

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS

GABRIEL MILLER DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NA OCORRÊNCIA
DE INUNDAÇÕES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA- ES
2024

GABRIEL MILLER DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NA OCORRÊNCIA
DE INUNDAÇÕES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça

Coorientador: Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis

VITÓRIA

2024

GABRIEL MILLER DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NA OCORRÊNCIA
DE INUNDAÇÕES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, na área de concentração de Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovado em 11 de dezembro de 2024.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Gabriel Miller de Oliveira

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Orientador - ProfÁgua/UFES

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis
Coorientador – ProfÁgua/UFES

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Examinador Interno – ProfÁgua/UFES

Prof. Fernando das Graças Braga da Silva
Examinador Externo – UNIFEI

Diogo Costa Buarque
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Gestão e
Regulação de Recursos Hídricos
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Vitória, ES, 11 de dezembro de 2024

Ata da Vigésima Quinta (25ª) Sessão de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Programa Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) do Centro Tecnológico (CT) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), do aluno **Gabriel Miller de Oliveira**, candidato ao grau de Mestre.

Às dez horas do dia onze de dezembro de dois mil e vinte e quatro (11/12/2024), por videoconferência, eu, Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça, presidi a Sessão e dei início aos trabalhos, apresentando ao público presente o aluno candidato ao título de Mestre, **Gabriel Miller de Oliveira**, bem como a Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso – TCC (Técnica), composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis - Coorientador – ProfÁgua/UFES, Prof. Dr. Diogo Costa Buarque – Examinador Interno - ProfÁgua/UFES e o Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva – Examinador Externo – UNIFEI. Na sequência, passei palavra ao candidato, que, em trinta minutos, apresentou seu TCC intitulado “**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**”. Dando prosseguimento aos trabalhos de defesa do TCC, convidei cada membro titular da Banca Examinadora para dirigir seus comentários e observações sobre o Trabalho, na forma de arguição do candidato. Seguindo, passei a palavra aos Examinadores do candidato, iniciando pelo Examinador Externo, para que tecessem seus comentários. Antes de encerrar esta parte da Sessão de Defesa, abri a palavra ao público presente, porém não obtendo manifestações. Dando sequência, convidei os membros da Banca Examinadora a reunir, em separado, para deliberação sobre a Defesa. Como resultado, informei ao candidato e aos demais presentes a decisão da Banca Examinadora; ou seja, a **APROVAÇÃO** do TCC. Por fim, alertei que o candidato somente terá direito ao título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos após entrega à Secretária do Programa a versão final do seu TCC, em papel e meio digital, com as correções apontadas pela Banca Examinadora, cumpridos todos os trâmites exigidos pelo Regimento do ProfÁgua, bem como a homologação do resultado da defesa pelo Colegiado Acadêmico do ProfÁgua/UFES. Por fim, declarada encerrada a Sessão, eu, Antônio Sérgio Ferreira Mendonça, Professor do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), do Centro Tecnológico, da UFES, lavrei a presente ata, que irá assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo mestrando.

Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Orientador - ProfÁgua/UFES

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis
Coorientador – ProfÁgua/UFES

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Examinador Interno – ProfÁgua/UFES

Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva
Examinador Externo - UNIFEI

Gabriel Miller de Oliveira
Mestrando

Vitória, 11 de dezembro de 2024

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar a influência dos fenômenos El Niño (EN) e La Niña (LN) nas inundações no estado do Espírito Santo (ES), utilizando dados de vazão, precipitação pluviométrica e análise de sistemas sinóticos na região. A avaliação a ser conduzida ganha relevância em função da natureza dos fenômenos EN e LN, decorrentes da interação entre os oceanos e a atmosfera, e que apresentam previsibilidade significativa. O conhecimento antecipado desses fenômenos pode servir como alicerce para o desenvolvimento de estratégias tanto para o planejamento urbano quanto para a prevenção de desastres. Para análise relativa a inundações, foram considerados dados de vazão de estações fluviométricas nos principais rios do estado, além de informações de precipitação e análise sinótica por cartas e imagens de satélite. Os resultados encontrados indicam que a La Niña influencia no aumento da precipitação no estado do ES e nas regiões dos rios de outros estados que contribuem com a descarga de água nos rios capixabas. Os casos estudados sugerem a modulação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pela LN, que desloca o sistema para o norte de sua posição climatológica e intensifica as chuvas no estado do ES, causando inundações. Investimentos em tecnologias avançadas de alerta precoce e monitoramento meteorológico, como aquelas oferecidas pelo CPTEC, pela Marinha do Brasil e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), podem desempenhar um papel crucial ao fornecer informações sobre a atuação desses fenômenos climáticos, permitindo prever padrões de chuva extrema e inundações. Essas informações, quando integradas aos processos de planejamento urbano e gestão do território, possibilitam uma resposta mais eficaz e coordenada às ameaças de inundação, permitindo a implementação de medidas preventivas e adaptativas adequadas.

Palavras Chave: Gestão Hídrica; ZCAS; Prevenção de Desastres; Estratégias de Mitigação.

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of the El Niño (EN) and La Niña (LN) phenomena on floods in the state of Espírito Santo (ES), using flow rate data, rainfall records, and synoptic system analyses in the region. The evaluation to be conducted is particularly relevant due to the nature of EN and LN phenomena, which result from ocean-atmosphere interactions and exhibit significant predictability. Advanced knowledge of these phenomena can serve as a foundation for developing strategies for both urban planning and disaster prevention. For the flood-related analysis, flow rate data from hydrological stations on the state's main rivers were considered, along with precipitation information and synoptic analysis through charts and satellite imagery. The findings indicate that La Niña influences increased precipitation in Espírito Santo and in the regions of neighboring states whose rivers contribute water discharge to Espírito Santo's rivers. The studied cases suggest that La Niña modulates the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), shifting it northward from its climatological position and intensifying rainfall in Espírito Santo, causing floods. Investments in advanced early warning technologies and meteorological monitoring, such as those provided by CPTEC, the Brazilian Navy, and the National Institute of Meteorology (INMET), can play a crucial role in providing information about the impact of these climatic phenomena, enabling the prediction of extreme rainfall patterns and floods. When integrated into urban planning and land management processes, this information allows for a more effective and coordinated response to flood threats, enabling the implementation of appropriate preventive and adaptive measures.

Keywords: Water Management; SACZ; Disaster Prevention; Mitigation Strategies.

CONSIDERAÇÕES PARA O SINGREH¹ - SÍNTESE

A Lei Federal 9.433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou cinco instrumentos essenciais para a gestão adequada dos recursos hídricos no Brasil: planos de recursos hídricos, outorga de direito de uso da água, cobrança pelo uso da água, enquadramento de corpos de água e sistemas de informações sobre recursos hídricos. Tais instrumentos são fundamentais para garantir o uso sustentável da água e a proteção de seus recursos, principalmente em regiões vulneráveis a eventos climáticos extremos, como o estado do Espírito Santo. Este estado, localizado na região sudeste do Brasil, sofre impactos significativos de fenômenos climáticos como o El Niño e o La Niña, que influenciam de modo indireto o regime de chuvas, o comportamento da vazão dos rios e consequentemente o risco de inundações. O fenômeno El Niño, caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas do Oceano Pacífico, e o La Niña, que traz o resfriamento dessas águas, alteram a dinâmica atmosférica, afetando tanto a quantidade quanto a distribuição das chuvas.

Este estudo destaca a relação entre os padrões climáticos globais e os eventos naturais locais. Os dados coletados sobre precipitação pluviométrica, vazões e os efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) revelam que o estado capixaba é fortemente afetado por esse evento meteorológico. O La Niña, por exemplo, tende a aumentar a magnitude e a frequência das chuvas no Espírito Santo, deslocando a ZCAS para norte de sua posição climatológica, ocasionando inundações devido ao aumento da vazão dos rios. Esse fenômeno também influencia as áreas adjacentes, como as regiões de Minas Gerais e Rio de Janeiro, que contribuem com as águas para os principais rios capixabas. Tais inundações têm sérias consequências para a população, a agricultura e a infraestrutura, e a compreensão desses eventos climáticos oferece uma oportunidade para a implementação de estratégias de prevenção mais eficazes.

Nesse contexto, este estudo propõe ferramentas aplicadas aos instrumentos de gestão de recursos hídricos e mostra que sua aplicação prevista pela lei das águas pode ser crucial para minimizar os danos causados pelas inundações e melhorar a eficácia da gestão hídrica no Espírito Santo. Primeiramente, os planos de recursos hídricos devem considerar a variabilidade climática e os impactos dos fenômenos de

¹ Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

El Niño e La Niña, incluindo análises de cenários climáticos futuros. Esse planejamento deve incorporar informações meteorológicas detalhadas e modelos climáticos que possibilitem uma gestão mais antecipada e eficiente, ajustando as ações de acordo com as previsões de chuva e a vazão dos rios. A integração desses dados aos planos estaduais e regionais é essencial para que as políticas públicas estejam preparadas para lidar com eventos extremos, como as inundações causadas pelo La Niña, ou com secas prolongadas durante episódios de El Niño.

Além disso, a outorga de direito de uso da água no Espírito Santo precisa ser ajustada à variabilidade climática. Durante os períodos de La Niña, quando há excesso de chuvas, é necessário garantir que a água seja utilizada de forma sustentável, evitando desperdícios e promovendo a recuperação dos mananciais. Em contrapartida, durante os períodos de El Niño, que podem resultar em secas, a outorga deve ser flexível para priorizar o uso da água para consumo humano e outras necessidades essenciais, garantindo que a oferta de água seja suficiente mesmo em situações críticas. Esse equilíbrio entre o uso eficiente e a proteção dos recursos hídricos é essencial para evitar conflitos e garantir a resiliência dos sistemas hídricos estaduais.

A cobrança pelo uso da água também pode ser uma ferramenta estratégica nesse processo. Em períodos de seca, como no El Niño, a cobrança pode ser ajustada para incentivar o uso racional e evitar o desperdício. Isso se traduz em uma tarifa mais alta para os setores que consomem grandes quantidades de água, como a agricultura e a indústria, motivando-os a adotar tecnologias mais eficientes e menos dependentes da água. Já durante os períodos de excesso de chuvas, como no La Niña, a cobrança pode ser ajustada para refletir as necessidades de captação e armazenamento de água, incentivando a utilização de técnicas que garantam a preservação dos recursos hídricos em momentos de alta oferta.

O enquadramento de corpos de água também deve ser adaptado às mudanças nas condições climáticas. A avaliação constante da qualidade e quantidade da água nos rios do estado é fundamental para ajustar as diretrizes de uso e preservação. O Espírito Santo, com sua diversidade de bacias hidrográficas, exige um enquadramento dinâmico, que leve em consideração a variabilidade das chuvas e as mudanças nos padrões climáticos. A implementação de critérios de qualidade da água que contemplem as alterações causadas por fenômenos climáticos ajudaria na definição

de limites mais realistas para os usos urbanos, industriais e agrícolas, além de promover a recuperação de áreas degradadas e a proteção de mananciais.

O uso de sistemas de informações sobre recursos hídricos é outra ferramenta vital para a gestão eficiente dos recursos hídricos no estado. O Espírito Santo pode se beneficiar enormemente da integração de dados sobre o clima, a precipitação, as vazões e a previsão de eventos climáticos extremos. O uso de tecnologias avançadas de monitoramento remoto, como imagens de satélite e modelos climáticos preditivos, pode fornecer informações em tempo real, possibilitando a antecipação de situações de risco e permitindo uma resposta rápida e coordenada. A integração desses dados com as políticas públicas e os processos de planejamento urbano é fundamental para garantir a resiliência das cidades e das comunidades frente às inundações, além de otimizar o uso da água nos diferentes setores.

O conhecimento sobre os fenômenos El Niño e La Niña e sua relação com os recursos hídricos deve ser disseminado entre os tomadores de decisão, técnicos e a sociedade civil. Programas de capacitação para os gestores públicos, no sentido de prepará-los para responder rapidamente às mudanças nos padrões climáticos. Além disso, campanhas de conscientização e engajamento da população sobre a importância do uso racional da água e da prevenção de desastres podem contribuir para a adoção de práticas mais sustentáveis e resilientes.

