICHERT, J. M.; LOPES CAVALCANTE, R. B.; SRINIVASAN, R. Water budget fluxes in catchments under grassland and Eucalyptus plantations of different ages. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 51, p. 513-523, 2021.

FERRETO, D. O. C.; REICHERT, J. M.; LOPES CAVALCANTE, R. B.; SRINIVASAN, R. Rainfall partitioning in young clonal plantations Eucalyptus species in a subtropical environment, and implications for water and forest management. **International Soil and Water Conservation Research**, e-First, 2020.

FERRO, V.; PORTO, P.; YU, B. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 44, n. 1, p. 3-24, 1999.

FOURNIER, F. Climat et erosion: La relation entre l'érosion dy sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Paris: **Universitaires de France**, 1960.

FRANÇA, M. V. Climatologia do município de Amparo de São Francisco (SE) entre 1963-2019. **Revista Mirante**, v. 14, n. 1, 2019.

FRANÇA, M. V. Determinação de modelo matemático erosivo para o município de Amparo de São Francisco – Sergipe. **Revista Mirante**. v.14, p.79, 2023.

FRANCA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; FERRAZ, J. X. V.; HOLANDA, R. M. À erosão pluvial em Caruaru – PE, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. v.8, p.106-119, 2018.

FRANÇA, M. V.; CUNHA FILHO, M.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; PISCOYA, V. C.; FREITAS, J. R.; PISCOYA, T. O. F.; CUNHA, A. L. X.; MOREIRA, G. R.; LIMA, F. M.; FILHO, R. R. G.; ARAÚJO FILHO, R. N. Climate fluctuations and environmental impacts in desertification in Cabaceiras - PB, Brazil. **IJSRM Human**, v. 16, n. 2, p. 55-68, 2020b.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico e suas variabilidades em período de El Niño e La Niña visando às oscilações erosivas em Amparo de São Francisco – Sergipe – Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e443996995, 2020c.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; SOUZA, F. A. S. Estimation of erosivity in the Amparo de São Francisco municipality, State of Sergipe, Brazil. **IJSRM Human**, v. 20, n. 2, p. 122-136, 2021b.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; SOUZA, F. A. S.; ROLIM NETO, F. C. Erosivity index obtained with mathematical models for the municipality of Amparo De São Francisco, Sergipe State, Brazil. **IJSRM Human**, v. 19, n. 4, p. 77-97, 2021c.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R. (2020a). Erosividade na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, PE – Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-19, 2020a.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico e erosibilidade nas microrregiões do Estado da Paraíba, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10. e789106121, 2020.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W.R.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico para diferentes capacidades de campo e a variabilidade erosiva pluvial no município de Amparo de São Francisco – SE, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020e.

FRANCA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R. Isolinha erosiva máxima pelo método da krigagem na bacia hidrográfica do rio Paraíba, Brasil. **Research, Society and Development**, v.9, p.1-29, 2020d.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M. Climatologia do município de Amparo de São Francisco – Sergipe entre 1963-2019. **Revista Mirante**, v. 1, p.1-20, 2021a.

GALVANI, E. **Descriptive statistics in the classroom**. In: VENTURI, L. A.B. Geography: Field, laboratory and classroom practices. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.

GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Avaliação da erosão do solo pelo modelo RUSLE usando sensoriamento remoto e SIG - Um estudo de caso da Bacia de Nethravathi. **Geoscience Frontiers**, v. 7, n. 6, p. 953-961, 2016.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. **Cadernos do Leste**, v. 19, n. 19, p. 63-78, 2019.

GREVE, P.; RODERICK, M. L.; SENEVIRATNE, S. I. Simulated changes in aridity from the last glacial maximum to 4xCO₂. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 11, p. 114021, 2017.

HECKMANN, T.; CAVALLI, M.; CERDAN, O.; FOERSTER, S.; JAVAUX, M.; LODE E.; SMETANOVA, A.; VERICAT D.; BRARDINONI F. Indices of sediment connectivity: Opportunities, challenges and limitations. **Earth-Science Reviews**, n.187, p. 77-78, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil dos municípios brasileiros. Pesquisa de informações básicas municipais 1999**. Rio de Janeiro, Departamento de População e Indicadores Sociais, 2001.

IBGE. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil dos municípios brasileiros. Pesquisa de informações básicas municipais 2015**. Rio de Janeiro, Departamento de População e Indicadores Sociais, 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change (2013). **The Physical Science Basis. Contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, **Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA**, 2013. 1535p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change**. Impacts, Adaptation and Vulnerability 2022. Geneva: IPCC, 3670p. 2022.

JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SILVA, M. J.; MORAIS, J. E. F.; SILVA, T. G. F. Estimates of soil loss by water erosion for the municipality of Serra Talhada, PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2., n. 3., p.186-193, 2017.

KIMIURA, R. Global detection of aridification or increasing wetness in arid regions from 2001 to 2013. **Natural Hazards**, v. 103, n. 2, p. 2261-2276, 2020.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science**. Berlin: Walter de Gruyter, 388, 1931.

- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes.** Wallmap 150 cm x 200 cm, 1928.
- LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de Baixo, Sorocaba/SP. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 439-446, 2016.
- LEMOS, A. C. C.; SALDANHA, D. L.; MAFRA, A. L. Comportamento da precipitação pluviométrica nas porções alta e média da bacia hidrográfica do rio Canoas/SC: Análise Temporal de 1986-2016. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1264-1274, 2018.
- LEPRUN, J. C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no nordeste brasileiro: Balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisas.** Recife: SUDENE, 1981.
- LICCO, E. A.; MAC DOWELL, S. F. Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, v. 5, n. 3, 2015.
- LO, A. S.; EL-SWAIFY, E. W.; DANGLER, L.; SHINSHIRO, L. Eficácia do EI30 como índice de erosividade no Havaí. **Bragantia**, v. 54, n. 3, p. 183-190, 1985.
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity, its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Tese de Mestrado. West Lafayette, Prudue University, 1997, 53p.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
- LOPES, I.; SANTOS, S. M.; TAURA, T. A.; OLDONI, H.; LEAL, B. G. Desertification climatic susceptibility to the Center-North region of Brazilian Semi-Arid. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 7, n. 2, p. 101-110, 2017.
- LOPES, P. C. R.; BRITO, L. T. L. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.129-133. 1993.
- MAMOON, A. AL; JOERGENSEN, N. E.; RAHMAN, A.; QASEM, H. Derivation of new design rainfall in Qatar using L-moment based index frequency approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 111-118, 2014.
- MARCOS JUNIOR, A. D.; SILVEIRA, S. S.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; UIMARÃES, S. O.; DA COSTA, J. M. F. Classificação climática de Thornthwaite para o Brasil com base em cenários de mudanças climáticas do IPCC-AR5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 647-664, 2018.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. Trends in extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**, 28, 893-904, 2007.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; NOBRE, C. A.; RIBEIRO NETO, G. G.; MAGALHAES, A. R.; TORRES, R. R. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. **Nat Hazards**, v. 103, p. 2589-2611, 2020.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES L. M.; OBREGON, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; GILLIN, K. Riscos das mudanças climáticas no Brasil. Análise conjunta Brasil-Reino Unidos sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. 56p, 2011.

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 509-529, 2010.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; ZEE, D.; PINTO, H. S. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**, 2017.

MARENGO, J.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. p. 303-422. Campina Grande-PB, 2015.

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de desertificação: Histórico e perspectivas**. – Brasília: UNESCO, 2001.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F.; BORGE, V. E.; GALVÃO SOBRINHO, T. Erosividade da chuva no período de 1973 a 2013 no município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, 641-649, 2017.

MAURI, E. N. E.; VIOLA, M. R.; NORTON, L. D.; OWENS, P. R.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; CURI, N. Hydrosedimentological modeling in a headwater basin in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0200047, 2020.

MEDEIROS, R. M. Isolinhas erosivas do Estado do Piauí. **Revista Mirante**, v. 12, n. 1, 2019.

MEDEIROS, R. M. Mudanças do ENSO com relação à precipitação e dias com chuva em Recife – PE, Brasil. **Revista Mirante**, v. 11, n. 8, 2018.

MEDEIROS, R. M. **Programa índices pluviométricos de um posto - Média ponderada pelo Inverso da distância ao quadrado**. Desenvolvido em planilha eletrônicas, 2018.

MEDEIROS, R. M. **Classificação de Köppen para o Estado de Sergipe, Brasil**. Distribuição avulsa. 20p, 2020.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológicos para o Estado de Sergipe**. Distribuição avulsa. 142p, 2020a.

MEDEIROS, R. M. Cálculo do balanço hídrico e da erosividade para o município de Cabaceiras-Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 2, p. 16-23, 2019a.

MEDEIROS, R. M. **Elaboração de programa computacional em planilhas eletrônicas do Balanço hídrico**, 2016.

MEDEIROS, R. M.; KOZMHINSKY, M.; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. Estimativa da erosão pluvial na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 3. p.81-090, 2017.