Em síntese, a análise da influência dos fenômenos El Niño e La Niña nas inundações no Espírito Santo demonstra a necessidade urgente de integrar a gestão dos recursos hídricos com a previsão e o monitoramento climático. Os instrumentos de gestão de recursos hídricos, quando bem aplicados e ajustados às variações climáticas, podem ser decisivos para reduzir os impactos dessas inundações e promover uma gestão mais eficiente e sustentável da água no estado. A implementação de propostas inovadoras, como o monitoramento integrado, o desenvolvimento de sistemas de alerta precoces, o planejamento urbano adaptativo e a capacitação da população e dos gestores, é fundamental para garantir que os recursos hídricos do Espírito Santo sejam geridos de forma eficaz, frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

CONSIDERATIONS FOR SINGREH – SYNTHESIS

The Federal Law 9.433 of 1997, which establishes the National Water Resources Policy, created five essential tools for the proper management of water resources in Brazil: water resources plans, water use rights allocation, water usage charging, water body classification, and water resources information systems. These tools are crucial for ensuring the sustainable use of water and protecting its resources, especially in regions vulnerable to extreme climatic events, such as the state of Espírito Santo. This state, located in the southeastern region of Brazil, faces significant impacts from climatic phenomena like El Niño and La Niña, which indirectly influence the rainfall regime, river flow behavior, and consequently the risk of flooding. The El Niño phenomenon, characterized by the anomalous warming of the Pacific Ocean waters, and La Niña, which brings cooling of these waters, alter atmospheric dynamics, affecting both the quantity and distribution of rainfall.

This study highlights the relationship between global climate patterns and local natural events. The data collected on rainfall, river flows, and the effects of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) show that Espírito Santo is strongly affected by this meteorological event. La Niña, for example, tends to increase the magnitude and frequency of rainfall in Espírito Santo by displacing the SACZ north of its climatological position, causing floods due to the increased river flows. This phenomenon also influences neighboring areas, such as the regions of Minas Gerais and Rio de Janeiro, which contribute water to the main rivers in Espírito Santo. Such floods have severe consequences for the population, agriculture, and infrastructure, and understanding these climatic events offers an opportunity to implement more effective prevention strategies.

In this context, this study proposes tools applied to water resources management instruments and demonstrates that their application, as outlined in the Water Law, can be crucial for minimizing the damage caused by floods and improving the effectiveness of water management in Espírito Santo. First, water resources plans must take into account climate variability and the impacts of El Niño and La Niña phenomena, including analyses of future climate scenarios. This planning should incorporate detailed meteorological data and climate models that enable more proactive and efficient management, adjusting actions based on rainfall predictions and river flows. The integration of these data into state and regional plans is essential

for public policies to be prepared to handle extreme events such as floods caused by La Niña or prolonged droughts during El Niño episodes.

Additionally, the allocation of water use rights in Espírito Santo must be adjusted to climate variability. During La Niña periods, when there is excess rainfall, it is necessary to ensure that water is used sustainably, avoiding waste and promoting the recovery of water sources. Conversely, during El Niño periods, which may result in droughts, the allocation should be flexible to prioritize water use for human consumption and other essential needs, ensuring that water supply remains sufficient even in critical situations. This balance between efficient use and protection of water resources is essential to avoid conflicts and ensure the resilience of state water systems.

Water usage charging can also be a strategic tool in this process. During drought periods, such as during El Niño, charging can be adjusted to encourage rational use and prevent waste. This translates into a higher tariff for sectors that consume large amounts of water, such as agriculture and industry, motivating them to adopt more efficient and less water-dependent technologies. During periods of excessive rainfall, such as during La Niña, charging can be adjusted to reflect the need for water capture and storage, encouraging the use of techniques that ensure the preservation of water resources during times of high supply.

Water body classification should also be adapted to changes in climatic conditions. Constant evaluation of water quality and quantity in the state's rivers is crucial to adjusting usage and preservation guidelines. Espírito Santo, with its diverse river basins, requires a dynamic classification that considers rainfall variability and changes in climate patterns. The implementation of water quality criteria that account for the changes caused by climatic phenomena would help define more realistic limits for urban, industrial, and agricultural uses, as well as promote the recovery of degraded areas and the protection of water sources.

The use of water resources information systems is another vital tool for effective water management in the state. Espírito Santo can greatly benefit from the integration of climate, rainfall, flow, and extreme weather event prediction data. The use of advanced remote monitoring technologies, such as satellite imagery and predictive climate models, can provide real-time information, allowing for the anticipation of risk situations and enabling rapid and coordinated responses. Integrating these data with public policies and urban planning processes is essential to ensure the resilience of

cities and communities in the face of flooding, as well as optimize water use across different sectors.

Knowledge about El Niño and La Niña phenomena and their relationship with water resources should be disseminated among decision-makers, technicians, and civil society. Training programs for public managers should be developed to prepare them to respond quickly to changes in climate patterns. Furthermore, awareness campaigns and community engagement regarding the importance of rational water use and disaster prevention can contribute to the adoption of more sustainable and resilient practices.

In summary, the analysis of the influence of El Niño and La Niña phenomena on flooding in Espírito Santo demonstrates the urgent need to integrate water resources management with climate forecasting and monitoring. Water resources management tools, when properly applied and adjusted to climate variations, can be decisive in reducing the impacts of these floods and promoting more efficient and sustainable water management in the state. Implementing innovative proposals such as integrated monitoring, developing early warning systems, adaptive urban planning, and capacity building for the population and managers is essential to ensure that the water resources of Espírito Santo are managed effectively, in the face of challenges posed by climate change.

BIOGRAFIA

Gabriel Miller é Meteorologista graduado em Ciências Atmosféricas pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), onde concluiu sua formação em 2016. Possui MBA em Gestão Ambiental pelo Instituto Prominas (2021) e além disso, possui formação técnica em Eletrônica Industrial pelo Centro de Educação Profissional "Tancredo Neves" (2009).

Entre 2013 e 2016, foi bolsista de pesquisa no Instituto de Aeronáutica e Espaço, vinculado ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), onde contribuiu para projetos relacionados a estudos atmosféricos e climatologia.

Atualmente, Gabriel atua como Meteorologista na equipe de Estudos e Projetos Ambientais em uma empresa de consultoria ambiental, colaborando em projetos que integram dados meteorológicos, sustentabilidade ambiental e gestão de recursos naturais.

Com experiência consolidada na área de Geociências, seus principais interesses e linhas de atuação incluem modelos numéricos, qualidade do ar, recursos hídricos e mudanças climáticas. Sua trajetória acadêmica e profissional reflete uma sólida formação interdisciplinar e o compromisso com soluções sustentáveis para os desafios ambientais contemporâneos.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AGERH	Agência Estadual de Recursos Hídricos
AHP	Análise Hierárquica
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EN	El Niño
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ENSO	El Niño South Oscillation
ES	Espírito Santo
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia
g/kg	Grama por quilograma
hPa	Hectopascal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Pannel of Climate Change
J/m ²	Joule por metro quadrado
Km ²	Quilômetros quadrados
Lat	Latitude
LN	La Niña
Lon	Longitude
mm	Milímetros
M ³ /s	Metro cúbico por segundo
m/s	Metro por segundo
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OS	Oscilação Sul

P99	Percentil 99
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDO	Oscilação Decadal do Pacífico
Q	Vazão
SDP	Série de Duração Parcial
SEAMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SNIRH	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos
SIGERH	Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Espírito Santo
SMA	Série de Máximos Anuais
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WMO	World Meteorological Organization
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade
%	Porcento
°	Graus

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Processo de formação da ZCAS.	30
Figura 3.2 – Processo de formação de uma frente fria.....	31
Figura 3.3 – El Niño e suas teleconexões a nível global.	34
Figura 3.4 – La Niña e suas teleconexões a nível global.	37
Figura 3.5 – Posição Climatológica (média normal) e deslocada da ZCAS.....	38
Figura 4.1 – Bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo.	41
Figura 4.2 – Percentual de dados válidos de cada estação fluviométrica operadas pela ANA.	43
Figura 4.3 – Percentual de dados válidos de cada estação pluviométrica da ANA.....	47
Figura 5.1 – Ocorrência de enchente na cidade de Cariacica em dezembro de 2005.....	61
Figura 5.2 – Ocorrência de enchente na cidade de São Mateus em janeiro de 2007.....	63
Figura 5.3 – Ocorrência de enchente na cidade de Mimoso do Sul em dezembro de 2008.	64
Figura 5.4 – Ocorrência de enchente na cidade de São Mateus em novembro de 2008.....	65
Figura 5.5 – Ocorrência de enchente na cidade de Castelo em janeiro de 2009.....	66
Figura 5.6 – Ocorrência de enchente em Cachoeiro do Itapemirim – Distrito de São Vicente em janeiro de 2009.	67
Figura 5.7 – Ocorrência de enchente na cidade de Brejetuba em março de 2009.	68
Figura 5.8 – Ocorrência de enchente na cidade de Cachoeiro do Itapemirim em dezembro de 2010.....	69
Figura 5.9 – Ocorrência de enchente na cidade de Linhares em janeiro de 2011.	70
Figura 5.10 – Ocorrência de enchente na cidade de Santa Maria de Jetibá em janeiro de 2012.	71
Figura 5.11 – Ocorrência de enchente na cidade de São Domingos do Norte em dezembro de 2013.....	72
Figura 5.12 – Localização dos eventos de inundação.....	74
Figura 5.13 – Imagens de satélite e cartas sinóticas indicando os onze eventos de inundação.	76
Figura 5.14 – Velocidade vertical dos ventos (Omega) em 250 hPa.	77
Figura 5.15 – Divergência dos ventos em 850 hPa.	79
Figura 5.16 – Transporte de Umidade na atmosfera.	80
Figura 5.17 – Nebulosidade indicada pela Radiação de Onda Longa (J/m ²).....	82
Figura 5.18 – Precipitação Acumulada em superfície.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela.3.1 – Ocorrências de El Niño e La Niña entre os anos de 1988 e 2023.	32
Tabela 4.1 - Estações de Monitoramento fluviométrico utilizadas no estudo	44
Tabela 4.2 - Estações de Monitoramento Pluviométrico utilizadas no estudo.	48
Tabela 4.3 – Dados utilizados.....	50
Tabela 5.1 – Percentis 99 de vazão (m^3/s) nas estações fluviométricas da ANA.	57
Tabela 5.2 – Datas da ocorrência de inundações no estado do Espírito Santo.	59
Tabela.5.3 – Relação inundações e eventos meteorológicos por fase do ENOS.....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	26
	2.1 OBJETIVO GERAL	26
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3	REVISÃO DE LITERATURA	27
	3.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	28
	3.2 Sistemas Frontais.....	30
	3.3 El Niño e La Niña	32
	3.3.1 El Niño	33
	3.3.2 La Niña	35
	3.4 Eventos de inundações	39
4	METODOLOGIA	40
	4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	40
	4.2 DADOS	41
	4.3 DETERMINAÇÃO DOS EVENTOS DE INUNDAÇÕES	50
	4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS FENÔMENOS METEOROLÓGICOS ATUANTES	53
	4.5 RELAÇÃO DOS SISTEMAS ATMOSFERICOS E PROPOSIÇÃO DE ESTATÉGIAS	55
5	RESULTADOS	57
	5.1 ANÁLISE DE PERCENTIS E VAZÕES LÍMITROFES.....	57
	5.1.1 Evento 1 - Dezembro de 2005.....	61
	5.1.2 Evento 2 - Janeiro de 2007	62
	5.1.3 Evento 3 - Dezembro de 2008	63
	5.1.4 Evento 4 - Novembro de 2008	65
	5.1.5 Evento 5 – Janeiro de 2009	66
	5.1.6 Evento 6 – Janeiro de 2009	67
	5.1.7 Evento 7 – Março de 2009.....	68
	5.1.8 Evento 8 – Dezembro de 2010	69
	5.1.9 Evento 9 - Março de 2011.....	70
	5.1.10 Evento 10 - Janeiro de 2012.....	71
	5.1.11 Evento 11 - Dezembro de 2013	72
	5.2 SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES DURANTE AS INUNDAÇÕES	75

5.3	PAPEL DO EL NIÑO E DA LA NIÑA NA MODULAÇÃO DAS INUNDAÇÕES NO ES.....	85
5.4	PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E ADAPTAÇÃO AOS EVENTOS DE INUNDAÇÕES NO ESTADO DO ES	87
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
6.1	CONCLUSÕES	90
6.2	RECOMENDAÇÕES.....	91
7	AGRADECIMENTO	94
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de fenômenos climáticos como o El Niño e a La Niña tem sido amplamente estudada nos últimos anos devido aos seus relevantes impactos no clima global e regional. No Brasil, esses fenômenos têm um impacto significativo na ocorrência de inundações e secas em diferentes regiões do país.

Estudos indicam que durante o período do El Niño, há um aumento na frequência e intensidade de chuvas em diversas regiões do Brasil, especialmente na região sul. Esse aumento de chuvas pode levar a inundações e deslizamentos de terra, afetando diretamente a população dessas regiões (MARENGO, 2011). Por outro lado, durante o período da La Niña, há uma diminuição na frequência e intensidade de chuvas nesta mesma região, o que pode levar a estiagens e secas prolongadas, prejudicando a agricultura e afetando a economia (MARENGO, 2011). As condições opostas de chuva e seca podem ser observadas na região norte e nordeste do país durante a ocorrência de ambos os eventos.

Neste contexto, é fundamental estudar e planejar medidas de adaptação e prevenção para minimizar os impactos dos fenômenos de El Niño e La Niña no Brasil. Medidas como o planejamento urbano, por exemplo, podem ajudar a prevenir inundações em áreas vulneráveis e minimizar os danos causados por esses eventos extremos (COSTA et al., 2018). Sendo assim, investigou-se a conexão entre a manifestação dos referidos fenômenos e a incidência de inundações e períodos de seca no território brasileiro.

O estado do Espírito Santo (ES) é conhecido por ser uma região propensa a inundações, especialmente durante o período chuvoso e a população do estado sofre os impactos das inundações, incluindo danos materiais, perdas de vidas e impactos socioeconômicos

Diversas cidades no estado do Espírito Santo têm sofrido inundações frequentes e as consequências desses eventos extremos, o que evidencia a necessidade de desenvolver estratégias que garantam a segurança da população e a resiliência urbana diante desses eventos.

No estado do Espírito Santo, essa questão é ainda mais crítica, devido à sua localização geográfica, relevo acidentado e padrões climáticos intensos como, por exemplo, ondas de calor, frio intenso, secas prolongadas, tempestades severas ou inundações intensas.

Uma inundação é um fenômeno natural que ocorre quando um corpo d'água, como um rio, lago, córrego ou oceano, transborda de suas margens normais e inunda áreas adjacentes. (ANA, 2023).

As inundações podem ser causadas por vários fatores, como chuvas intensas e prolongadas, transbordamento de rios devido a represamento ou obstruções naturais ou artificiais, entre outros. Eventos climáticos extremos, como tempestades tropicais e furacões, também podem desencadear inundações graves.

As inundações e são agravados por fatores como o crescimento urbano desordenado e a falta de saneamento básico. Portanto, é necessário um comprometimento do poder público e da sociedade civil para promover uma gestão urbana mais eficiente, visando minimizar os impactos desses eventos extremos (COSTA et. al, 2018; SILVA, 2015).

No Brasil, a precipitação é o principal fator que desencadeia o aumento do volume de água nos rios e córregos, o que pode levar à inundação de áreas urbanas e rurais (SEAMA, 2006). Além disso, outros processos como a evapotranspiração, infiltração, armazenamento e escoamento também influenciam na disponibilidade de água e na probabilidade de inundações. Um exemplo disso é o estudo realizado por Marques et al. (2018), que avaliou a relação entre a precipitação e os processos hidrológicos em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, evidenciando a importância de se compreender a relação entre esses fenômenos para prevenir inundações e desastres naturais.

Já Pontini e Coelho (2022) avaliariam aspectos físico-sociais das inundações e enxurradas na sub-bacia de drenagem do rio Iconha, estado do Espírito Santo, e embora não seja o objetivo do estudo, também identificaram o alto impacto na vazão fluvial especialmente em episódios de intensa precipitação. Santos e Silva (2022) realizaram uma análise ambiental dos fatores de risco de inundação no Rio Marinho, na Grande Vitória, e discutiram como o assoreamento da calha fluvial, presença de lixo e vegetação, entre outros fatores, contribuem para o aumento do risco de inundações na região, particularmente devido à interação com as marés e a precipitação.

Ainda, Coelho (2024) avaliou a utilização do método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundações urbanas após eventos de chuva concentrada, no qual o autor explora como o AHP pode ser utilizado para analisar as causas e impactos de inundações urbanas causadas por chuvas intensas. Ele foca em áreas urbanas

vulneráveis, utilizando modelos e dados para avaliar os fatores de risco associados principalmente a precipitação.

Neste sentido, faz-se necessário estudar a influência dos processos hidrológicos que levam às inundações no ES, uma vez que seu conhecimento pode fornecer informações antecipadas sobre a sua ocorrência. Segundo Sutili et al. (2018), o conhecimento dos processos hidrológicos é essencial para a identificação das áreas mais vulneráveis e para o desenvolvimento de medidas de prevenção e mitigação de inundações, pois são responsáveis pela regulação do fluxo de água em bacias hidrográficas.

Para tal, é necessário entender quais os fenômenos meteorológicos que regem o regime de precipitação no estado do Espírito Santo, identificar os fatores que predominam em sua frequência e intensidade, e analisar como os fenômenos El Niño e La Niña afetam sistemas como a ZCAS e frentes frias, modulando assim os eventos de inundação.

Bragança (2024) examinou séries históricas de precipitação e vazão coletadas entre 1940 e 2018, abrangendo estações de monitoramento no Espírito Santo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia e Ceará. O autor comparou as médias desses dados com os registros do período de crise hídrica no Espírito Santo (2014-2016), discutindo os impactos dos fenômenos El Niño e La Niña. Os resultados mostraram uma diminuição das médias de precipitação em estações pluviométricas do ES durante anos de forte El Niño, enquanto em períodos de forte La Niña, houve um aumento nos índices de precipitação e vazão. Ao analisar o período crítico de 2014-2016, observou-se que a intensidade do El Niño esteve associada aos eventos de seca no estado, com uma redução significativa nas médias de precipitação durante os anos mais intensos do fenômeno.

Além disso, Kayano et. al (2024) discutiram como os fenômenos El Niño e La Niña afetam a precipitação na região nordeste do Brasil. Embora não se concentre exclusivamente no Espírito Santo, esse estudo analisa como os fenômenos El Niño e La Niña interagem com o Atlântico Equatorial, impactando as condições climáticas no ES. Os autores analisaram como os padrões de temperatura da superfície do mar (TSM) e a Oscilação Sul (OS) influenciam as anomalias de precipitação e encontraram que durante um evento El Niño, o gradiente entre os oceanos Pacífico e Atlântico é alterado, resultando em mudanças significativas na distribuição das chuvas, ocasionando em períodos de seca em regiões do Sudeste, como o ES.

Para avaliar a influência dos sistemas atmosféricos sobre o regime de precipitação no estado do Espírito Santo, Arpini (2023) elaborou um mapa pluvioclimático regionalizado, dividindo o estado em seis regiões e selecionando três postos pluviométricos para cada uma. A autora comparou os acumulados e as médias mensais de precipitação durante os períodos de ocorrência da ZCAS, frentes frias e os eventos de El Niño e La Niña. Os resultados indicaram que a ZCAS tem uma predominância no padrão de chuvas do estado, e que, no caso do Espírito Santo, os fenômenos de La Niña tiveram uma influência mais significativa nos volumes e na intensidade das chuvas.

Por outro lado, Deina e Coelho (2016) investigaram a relação entre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os eventos de inundação no Baixo Jucu, em Vila Velha (ES). Utilizando dados de precipitação e de vazão do Rio Jucu e informações históricas sobre a ZCAS extraídas do Boletim Climanálise, os autores demonstraram que as maiores vazões observadas no período de estudo ocorreram durante a atuação da ZCAS.

Apesar dos estudos apresentados sobre a influência dos sistemas atmosféricos, sobre as precipitações no Espírito Santo, nenhum deles abordou especificamente a relação entre os fenômenos El Niño (EN) e La Niña (LN) e as inundações no estado. Esta lacuna na literatura é significativa, pois, dada a frequente ocorrência desses fenômenos e sua associação com variações climáticas intensas, é importante compreender como eles afetam os eventos de inundação localmente. A ausência de estudos específicos sobre EN e LN e sua relação com as inundações no contexto do Espírito Santo torna a investigação desse tema ainda mais relevante, uma vez que os impactos de tais fenômenos podem variar dependendo da região e das particularidades climáticas locais.

A compreensão dessa relação entre os fenômenos El Niño e La Niña e a modulação da intensidade das chuvas no ES e nas bacias contribuintes para os rios do estado é de extrema importância para o monitoramento e a previsão de inundações. A previsão destes fenômenos, a partir do entendimento da influência de fenômenos meteorológicos conhecidos como o El Niño e a La Niña, pode fornecer informações valiosas sobre a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas associadas aos eventos meteorológicos precursores das chuvas, permitindo que as autoridades e a população adotem medidas preventivas e de resposta, como o

monitoramento de áreas de risco, o planejamento de sistemas de drenagem e a implementação de estratégias de gestão de inundações.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o impacto e a influência dos fenômenos El Niño e La Niña na ocorrência de inundações no estado do Espírito.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar como os ciclos de El Niño e La Niña afetam a probabilidade de ocorrência de inundações no Espírito Santo.

Demonstrar quais sistemas sinóticos atuantes no Espírito Santo se associam ao El Niño e La Niña para afetar a ocorrência de inundações no estado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O estado do Espírito Santo, como muitas outras regiões, é vulnerável a eventos climáticos extremos, como inundações, que podem causar danos significativos às comunidades, infraestruturas e ecossistemas locais. As inundações são um problema recorrente em diversas partes do estado, causando deslocamento de pessoas, danos materiais e até perda de vidas.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a média anual de precipitação varia de 800 a 2200 mm, com as maiores médias registradas nas regiões serranas e as menores nas áreas costeiras. A estação chuvosa ocorre predominantemente nos meses de verão, de dezembro a março, e a estação seca nos meses de inverno, de junho a setembro (INMET, 2021a).

O estado está localizado na região Sudeste do Brasil e apresenta um padrão de precipitação influenciado principalmente pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e pelo sistema de brisa marítima (Vera et al., 2017). A ZCAS é responsável por grande parte da precipitação no estado, principalmente na região centro-norte, durante os meses de verão (INMET, 2021b).

A distribuição da precipitação no estado do Espírito Santo, assim como em boa parte da América do Sul, não é regular tanto no tempo quanto no espaço (REBOITA et al., 2012). Eventos de precipitação no Espírito Santo são comumente causados por duas importantes perturbações atmosféricas: a incursão de sistemas frontais (SILVA et al., 2014) e a formação da ZCAS (ABREU, 1998). Contudo, não é possível afirmar que os eventos extremos de precipitação sejam provenientes apenas destes dois sistemas (EASTERLING et al., 2000).

O estado do Espírito Santo é uma região que está inserida em uma região de clima de monção, que se caracteriza por possuir um regime pluviométrico no qual durante o verão, a região é influenciada pela ZCAS, que pode provocar chuvas intensas e prolongadas em algumas áreas do estado (FUNCEME, 2023); contudo, durante o inverno, a região pode sofrer com períodos prolongados de seca devido à falta de chuvas (IEMA, 2020). Com base na análise dos processos de decretação de situações anormais pelos municípios do estado no período entre 2013 e 2023, a Defesa Civil Estadual concluiu que o território capixaba tem sido acometido por eventos críticos decorrentes tanto do excesso de precipitação hídrica quanto da escassez hídrica (PEPDEC, 2023).

Em relação aos eventos de chuva, o Espírito Santo tem registrado um aumento na frequência e intensidade de chuvas intensas nos últimos anos, o que tem provocado inundações e deslizamentos de terra em algumas áreas do estado. Em 2020, por exemplo, o estado registrou o maior volume de chuvas em 24 horas em 100 anos, o que provocou alagamentos em várias cidades (G1, 2020)², principalmente no sul do estado. Além disso, em 2021, algumas cidades do estado foram atingidas por fortes chuvas que deixaram desalojados e desabrigados (G1, 2021)³.

Com base na discussão sobre os dois principais sistemas responsáveis pelas chuvas no Espírito Santo, os itens a seguir se propõem a apresentar análise detalhada de ambos. Os sistemas em questão desempenham papéis cruciais no regime de precipitação da região, influenciando diretamente o clima e a ecologia locais. Ao examinar de perto cada um desses sistemas, será possível compreender melhor suas características, padrões de ocorrência e impactos sobre o ambiente, fornecendo assim uma visão mais abrangente da dinâmica das chuvas no Estado.

3.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um fenômeno meteorológico que ocorre no Brasil durante o verão, especialmente na região sudeste e centro-oeste, causando chuvas intensas e prolongadas que muitas vezes levam a enchentes e deslizamentos de terra. A ZCAS é um sistema de baixa pressão atmosférica que se forma no Oceano Atlântico Sul, próximo à costa brasileira, e que se move para o interior do continente. Quando a ZCAS está ativa, ela traz umidade da Amazônia e do Oceano Atlântico para o interior do país, causando chuvas intensas e prolongadas em uma área que se estende desde o Mato Grosso até o Espírito Santo.