MEDEIROS, R. M.; SANTOS, L. J. V.; BANDEIRA, M. M. Avaliação do índice de erosividade da chuva no município de Areia - PB no período de 1910-2010. In: IV Winotec - Workshop Internacional de Inovação Tecnológica na Irrigação, Fortaleza – Ceará, 6, **Anais...** Ceará: IV WINOTEC, 2012.

MEDEIROS, R. M.; BRITO, J. I. B.; SILVA, V. M, A.; MELO, V. S.; COSTA NETO, F. A. El Niño/La Niña e sua influência no número de dias com chuva em Bom Jesus – Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 16-23. 2016.

MEIRA, R. T.; SABONARO, D. Z.; SILVA, SILVA, D. C. C. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 77-84, 2016.

MEN, M.; YU, Z.; XU, H. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on statistics in Hebei Province, China. **Fronteira Agrícola**, v. 2, p. 281-289, 2008.

MENEZES, M. D.; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1029-1039, 2017.

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGO, N. V. (1991). Índice EI₃₀ e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:339-344.

NAJAFI, S.; DRAGOVICH D.; HECKMANN, T.; SADEGHI, S. H. Sediment connectivity concepts and approaches. **Catena**, n. 196, p. 1-30, 2021.

NARDINI, R. C.; GOMES, L. N.; CAMPOS, S.; SILVEIRA, G. R. Análise da caracterização morfométrica da Microbacia do Ribeirão dos Patos, Bofete (SP). **Geografia**, v. 24. n. 2, p. 25-39, 2015.

NICHOLSON, S. E.; TUCKER, C. J. Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the west African Sahel. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 5, p. 815-829, 1998.

OLIVERA, E. D.; OLIVERA, E. D.; CRESTANI, A.; ALMEIDA, N. A. (2017). **Caracterização fisiográfica da bacia de drenagem do Córrego Jandaia**, Jandaia do Sul/PR. **ACTA Geográfica**, v. 5, n. 10, p. 169-183.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, n.100, p. 139-147, 2010.

PEÑALVA-BAZZANO, M. G.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 235-244, 2010.

PEREIRA, M. D. R. P.; CRISTO, S. S. V. de. Análise morfoedológica da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas-Tocantins. **Revista Interface**, v. 17, n. 17, 2019.

- PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil And Water Conservation Research**, v. 6, 7516, 2018.
- PINHEIRO, A. G.; SANTOS, J. C. N. dos; PALÁCIO, A. de Q.; ARAUJO NETO, J. R., ANDRADE, E. M. Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu. **Irriga**, v. 23, 133-142, 2018.
- PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; PIRES, A. M. Z. C. R. **Análise de riscos ambientais no entorno de uma Unidade de Conservação (estação Ecológica de Jatai, Luiz Antônio, SP)**. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (ed.). *Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações*. Ilhéus: Editus, p. 17-36, 2002.
- PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa, MG: DE A/ UFV. 33p. (Caderno Didático, 26), 1997.
- RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Usando dados mensais de precipitação para estimar o fator R no USLE revisado. **Caderno Didático**, v. 56, p. 34-45, 1994.
- RIBEIRO, K. V., ALBUQUERQUE, E. L. S. Sistemas ambientais no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Poti, estado do Ceará. **Revista Equador**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2017.
- RIOS, M. L.; SILVA, A. J. P.; CARVALHO-SANTOS, V. L. Soil loss as a desertification risk indicator: mapping and simulation Salitre River Sub-Basin, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190159, 2020.
- ROCHA, I. P. **Relação entre erosão marginal, atributos físicos do solo e variáveis hidrológicas e climáticas no Baixo São Francisco**. 64p. (Dissertação – Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
- RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo - MG. **Geociências**, v. 36, p. 531-542, 2017.
- RODRIGUES, J. A. M.; RODRIGUES, M. C. Análise da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica do Rio Cervo - MG. **Geociências**, v. 36, p. 531-542, 2018.
- RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 1, p. 439-444, 1993.
- SANTOS NETO, J. R. dos; CHRISTOFARO, C. Erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Araçuaí-MG. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 40-50, 2019.
- SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 871-880, 2012.
- SCHAADT, S. S.; VIBRANS, A. C. O uso da terra no entorno de fragmentos florestais: influência a sua composição e estrutura. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 437-445, 2015.

SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.

SERGIPE. Governo do Estado. **Plano de desenvolvimento do território baixo são Francisco Sergipano**, 2008.

SILVA NETO, V. L.; BATISTA, E. D.; LEAL JUNIOR, W. B.; FABRIS, Z. V.; RODRIGUES, P. J. A. W. Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p.161-175, 2020.

SILVA, M. A. da; SIVA, M. L. M.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 160-172, 2014.

SILVA, A. M. Rainfal erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259, 2014.