Segundo Marengo et al. (2009), a ZCAS é responsável por grande parte das chuvas de verão em áreas como o sudeste e o centro-oeste do Brasil, além de países vizinhos como o Paraguai e o Uruguai. O estudo também aponta que a ZCAS tem um padrão de ocorrência interanual, ou seja, pode ser influenciada por eventos climáticos como El Niño e La Niña. Segundo Araújo et al. (2019), a ZCAS pode ser influenciada pelo gradiente de temperatura entre as águas do Atlântico Sul e as águas quentes do

2 <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/12/17/chuva-no-espírito-santo-veja-as-cidades-que-mais-registraram-volume-de-agua-em-24-horas.ghtml>

3 <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2021/10/12/chuva-forte-deixa-desabrigados-e-desalojados-no-es.ghtml>

norte do Oceano Atlântico, além da temperatura da superfície do mar no Pacífico Equatorial.

A conexão entre os fenômenos de El Niño e La Niña e a ocorrência da ZCAS mostra a importância de monitorar as condições climáticas que afetam o ES para entender e prever eventos extremos de chuva e minimizar seus impactos na sociedade. O aumento da temperatura da superfície do mar no Atlântico Sul é um dos principais fatores que contribuem para a formação da ZCAS e é exatamente esse aquecimento que pode ser influenciado por outros fenômenos climáticos, como o El Niño e a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), que podem aumentar ou diminuir a probabilidade de ocorrência da ZCAS em um determinado ano (BARRETO, 2009).

Importante salientar que este fenômeno ocorre nos meses de verão austral (dezembro a março), uma vez que devido à inclinação do globo terrestre no período a região de maior aquecimento diferencial, em condições normais no equador, se desloca para sul, fazendo com que a Zona de Convergência Inter Tropical também se desloque, trazendo ventos mais intensos e muita umidade e nebulosidade para o norte da América do Sul. Esta configuração, somada à direção dos ventos de leste-oeste, faz com que essa nebulosidade e umidade sejam carregadas para oeste, encontrando nos Andes um obstáculo a transpor. Em decorrência da presença deste obstáculo, os ventos são desviados para o interior do Brasil, carregando a umidade e ocasionando em períodos de ZCAS (QUADRO, et al., 2012).

Nesse contexto, a Alta da Bolívia (AB), um sistema anticiclônico em altos níveis da atmosfera que se forma sobre a América do Sul durante o verão, desempenha um papel importante ao manter a circulação de ventos que ajudam a organizar a umidade na região central do Brasil. Além disso, o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), no Nordeste brasileiro, também influencia a dinâmica atmosférica, favorecendo a sustentação da convecção em áreas ao sul de sua posição. Por outro lado, a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), um sistema de alta pressão localizado no Atlântico, contribui para direcionar o fluxo de ar úmido para o interior, reforçando o mecanismo de formação da ZCAS. Uma imagem explicativa é mostrada na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Processo de formação da ZCAS.



Fonte: Núcleo Geoambiental Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Disponível em:
<https://www.nugeo.uema.br/?p=45738>

Os impactos da chuva causada pela ZCAS podem ser graves, especialmente em áreas urbanas com pouca infraestrutura e em regiões com relevo acidentado. As chuvas intensas e prolongadas podem causar inundações e deslizamentos de terra, colocando em risco a vida de pessoas e animais, além de causar danos materiais significativos. Para prevenir ou minimizar os impactos da ZCAS, é necessário investir em medidas de prevenção de desastres naturais, como a construção de sistemas de drenagem e de contenção de encostas, além de políticas de ordenamento territorial que evitem a ocupação de áreas de risco (HORTA, 2014).

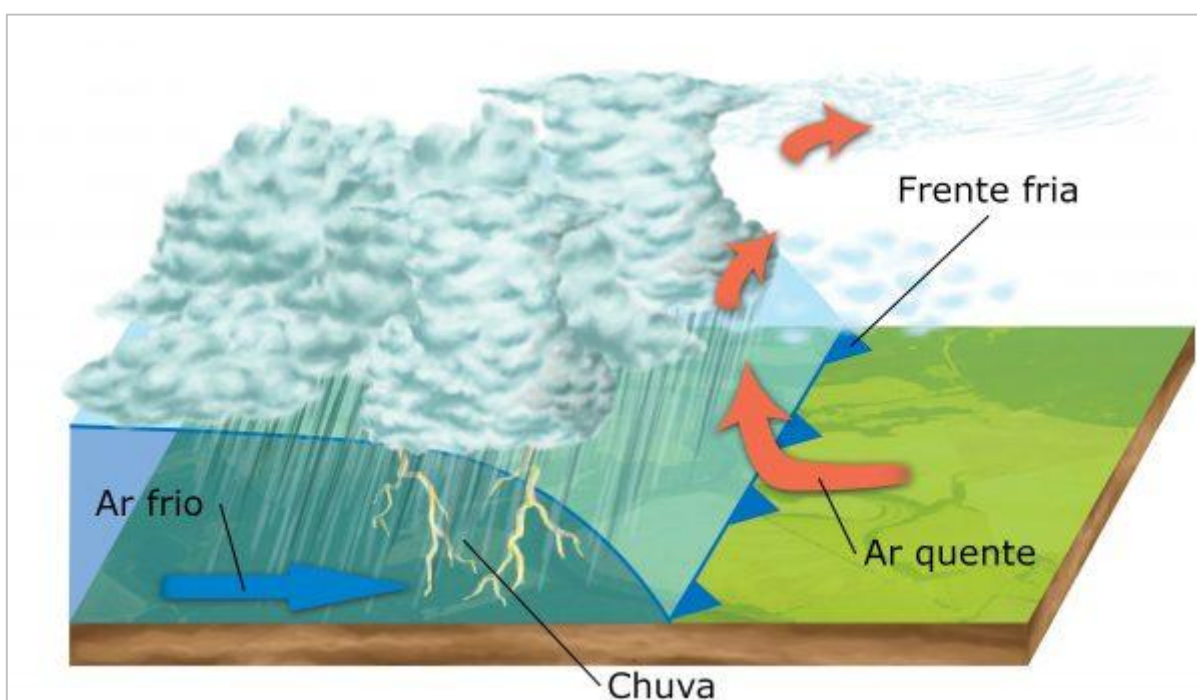
3.2 Sistemas Frontais

Os sistemas frontais, em particular as frentes frias, são fenômenos meteorológicos caracterizados pela interação entre massas de ar de diferentes características, resultando em mudanças significativas nas condições climáticas de uma determinada região. Segundo Marengo et al. (2009), as frentes frias são provocadas pela interação entre uma massa de ar quente e uma massa de ar frio, geralmente associadas a um deslocamento da primeira sobre a segunda. Durante esse processo, ocorrem variações na temperatura, na umidade e na pressão

atmosférica, originando condições climáticas distintas antes e depois da passagem da frente fria.

A formação das frentes frias está intimamente ligada aos processos de circulação atmosférica e à dinâmica das massas de ar. Reboita et al. (2007) explicam que, normalmente, as frentes frias se formam quando uma massa de ar frio, de origem polar ou continental, avança sobre uma massa de ar quente, mais úmida, deslocando-a e causando o resfriamento da superfície. Durante esse deslocamento, ocorre o contato entre as duas massas de ar, gerando instabilidades atmosféricas e provocando a formação de nuvens do tipo cumulonimbus, associadas a chuvas intensas e a outros fenômenos meteorológicos, como ventos fortes e trovoadas (Figura 3.2).

Figura 3.2 – Processo de formação de uma frente fria.



Fonte: Ribeiro (2024). Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/chuva-frontal/>

No estado do Espírito Santo, as frentes frias exercem um papel importante na determinação do clima regional. De acordo com Nobre e Marengo (2010), durante a passagem de frentes frias sobre a região sudeste do Brasil, observa-se uma queda significativa nas temperaturas e um aumento na ocorrência de precipitação. Essas condições climáticas podem persistir por alguns dias, até que a massa de ar frio se

desloque completamente da região, permitindo a gradativa retomada das condições climáticas anteriores.

É fundamental destacar que os efeitos das frentes frias no Espírito Santo podem variar de acordo com fatores locais, como relevo, cobertura vegetal e proximidade com o oceano. Oyama et al. (2005) apontam que a influência do oceano Atlântico pode modular a intensidade e a duração dos eventos associados às frentes frias, especialmente nas áreas litorâneas. Além disso, o relevo montanhoso presente em algumas regiões do estado pode intensificar a ocorrência de chuvas orográficas durante a passagem das frentes frias, contribuindo para a variabilidade climática local.

Devido ao fato de tanto os sistemas frontais quanto as ZCAS serem sistemas meteorológicos de escala sinótica, ambos estão associados a um padrão de circulação atmosférica que é influenciado por diversos fatores, dentre eles, os fenômenos climáticos conhecidos como El Niño e La Niña, abordados a seguir.

3.3 El Niño e La Niña

O El Niño e a La Niña são padrões climáticos que ocorrem de forma cíclica no Oceano Pacífico e influenciam no tempo e no clima no Brasil.

São apresentadas na Tabela 3.1 as últimas ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña de acordo com o CPTEC (CPTEC, 2023)

Tabela.3.1 – Ocorrências de El Niño e La Niña entre os anos de 1988 e 2023.

La Niña	El Niño
1988-1989	1991-1992
1998-1999	1992-1993
1999-2000	1997-1998
2007-2008	2002-2003
2010-2012	2006-2007
2017-2018	2009-2010
2021-2023	2015-2016
	2019-2020

Fonte: CPTEC (2023).

3.3.1 El Niño

O El Niño-Southern Oscillation (ENSO), El Niño-Oscilação Sul ou simplesmente El Niño, é um fenômeno climático que ocorre no Oceano Pacífico tropical, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais do mar. Esse aquecimento afeta a atmosfera, influenciando os padrões de vento e as chuvas em várias partes do mundo. Durante um evento de El Niño, áreas que normalmente são úmidas podem sofrer com a falta de chuvas, enquanto outras áreas experimentam chuvas excessivas e inundações.

O fenômeno ocorre em uma frequência temporal indefinida; contudo, estudos mostraram que o evento pode acontecer comumente em intervalos de dois a sete anos e ter uma duração de alguns meses até mais de um ano (PEIXOTO; OORT, 1982). Seus efeitos podem ser sentidos em todo o mundo, afetando a produção agrícola, a pesca, a navegação, a economia e a saúde pública. Alguns dos efeitos mais notáveis do El Niño a nível global incluem:

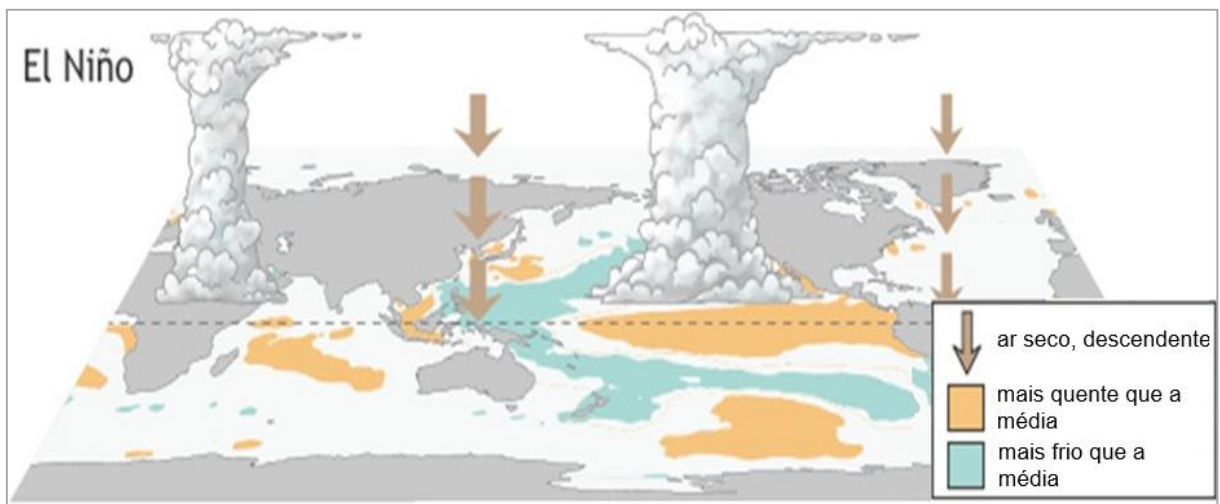
- Secas em áreas que normalmente são úmidas, como a Austrália e o Sudeste Asiático (MIDDLETON et al, 2007);
- Chuvas excessivas e inundações em áreas que normalmente são secas, como a costa oeste da América do Sul e da América Central (BRAVO-CABRERA, et. al, 2017);
- Tempestades tropicais mais frequentes no Pacífico Oriental (CHUEASA et al, 2024);
- Mudanças na temperatura e nos padrões de vento que afetam a pesca em várias partes do mundo (GODINEZ-DOMINGUES, et. al., 2000).