SILVA, A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Relação entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 3, p. 459-464, 2011.

SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em fortaleza (CE). II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. n. 27, p. 347-354, 2001.

SILVA, C. J.; FRANCA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M. (2019). O índice de aridez e sua tendência à desertificação na bacia do Rio Ipojuca - PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 4, p. 21-30.

SILVA, D. C. C. e; SALES, J. C. A.; SIMONETTI, V. C.; LOURENÇO, R. W. Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 189-212, 2020.

SILVA, I. de F.; ANDRADE, A. P. de; CAMPOS FILHO, O. R. Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 283-287, 1986.

SILVA, L. M. Atlas ambiental como subsídio aos estudos de sustentabilidade - a bacia do Araçuaí no Vale do Jequitinhonha - MG. Dissertação (Mestrado em Geografia) – **Instituto de Geociências e Ciências Exatas**, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2020.

SILVA, V. A.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S.; REGO, N. A. C. Uso da terra e perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Colônia, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.310–315, 2020.

SIMONETTI, V. C.; FRACARELI, D.; GONTIJO, E. S. J.; MELO, D. S.; FRIESE, K.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. **International Journal of River Basin Management**, p. 1-12, 2019.

SIQUEIRA JUNIOR, P.; SILVA, M. L. N.; CÂNDIDO, B. M.; AVALOS, F. A. P.; BATISTA, P.V.G.; CURI, N.; LIMA, W.; QUINTON, J. N. Assessing water erosion processes in degraded

area using unmanned aerial vehicle imagery. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 43, e0190051, 2019.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Índices de detecção de mudança climática derivados da precipitação pluviométrica e das temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 143-159, 2012.

SUDENE. (1990). Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Sergipe**. (Série Pluviometria, 2). Recife.

THOMAZ, E. L.; FIDALSKI, J. Interrill erodibility of different sandy soils increases along a catena in the Caiuá Sandstone Formation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190064, 2020.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographic Review**, 38, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, JR. The water balance. Publications in climatology. New Jersey: **Drexel Institute of Technology**, 104p, 1948.

UNEP - United Nations Environment Programme. **World Atlas of Desertification**. Londres: UNEP/Edward Arnold. 69p, 1992.

VALENTE, M. L.; REICHERT, J. M.; CAVALCANTE, R. B. L.; MINELLA, J. P. G., EVRARD, O.; SRINIVASAN, R. Afforestation of degraded grasslands reduces sediment transport and may contribute to streamflow regulation in small catchments in the short-run. **Catena**, v. 204, 105371, 2021.

VALENTE, M. L.; REICHERT, J. M.; LEGOUT, C., TIECHER, T., CAVALCANTE, R.B.L., EVRARD, O. Quantification of sediment source contributions in two paired catchments of the Brazilian Pampa using conventional and alternative fingerprinting approaches. **Hydrological Processes**, v. 34, p.2965-2986, 2020.

VILAR, H. N.; MEDEIROS, R. M. Índice de aridez na Zona da Mata no Estado de Pernambuco - Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, p. 14-20, 2019.

WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/coverchange in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v. 137, 2016.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, n. 26, p. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 58p. **Agriculture Handbook**, 537, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

XAVIER, J. P. S.; BARROS, A. H. C.; WEBBER, D. C.; ACCIOLY, J. de O.; MARQUES, F. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B. Estimativa da erosividade da chuva por diferentes

métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 859-875, 2019.

YAN, R.; ZHANG, X.; YAN, S.; CHEN, H. Estimating soil erosion response to land use/cover change in a catchment of the Loess Plateau, China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 1, p. 13-22, 2018.

YIN, S. Q.; XIE, Y.; LIU, B. M. A. Aproximando estimativa da erosividade das chuvas com base em dados de chuvas coletados em várias resoluções temporais. **Discussões sobre Hidrologia e Ciências do Sistema Terrestre**, v. 12, n. 5, 2015.

ZAMBERLAN, J. F.; ZAMBERLAN, C. O.; SHUCH JUNIOR, V. F.; GOMES, C. M.; KNEIPP, J. M. Produção e manejo agrícola: impactos e desafios para sustentabilidade ambiental. **Engenharia Sanitária**, v. especial, p. 95-100, 2014.

ZANIN, P. R.; BONUMA, N. B.; MINELLA, J. P. G. Determination of topographic factor in hydrographic basins. **Brazilian Journal of Geomorphology**, v. 18, n. 1, p. 19-36, 2017.

ZORE, A.; NEJC, B.; MOJCA, S. The influence of rainfall interception on the erosive power of raindrops under the birch tree. **Journal of Hydrology**, v. 613, 128478, 2022.