As teleconexões associadas ao El Niño na América do Sul (Figura 3.3) incluem alterações na circulação atmosférica, padrões de precipitação e eventos climáticos extremos. Essas mudanças podem resultar em períodos de chuvas intensas em algumas áreas, como o sul do Brasil, e secas em outras, como na região nordeste (Reboita et al., 2011). Além disso, o El Niño está associado a eventos extremos, como enchentes, deslizamentos de terra e em outras áreas, secas, afetando diretamente a vida e a economia das populações sul-americanas (Grimm et al., 2000). Essas teleconexões têm implicações significativas para setores como agricultura, recursos hídricos e saúde pública, destacando a importância de se compreender e monitorar

esse fenômeno para o planejamento e a mitigação de seus impactos (Nobre et al., 2016).

Durante o El Niño, o aumento na intensidade e frequência das chuvas no Brasil é comumente observada na região Sul e sul do Sudeste, especialmente durante o verão (GRIMM et al., 1998; MARENGO et al., 2011). Isso ocorre porque as águas mais quentes no Oceano Pacífico equatorial podem alterar o padrão de ventos na região, favorecendo a formação de nuvens e precipitação, o que pode aumentar a atividade da ZCAS.

Figura 3.3 – El Niño e suas teleconexões a nível global.



Fonte: NOAA Climate (2023).

A ocorrência de eventos extremos de secas e estiagens é um fenômeno cada vez mais comum em várias partes do mundo. No Brasil, a região Nordeste é uma das mais afetadas pela seca, principalmente durante o período de chuvas reduzidas, entre os meses de junho e dezembro. A região também é influenciada de modo direto pelo fenômeno El Niño, que pode aumentar a frequência e intensidade de eventos extremos de seca na região (MARENGO et al., 2018).

A região sudeste também pode ser afetada por eventos extremos de seca e estiagem, como o estado de São Paulo, que enfrentou uma grave crise hídrica entre os anos de 2014 e 2016. A crise foi resultado de uma combinação de fatores, incluindo a falta de chuvas causada pela ausência da ZCAS no verão, o desmatamento e a poluição dos rios (SÃO PAULO, 2016).

No Espírito Santo, os períodos de estiagem e seca também podem ser modulados pelo fenômeno El Niño. Esse evento pode diminuir a frequência de

ocorrência da ZCAS e levar a grandes períodos de seca em regiões que normalmente são úmidas durante sua presença (PARMEZANI, 1998).

O El Niño exerce influência significativa nas frentes frias que afetam o Brasil. Durante eventos El Niño, ocorre uma elevação da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial, o que altera padrões atmosféricos globais, incluindo a posição e intensidade das correntes de jato e sistemas de alta e baixa pressão. Isso pode resultar em mudanças na trajetória e na intensidade das frentes frias que alcançam o Brasil. Estudos como o de Marengo et al. (2008) destacam que durante os episódios de El Niño, as frentes frias tendem a ser menos frequentes e menos intensas sobre o sul e sudeste do Brasil, resultando em períodos mais quentes e secos nessas regiões. Esta última, pode ser considerada uma zona de transição no que diz respeito aos fenômenos associados ao ENOS de modo geral. Isso ocorre devido à variação das anomalias climáticas, que podem se deslocar tanto para o norte quanto para o sul de um evento para outro, resultando em mudanças no comportamento climático da região de acordo com os eventos anteriores (GRIMM; FERRAZ, 1998). Essa característica faz com que a influência do ENOS no Sudeste seja menos consistente em comparação a outras regiões do país, como o Nordeste e o Sul, onde os impactos são mais bem definidos (DUARTE; RIBEIRO, 2023).

Além disso, durante os episódios de El Niño, há uma mudança na circulação atmosférica sobre a região tropical do Pacífico, que por sua vez influencia a posição e intensidade da ZCAS sobre o Brasil. Estudos como o de Marengo et al. (2009) indicam que, durante o El Niño, a ZCAS tende a se intensificar e se prolongar sobre o centro-sul do Brasil, resultando em períodos prolongados de chuvas intensas e persistentes nessas regiões. Por outro lado, áreas do nordeste brasileiro podem experimentar condições de seca devido às alterações na circulação atmosférica associadas ao El Niño.

3.3.2 La Niña

A La Niña é um fenômeno climático oposto ao El Niño, sendo caracterizado pelo resfriamento anômalo das águas do Pacífico Equatorial. Esse resfriamento tem impactos significativos no clima global, afetando as condições de tempo e clima em diferentes partes do mundo.

Algumas das principais causas da La Niña incluem a interação entre o oceano e a atmosfera. Algumas das principais características climáticas à nível global associado à La Niña incluem:

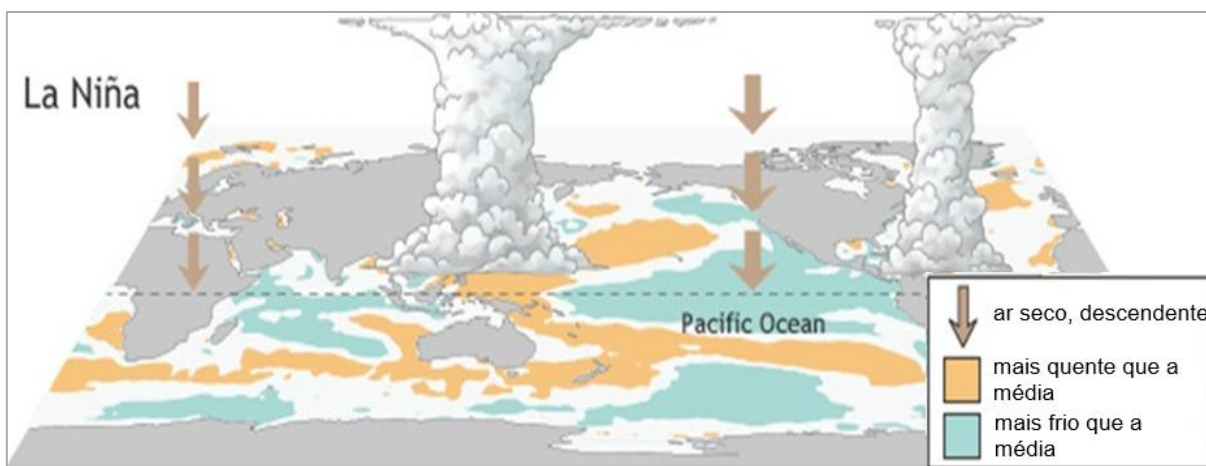
- Aumento das chuvas no Oceano Índico ocidental e sudeste da Ásia (JOSHI, et al, 2020; RAJ, et al, 2021; VERMA; BHATLA, 2021);
- Aumento de chuvas em partes do Brasil, principalmente no norte e nordeste do Brasil (ANDREOLI; KAYANO, 2006; SOUZA, et. al, 2000);
- Aumento das tempestades tropicais no Pacífico ocidental (SMITH, 2000);
- Invernos mais frios na América do Norte (ZHANG, et. al, 2023).

Além disso, como impacto indireto, a La Niña também pode afetar a produção de alimentos em diferentes partes do mundo, especialmente na Ásia e na América Latina, onde a agricultura é uma atividade econômica importante (MARENGO et al., 2011).

As La Niñas também possuem uma frequência de ocorrência indefinida (PEIXOTO; OORT, 1982), que geralmente duram de 9 a 12 meses, embora em alguns casos, podem durar mais de um ano. O fenômeno ocorre, em média, em intervalos de 3 a 5 anos, ainda que este intervalo entre os eventos possa variar significativamente.

A La Niña apresenta teleconexões significativas com a América do Sul, conforme ilustrado pela Figura 3.4. Essas teleconexões referem-se a padrões climáticos associados que se manifestam em diferentes regiões da América do Sul. Durante esse fenômeno, é comum observar uma diminuição da frequência e intensidade de chuvas em partes do sul do Brasil, Paraguai, norte da Argentina e Uruguai, enquanto que áreas como o nordeste do Brasil podem experimentar um período prolongado de chuvas. Essas teleconexões também modulam a frequência e intensidade de ocorrência das ZCAS.

Figura 3.4 – La Niña e suas teleconexões a nível global.

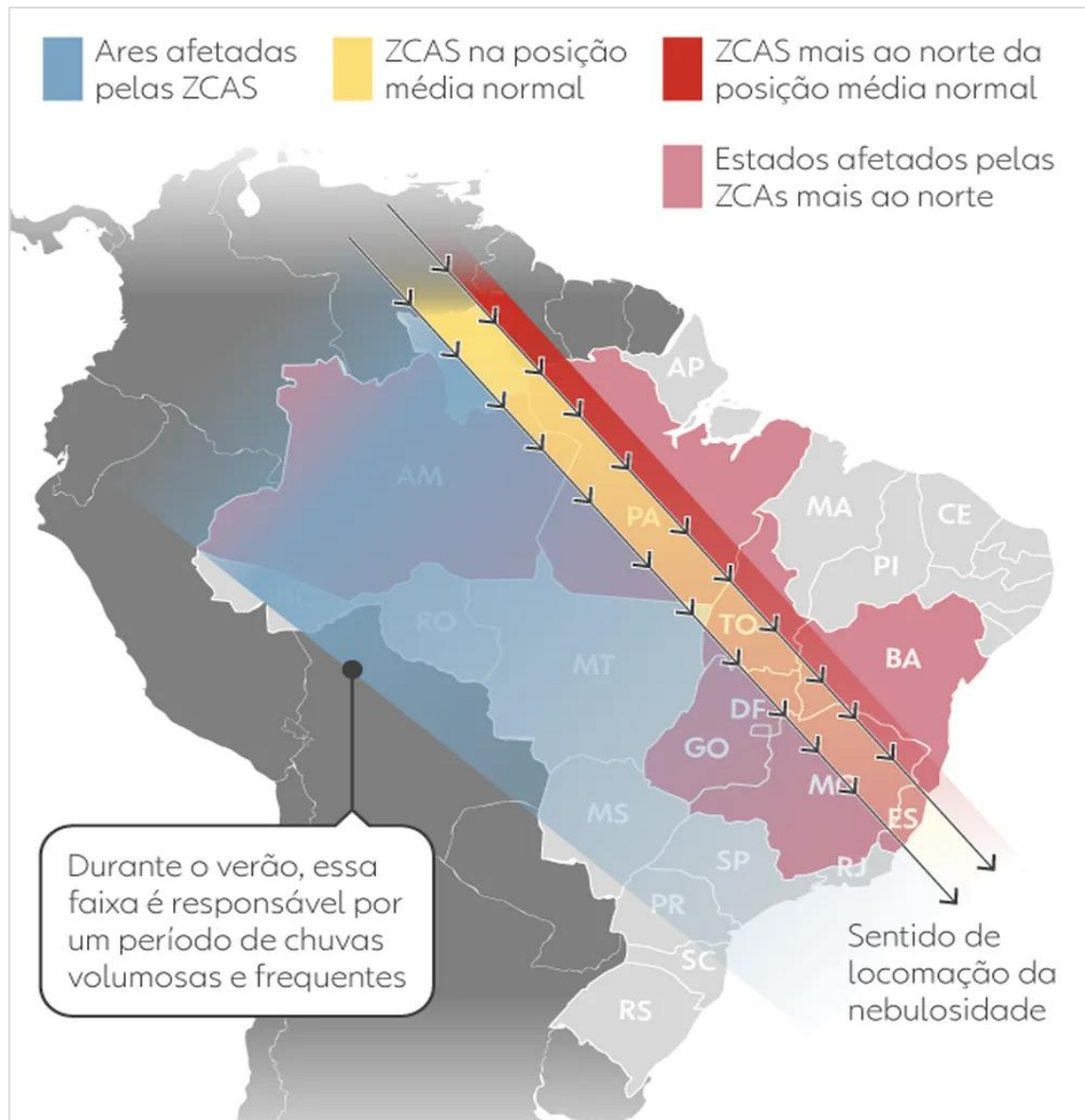


Fonte: NOAA Climate (2023).

As águas mais frias no Oceano Pacífico equatorial durante a La Niña podem intensificar a atividade da ZCAS, levando a um aumento na formação de nuvens e precipitação nas regiões abrangidas pelo fenômeno. No caso da ZCAS, o La Niña exerce influência significativa na modulação de sua intensidade. Estudos têm demonstrado que durante os episódios de La Niña, ocorre um fortalecimento e maior frequência da ZCAS, resultando em chuvas mais intensas e persistentes em grande parte da região central do Brasil. Segundo Rocha et al. (2017), durante o La Niña, há um aumento da convergência de umidade vinda do Oceano Atlântico para o continente, causada pela diferença de temperatura entre o Pacífico e o Atlântico, ocasionado pelo gradiente de temperatura gerado pelo resfriamento das águas do pacífico equatorial. Isto facilita a formação de nuvens convectivas associadas a chuvas intensas (NOBRE et al., 2016).

Além da intensificação da ZCAS, a ocorrência da La Niña causa, através de uma teleconexão, um padrão de deslocamento do sistema de sua posição climatológica. A La Niña influencia a posição e intensidade do Jato Subtropical, deslocando-o para o norte e se posicionando-o sobre a ZCAS, o que aumenta a disponibilidade de umidade e a instabilidade atmosférica, favorecendo a ocorrência de chuvas mais intensas (MARENGO et al., 2012). Nestas condições, a ZCAS se posiciona sobre o estado do Espírito Santo e sul do nordeste brasileiro, conforme Figura 3.5.

Figura 3.5 – Posição Climatológica (média normal) e deslocada da ZCAS.



Fonte: G1 (2022). Disponível em: <<https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2022/12/13/vai-ter-chuva-tempo-instavel-frente-fria-avanca-pelo-sudeste.ghtml>>

Em contraposição às secas causadas no Sul do Brasil, estudos como o de Marengo et al. (2008) indicam que durante a La Niña, as frentes frias tendem a ser mais frequentes e intensas sobre o sul e sudeste do Brasil, resultando em períodos mais frios e relativamente chuvosos nessas regiões.

O entendimento da relação entre os fenômenos climáticos El Niño e La Niña e a ocorrência de inundações é de suma importância para a tomada de decisões embasadas e a implementação de medidas preventivas e mitigatórias.

3.4 Eventos de inundações

Em muitas partes do mundo, eventos extremos de chuva e inundações podem causar impactos significativos na sociedade, incluindo perdas humanas, danos materiais, interrupções nos transportes e serviços públicos, além de desencadear deslizamentos de terra e erosão (UNDRR, 2021). A ocorrência desses eventos está associada a uma série de fatores, incluindo mudanças climáticas, urbanização, uso do solo e falta de infraestrutura de drenagem (FERNÁNDEZ et al., 2019).

O monitoramento e a previsão de eventos extremos de chuva e inundações são essenciais para reduzir seus impactos na sociedade. A ciência do clima tem avançado no desenvolvimento de modelos de previsão meteorológica e hidrológica de curto e longo prazo, além de sistemas de alerta precoce e planos de contingência para comunidades vulneráveis (WMO, 2015; IPCC, 2018).

As inundações no estado do Espírito Santo são eventos recorrentes e podem ser causadas por uma combinação de fatores meteorológicos, geológicos e de planejamento urbano. Além das chuvas intensas, fatores geológicos também desempenham um papel importante na ocorrência de inundações no estado. A geologia da região, caracterizada por solos pouco permeáveis e relevo montanhoso, contribui para o rápido escoamento das águas superficiais para os corpos d'água, aumentando o risco de enchentes e inundações, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas e próximas a cursos d'água (SILVA et al., 2013).

Outro fator que pode influenciar a ocorrência de inundações no estado é o planejamento urbano inadequado. O crescimento desordenado das cidades, com ocupação de áreas de risco, impermeabilização do solo e obstrução de canais naturais de drenagem, pode agravar os impactos das chuvas intensas, aumentando a vulnerabilidade das populações locais às inundações (SOARES, 2017). A capacidade insuficiente dos sistemas de drenagem existentes para dar vazão ao volume de água gerado pelas chuvas intensas pode resultar em alagamentos em áreas urbanas, especialmente em períodos de grande intensidade pluviométrica (SILVA et al., 2013).

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado do Espírito Santo está localizado na Região Sudeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas 17° 52' 22" S a 21° 10' 21" S de latitude e 39° 41' 47" W a 41° 52' 38" W de longitude (GEOCITIES, 2023). Faz divisa com os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia, além de ser banhado pelo Oceano Atlântico.

Geograficamente, o Espírito Santo (Figura 4.1) possui uma área de aproximadamente 46.095 km², apresentando diversidade de paisagens e relevos. Grande parte do estado é composta por planaltos e serras, como a Serra do Mar e a Serra do Caparaó, que abriga o Pico da Bandeira, o terceiro ponto mais alto do Brasil. A faixa litorânea é composta por planícies costeiras, manguezais e praias.

A hidrologia do estado do Espírito Santo é marcada por uma extensa rede de rios, bacias hidrográficas e recursos hídricos diversificados. O possui uma topografia variada, com serras, planaltos e planícies costeiras. A maior bacia hidrográfica que contribui com águas para o Espírito Santo é a do rio Doce, que apresenta 86% de sua área no estado de Minas Gerais

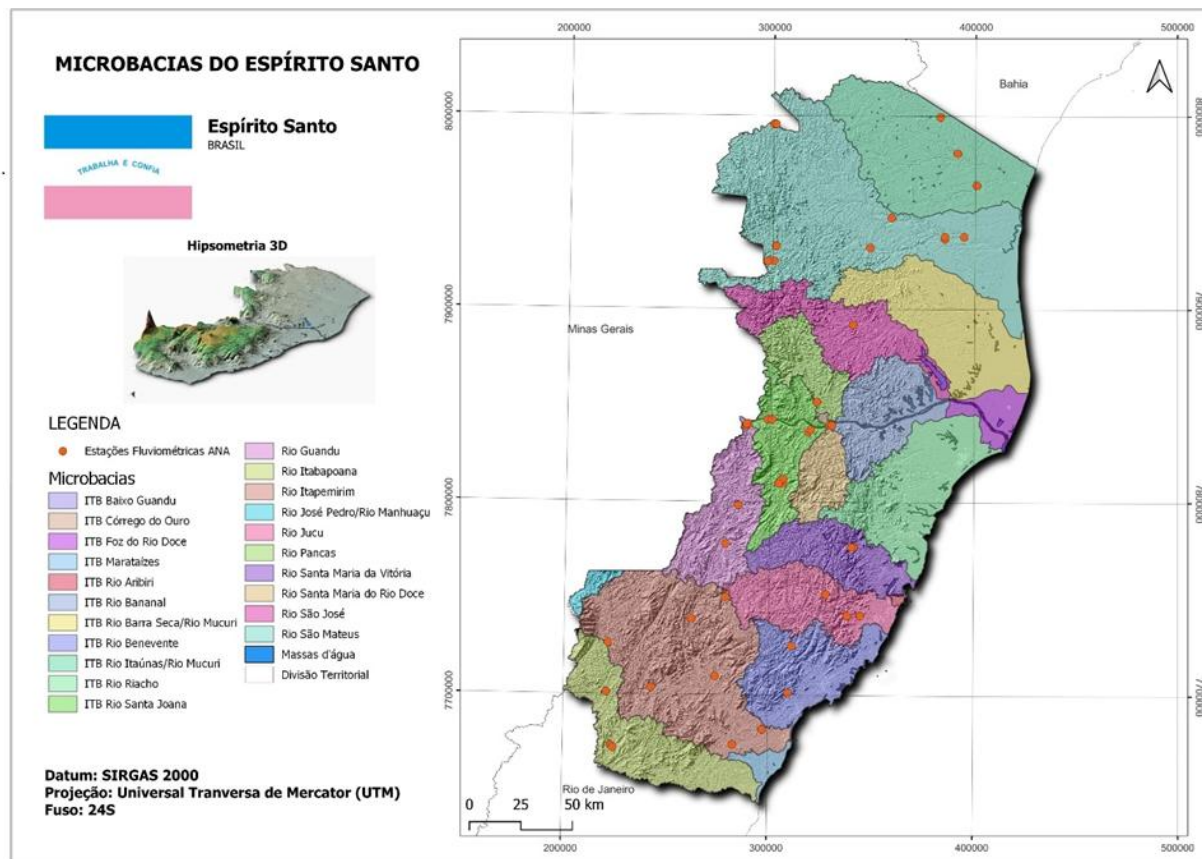
Outras bacias hidrográficas relevantes para o Espírito Santo incluem as dos rios Itaúnas, São Mateus, Jucu, Santa Maria da Vitória, Itapemirim e Itabapoana,

A gestão dos recursos hídricos no Espírito Santo é realizada pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), integrante do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Espírito Santo (SIGERH), sendo responsável pela Gestão da Água no Estado juntamente com a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) e os Comitês das Bacias Hidrográficas do Espírito Santo.

A AGERH implementa, executa e gerencia a Política Estadual de Recursos Hídricos, além de elaborar e atualizar o Plano Estadual de Recursos Hídricos e o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos Estaduais. A agência também é responsável por monitorar, regular e fiscalizar o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, incluindo a concessão de outorgas, a cobrança pelo uso da água e a gestão do cadastro de usuários. A AGERH realiza ainda ações preventivas e de resposta a secas e inundações, além de promover pesquisas e inovações para otimizar a gestão dos recursos hídricos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), o Espírito Santo possui um clima tropical úmido, com variações de acordo com a altitude e a proximidade com o oceano. A região litorânea apresenta um clima mais quente e úmido, enquanto as áreas serranas possuem temperaturas mais amenas.

Figura 4.1 – Bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo.



Fonte: Autoria própria. Dados Mapa: COPERNICUS (2021), Bacias Hidrográficas: IBGE (2021); Estações Fluviométricas ANA (2023).

4.2 DADOS

Para a caracterização estatística dos limiares de inundação, foram utilizados dados de vazão de estações fluviométricas e pluviométricas disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A ANA é responsável por monitorar, coletar, reunir e sistematizar dados sobre a vazão de rios e bacias hidrográficas em todo o território brasileiro e essas informações são essenciais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos do país.

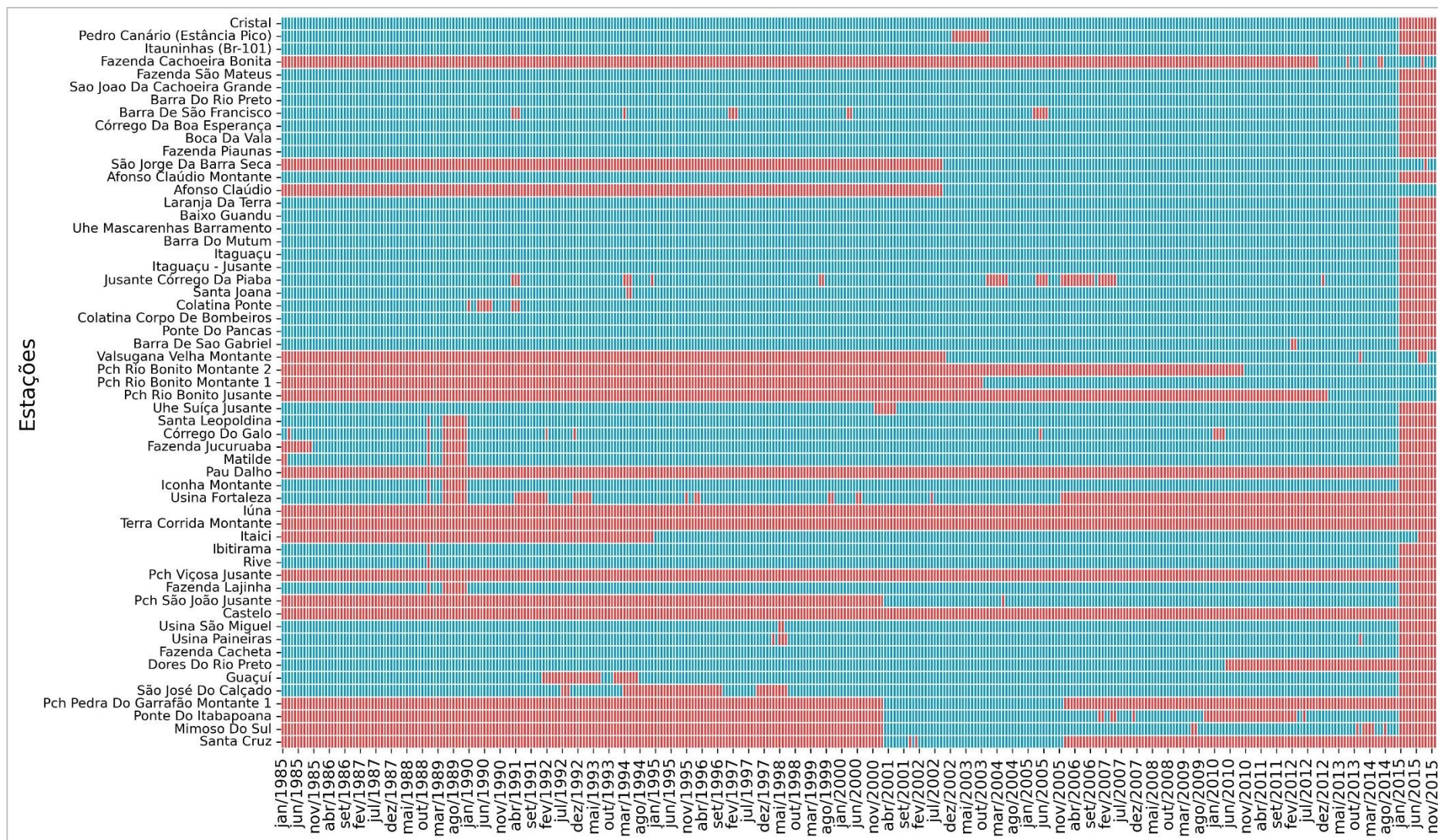
Esses dados representam séries temporais que registram a quantidade de água que escoar em um determinado ponto ao longo do tempo, bem como a quantidade de precipitação que ocorre na região de interesse.

As séries compreendem medições realizadas entre 1985 e 2015, com discretização temporal diária, utilizando métodos diretos de medição e envio automatizado via Plataforma de Coleta de Dados (PCD). Os valores de vazão são apresentados em metros cúbicos por segundo (m^3/s) e passaram por processos de consistência, garantindo a confiabilidade e qualidade das informações. O método de medição direta consiste em observar a vazão por meio de equipamentos específicos, como molinetes hidráulicos ou sensores acústicos (ADCP), em conjunto com curvas-chave calibradas ao longo do tempo, permitindo a conversão precisa dos níveis d'água em vazão. O envio automatizado via PCD assegura o registro contínuo, a redução de falhas operacionais e a pronta disponibilidade dos dados.

As estações fluviométricas selecionadas para as análises, corresponderam a princípio, às 57 estações no estado do Espírito Santo em operação que possuíam dados de 1985 a 2015. Contudo, para uma maior robustez dos resultados, foi realizada uma análise de integridade de dados, para verificação da quantidade de dados válidos disponíveis para as análises.

Em uma avaliação da série temporal de vazão, os meses com menos de 80% dos dados diários disponíveis foram destacados em vermelho, enquanto aqueles que atingiram ou superaram 80% foram marcados em azul (Figura 4.2). A partir dessa categorização, foi feita uma nova verificação da integridade, resultando na exclusão das estações que apresentaram menos de 80% de meses em azul. Essa abordagem foi adotada, uma vez que a falta de dados pode introduzir viés e reduzir a precisão das conclusões que podem ser tiradas a partir da série (EKEU-WEI, 2018). Segundo Little e Rubin (2002), o referido limite é usualmente aceito em análises estatísticas por proporcionar um equilíbrio adequado entre a minimização dos efeitos de dados ausentes e a manutenção de uma amostra suficientemente grande para inferências robustas. Nesse sentido, quanto maior o percentual de dados disponíveis, geralmente mais confiável será a série. A Figura 4.2 sumariza o percentual de dados válidos das estações fluviométricas da ANA no estado do ES, onde o vermelho indica os meses abaixo do limite pré-definido e em azul são indicados os meses nos quais as estações obtiveram mais que 80% dos dados medidos.

Figura 4.2 – Percentual de dados válidos de cada estação fluviométrica operadas pela ANA.



Fonte: Autoria própria.

A partir do critério de descarte estabelecido e das informações reunidas na Figura 4.2, as estações Fazenda Cachoeira Bonita, São Jorge da Barra Seca, Valsugana Velha Montante, Afonso Cláudio, PCH Rio Bonito Montante 2, PCH Rio Bonito Montante 1, PCH Rio Bonito Jusante, Pau D'alho, Usina Fortaleza, Iúna, Terra Corrida Montante, PCH Viçosa Jusante, Castelo, Dolores do Rio Preto, PCH Pedra do Garrafão Montante 1, Ponte do Itabapoana, Mimoso do Sul, Santa Cruz, PCH São João Jusante e Itaici foram retiradas das análises. Sendo assim, o total de estações fluviométricas utilizadas no estudo corresponde a 37(trinta e sete). Estas estações são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Estações de Monitoramento fluviométrico utilizadas no estudo

Estação	Cidade	Cód. da estação	Lat (°)	Lon (°)
Afonso Cláudio Montante	Afonso Cláudio	56990990	-20,08	-41,12
Baixo Guandu	Baixo Guandú	56992005	-19,53	-41,02
Barra De São Francisco	Barra de São Francisco	55900000	-18,76	-40,89
Barra De São Gabriel	São G. Da Palha	56998400	-19,06	-40,52
Barra Do Mutum	Baixo Guandú	56992500	-19,50	-40,90
Barra Do Rio Preto	Barra de São Francisco	55895000	-18,69	-40,88
Boca Da Vala	São Mateus	55960000	-18,66	-40,09
Colatina C. De Bombeiros	Colatina	56994510	-19,53	-40,62
Colatina Ponte	Colatina	56994500	-19,53	-40,63
Córrego Da Boa Esperança	Nova Venécia	55920000	-18,70	-40,44
Córrego Do Galo	Domingos Martins	57170000	-20,32	-40,65
Cristal	Pedro Canário	55744000	-18,09	-40,11
Fazenda Cacheta	P. Kennedy	57650000	-21,02	-41,09
Fazenda Jucuruaba	Viana	57230000	-20,42	-40,49
Fazenda Lajinha	Conceição do Castelo	57476500	-20,43	-41,28
Fazenda Piaunas	São Mateus	55970000	-18,65	-40,00
Fazenda São Mateus	Ecoporanga	55800005	-18,12	-40,89
Guaçuí	Guaçuí	57740000	-20,77	-41,68
Ibitirama	Alegre	57420000	-20,54	-41,67
Iconha Montante	Iconha	57320000	-20,78	-40,83
Itaguaçu	Itaguaçu	56993005	-19,80	-40,85
Itaguaçu - Jusante	Itaguaçu	56993002	-19,78	-40,85
Itauninhas (Br-101)	Conceição da Barra	55747000	-18,41	-39,94
Jusante Córrego Da Piaba	Colatina	56993551	-19,56	-40,73
Laranja Da Terra	Laranja da Terra	56991500	-19,90	-41,06

Continua

Tabela 4.1 - Estações de Monitoramento fluviométrico utilizadas no estudo (Continuação)

Estação	Cidade	Cód. da estação	Lat (°)	Lon (°)
Matilde	Alfredo Chaves	57250000	-20,56	-40,81
Pedro Canário (Estância Pico)	Pedro Canário	55746000	-18,26	-40,03
Ponte Do Pancas	Colatina	56995500	-19,42	-40,69
Rive	Alegre	57450000	-20,75	-41,47
Santa Joana	Colatina	56993600	-19,55	-40,72
Santa Leopoldina	Santa Leopoldina	57130000	-20,10	-40,53
Sao Joao Cachoeira Grande	São Mateus	55850000	-18,56	-40,34
São José Do Calçado	São José do Calçado	57770000	-21,02	-41,66
UHE Mascarenhas Barr.	Colatina	56992400	-19,50	-40,92
UHE Suíça Jusante	Santa Leopoldina	57120080	-20,10	-40,52
Usina Paineiras	Itapemirim	57580000	-20,95	-40,95
Usina São Miguel	Cachoeiro do Itapemirim	57550000	-20,70	-41,17

Fonte: Autoria própria.

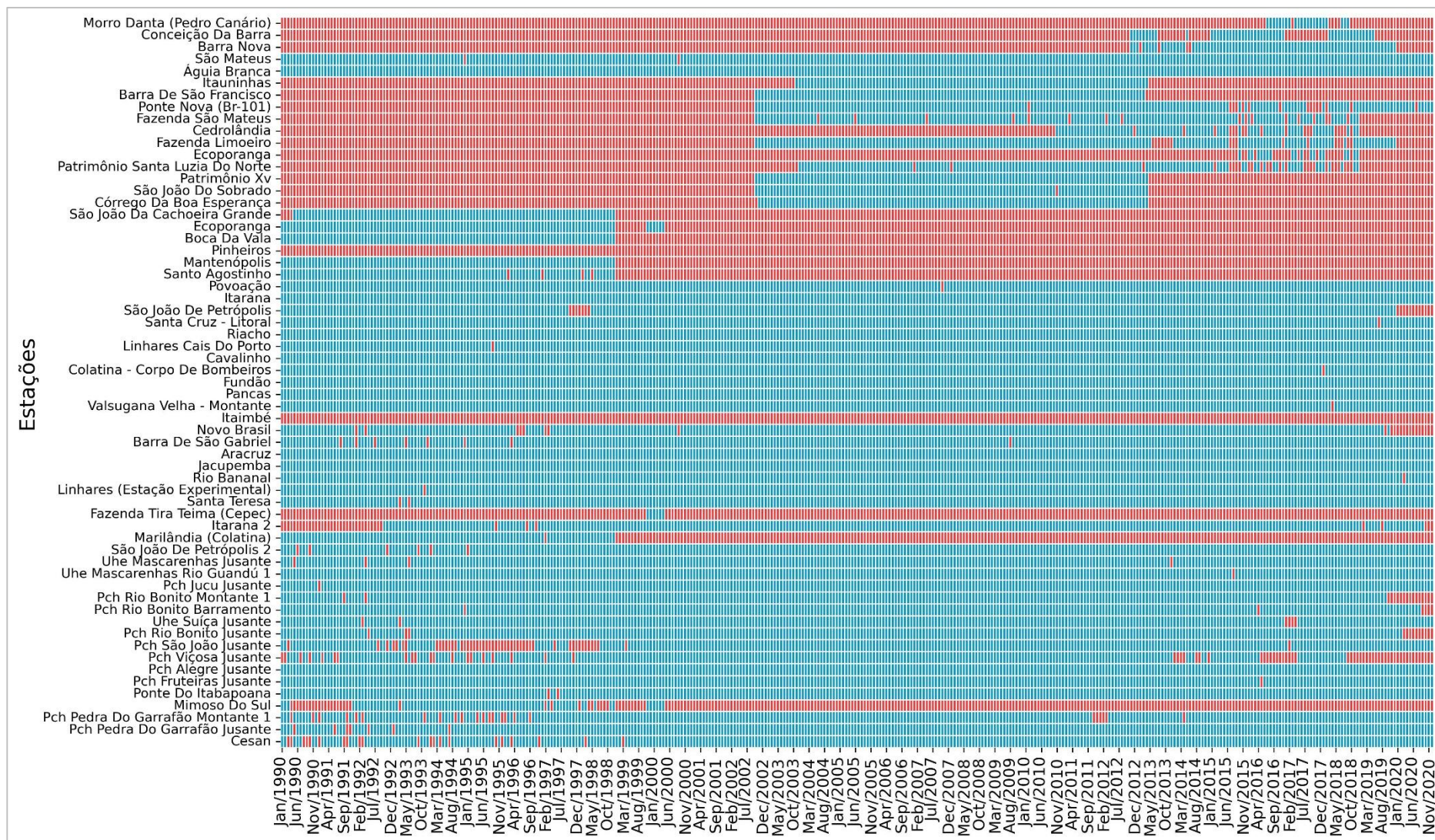
Os dados de precipitação apresentados correspondem a séries históricas coletadas por estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), abrangendo o intervalo entre 1990 e 2015. As medições possuem discretização temporal diária, sendo obtidas por método direto com o uso de pluviômetros instalados nas estações. O monitoramento foi realizado de forma automática, com envio contínuo dos registros para o sistema por meio de Plataformas de Coleta de Dados (PCD), assegurando a disponibilidade e regularidade das informações ao longo do tempo.

Os valores de precipitação são expressos em milímetros (mm) e passaram por processos rigorosos de consistência, garantindo a qualidade e confiabilidade dos dados. A consistência consiste na validação e correção dos registros, incluindo a identificação de erros grosseiros e a revisão das séries temporais para eliminar inconsistências. Assim, os dados foram classificados como consistidos e prontos para uso em aplicações técnicas, científicas e operacionais.

As estações selecionadas para as análises correspondem a todas as 60 estações pluviométricas no estado do Espírito Santo em operação e com registros entre os anos de 1990 e 2015. Contudo, e novamente para uma maior robustez dos resultados, também foi realizada uma análise de integridade de dados, para verificação da quantidade de dados válidos disponíveis para as análises. Os meses com menos de 80% dos dados diários disponíveis foram destacados em vermelho,

enquanto aqueles que atingiram ou superaram 80% foram marcados em azul (Figura 4.3). A partir dessa categorização, foi feita uma nova verificação da integridade, resultando na exclusão das estações que apresentaram menos de 80% de meses em azul, assim como efetuado com os dados de vazão citados anteriormente. A Figura 4.3 indica o percentual de dados válidos das estações pluviométricas da ANA no estado do ES, onde o vermelho indica os meses abaixo do limite pré-definido e em azul são registrados os meses nos quais as estações obtiveram mais que 80% dos dados medidos.

Figura 4.3 – Percentual de dados válidos de cada estação pluviométrica da ANA.



Fonte: Autoria própria.

A partir do critério de descarte estabelecido e das informações pluviométricas disponíveis, as estações Morro D'Anta (Pedro Canário), Conceição da Barra, Barra Nova, Itauninhas, Barra de São Francisco, Ponte Nova (Br-101), Fazenda São Mateus, Cedrolândia, Fazenda Limoeiro, Ecoporanga, Patrimônio Santa Luzia do Norte, Patrimônio XV, São João do Sobrado, Córrego da Boa Esperança, São João da Cachoeira Grande, Boca da Vala, Pinheiros, Mantenópolis, Santo Agostinho, Itaimbé, Fazenda Tira Teima (CEPEC), Marilândia (Colatina) e Mimoso do Sul foram excluídas das análises por possuírem dados insuficientes. Sendo assim, o conjunto total de estações pluviométricas utilizadas no estudo reuniu 37 estações.

Tabela 4.2 - Estações de Monitoramento Pluviométrico utilizadas no estudo.

Estação	Cidade	Cód. estação	Lat (Graus decimais)	Lon
Águia Branca	Águia Branca	1840000	-18,99	-40,75
Aracruz	Aracruz	1940056	-19,83	-40,27
Barra de São Gabriel	São Gabriel da Palha	1940016	-19,06	-40,52
Cavalinho	Ibiraçu	1940005	-19,69	-40,40
CESAN	Bom Jesus do Norte	2141098	-21,12	-41,67
Colatina – Corpo de Bombeiros	Colatina	1940006	-19,53	-40,62
Fundão	Fundão	1940068	-19,94	-40,40
Itarana (Rio Pancas)	Itarana	1940000	-19,87	-40,87
Itarana (Rio São José)	Itarana	1940043	-19,87	-40,88
Jacupemba	Aracruz	1940022	-19,59	-40,20
Linhares	Linhares	1940041	-19,40	-40,07
Linhares Cais do Porto	Linhares	1940004	-19,42	-40,08
Novo Brasil	Colatina	1940013	-19,24	-40,59
Pancas	Pancas	1940009	-19,22	-40,85
PCH Alegre Jusante	Alegre	2041057	-20,76	-41,52
PCH Fruteiras Jusante	Cachoeiro do Itapemirim	2041058	-20,70	-41,09
PCH Jucú Jusante	Domingos Martins	2040046	-20,39	-40,56
PCH Pedra do Garrafão Jusante	Mimoso do Sul	2141089	-21,21	-41,35
PCH Pedra do Garrafão Montante 1	Bom Jesus do Norte	2141087	-21,09	-41,71
PCH Rio Bonito Barramento	Santa M. De Jetibá	2040048	-20,06	-40,64
PCH Rio Bonito Jusante	Santa M. De Jetibá	2040055	-20,06	-40,62
PCH Rio Bonito Montante 1	Santa M. De Jetibá	2040047	-20,05	-40,75
PCH São João Jusante	Castelo	2041055	-20,57	-41,24
PCH Viçosa Jusante	C. Do Castel	2041056	-20,41	-41,27

Continua

Tabela 4.2 - Estações de Monitoramento fluviométrico utilizadas no estudo (Continuação)

Estação	Cidade	Cód. estação	Lat (Graus decimais)	Lon
Ponte Do Itabapoana	Mimoso Do Sul	2141014	-21,21	-41,46
Povoação	Linhares	1939002	-19,58	-39,79
Riacho	Aracruz	1940003	-19,75	-40,04
Rio Bananal	Linhares	1940023	-19,27	-40,32
Santa Cruz – Litoral.	Aracruz	1940002	-19,96	-40,15
Santa Teresa	Santa Teresa	1940039	-19,85	-40,60
São João De Petrópolis (Rio Guandu)	Santa Teresa	1940001	-19,81	-40,68
São João de Petrópolis (Rio Doce)	Santa Tereza	1940046	-19,87	-40,65
São Mateus	São Mateus	1839008	-18,72	-39,87
UHE Masc. Rio Guandú 1	Baixo Guandú	1940047	-19,53	-41,01
UHE Mascarenhas Jusante	Colatina	1941023	-19,51	-40,86
UHE Suíça Jusante	Santa Leopoldina	2040049	-20,10	-40,52
Valsugana Velha - Montante	Santa Teresa	1940010	-19,95	-40,55

Fonte: Autoria própria.

Além dos dados de chuva e vazão das estações da ANA, para caracterização dos fenômenos meteorológicos foram utilizados dados meteorológicos de reanálise produzidas pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF, 2024). Esses dados são gerados pela assimilação de informações de diversas fontes, como observações meteorológicas, satélites, boias, navios e balões atmosféricos, para reconstruir o estado da atmosfera em intervalos regulares em período de tempo, e interpolados estatisticamente em pontos de grade para cobrir todo o globo terrestre. A utilização de dados de reanálise pode oferecer uma base mais sólida para estudos de longo prazo e comparações com eventos passados (HERSBACH et. Al. 2020, HARRIGAN, et. al., 2020, GHASEMIFARD et. al., 2020), contribuindo para uma melhor compreensão dos padrões climáticos e dos possíveis impactos de mudanças climáticas na ocorrência de fenômenos como os sistemas frontais e a ZCAS.

Uma síntese dos dados utilizados neste estudo é apresentada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Dados utilizados.

Variáveis	Resolução Espacial	Área de estudo	Período de Estudo	Fonte
Vazão (m/s)	-	Estações Fluviométricas (Tabela 4.1)	1985 a 2015	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. Portal hidroweb. https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao
Precipitação (mm)	-	Estações Pluviométricas (Tabela 4.2)	1990 a 2015	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. Portal hidroweb. https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao
Velocidade Vertical do vento (m/s) Velocidade Horizontal do Vento (m/s) Direção horizontal do Vento (°) Divergência (1/s) Umidade Específica (g/kg) Radiação de Onda Longa (J/m²) Precipitação (mm)	0,25° x 0,25°	América do Sul (10°N – 40°S 80°W – 20°W)	Eventos de inundação entre 2005 e 2013	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Reanalysis 1940-present in pressure levels. ECMWF (2023)</i>

Fonte: Autoria própria.

4.3 DETERMINAÇÃO DOS EVENTOS DE INUNDAÇÕES

Para determinação dos eventos de inundação, foram utilizados valores para cada série de vazão que podem indicar a sua possível ocorrência, agora chamados de limiares de inundação. Foi utilizado como referência o percentil 99 da série, que colabora em identificar situações de risco de inundação em cada uma das localidades monitoradas pelas estações fluviométricas. Quando a vazão observada em uma determinada estação ultrapassa o limiar de inundação correspondente, isso indica a ocorrência de um evento hidrológico extremo que poderia resultar em inundações.

Para calcular o percentil 99 no conjunto de dados, conformado pelas 37 séries das estações fluviométricas, os dados horários de vazão (m³/s) foram inicialmente organizados em uma estrutura que permitia sua manipulação e análise, sendo separados por planilhas.

Com os dados organizados, o próximo passo foi realizar o cálculo do percentil 99 para cada uma das 37 séries de vazões. A técnica utilizada neste estudo também já foi utilizada por Oliveira (2014a), Miller (2014b) e Oyama e Oliveira (2016), e se caracteriza por ser uma abordagem prática e estatisticamente robusta que permite uma análise da distribuição das vazões ao longo do tempo, identificando, no caso deste estudo, o nível de risco associado à diferentes vazões. De modo prático, o percentil 99 permite estimar o valor da vazão que é igualada ou superada em apenas 1% do tempo.

Primeiramente foi necessário organizar os dados em ordem crescente, do menor para o maior valor. Em seguida, foi preciso determinar o índice do valor que corresponde ao percentil desejado (o 99º percentil), utilizando a equação (01) (CAMUFFO et. al, 2020, POWAR, KULKARNI, 2021).

$$\text{Índice} = \left(\frac{99}{100} \right) * (n + 1) \quad (01)$$

Na equação (01), n indica a quantidade de elementos da série.

Esse cálculo foi feito utilizando programação de análise de dados em Python, com a biblioteca Pandas, uma ferramenta amplamente utilizada para manipulação e análise de dados em Python.

Após a apropriação do percentil 99 para cada série de vazão, obteve-se um conjunto de 37 valores, representando os valores limítrofes que indicam o valor da vazão que é excedido apenas em 1% do tempo, ou seja, durante eventos hidrológicos extremos. Esses valores limítrofes serão então denominados limiares de inundação.

A técnica de persistência de vazão foi realizada após a obtenção do percentil 99 de cada série de dados de vazão, representando o limiar de inundação. Nessa abordagem, analisou-se o tempo durante o qual as vazões permaneceram acima desse limiar, indicando a ocorrência de um evento de inundação. Para isso, foi necessário verificar cada registro de vazão e compará-lo com o valor do percentil 99 correspondente à respectiva série de dados. Quando uma vazão registrada estava acima desse limiar, iniciava-se uma contagem do tempo de persistência, que continuava até que a vazão retornasse abaixo do percentil 99. Essa análise permitiu determinar a duração dos eventos de inundação em cada estação fluviométrica e avaliar a sua magnitude temporal. Neste estudo, foram considerados eventos de

inundação as ocorrências que se mantiveram acima do percentil 99 por pelo menos cinco dias consecutivos. Segundo Walpole et al. (1972), considerar a duração mínima de 5 dias para que um evento seja classificado como inundação garante que apenas inundações significativas, com impacto suficiente para causar danos e necessitar de resposta, sejam contabilizadas. Esta abordagem ajuda a evitar falsos alarmes decorrentes de picos de vazão de curta duração que podem não ter efeitos adversos significativos. É importante ressaltar que pode ocorrer o extravasamento da calha do rio, entretanto a vazão pode tornar a baixar, o que faz com que a inundação persista na planície mesmo quando a vazão no rio já tenha diminuído. No entanto, esse efeito de prolongamento da inundação não foi considerado neste estudo.

A ultrapassagem dos valores de vazão diária de um rio em relação ao percentil 99 pode não indicar necessariamente uma enchente, especialmente quando se trata de uma ocorrência isolada em um único dia. Uma única ultrapassagem do percentil 99 pode ser causada por eventos hidrológicos pontuais. Sendo assim, é importante levar em consideração que a vazão de um rio é influenciada por diversos fatores, como a precipitação, o escoamento superficial, a topografia da bacia hidrográfica ou a uma combinação específica de fatores hidrológicos que resultam em um pico de vazão temporário.

A persistência da ultrapassagem indica a existência de um padrão hidrológico que pode estar relacionado a uma situação de risco, com potencial de causar inundações e impactos significativos nas áreas ribeirinhas. A análise da evolução temporal da vazão é fundamental para avaliar a magnitude e a severidade de um evento hidrológico, permitindo tomar medidas de precaução e adotar ações de gestão dos recursos hídricos adequadas.

Existem diversas razões pelas quais a persistência de vazões altas em um corpo d'água pode causar inundações e dentre elas, apresentam particular relevância: volume de água, capacidade de armazenamento, sobrecarga de drenagem, saturação do solo e contribuição de afluentes.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS FENÔMENOS METEOROLÓGICOS ATUANTES

A avaliação de eventos meteorológicos sinóticos associados à ocorrência de inundações permitiu identificar e avaliar as condições atmosféricas que levaram à ocorrência de inundações em uma determinada região, especificamente relacionados a eventos de chuva. Essa metodologia foi baseada na análise das condições meteorológicas em escala sinótica, que envolveu a análise de sistemas atmosféricos de grande escala, como frentes frias, sistemas de baixa pressão e massas de ar e diferentes níveis da atmosfera.

A primeira etapa consistiu na coleta de dados meteorológicos, que incluiu a análise de dados de superfície, cartas sinóticas (representação gráfica da distribuição espacial de variáveis meteorológicas em uma determinada região em um momento específico, disponibilizadas pelo INMET), dados de satélite, bem como a utilização de modelos numéricos de meteorologia. A partir dos dados coletados, foi possível identificar a presença de sistemas atmosféricos que pudessem estar associados à ocorrência de eventos de grande precipitação na região estudada.

A identificação dos eventos meteorológicos atuantes durante as datas estabelecidas pelos estudos de caso foi realizada através de cartas sinóticas de superfície disponibilizadas pelo Centro de Previsão e Estudos Climáticos (CPTEC, 2023) e também por meio da análise de imagens de satélite contidas nos boletins Climanálise, também disponibilizadas pelo CPTEC.

A identificação dos fenômenos atmosféricos utilizando as cartas sinóticas fornecidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) envolveu a seguinte sequência de passos:

- Seleção da carta sinótica adequada: foram acessadas as cartas sinóticas disponibilizadas pelo CPTEC. A escolha da carta adequada foi realizada selecionando-se a data identificada pelos limiares de inundação definidos na etapa metodológica anterior;
- Análise da distribuição de pressão atmosférica: observação da configuração das isóbaras e identificação áreas de alta e baixa pressão, que são indicativos de sistemas meteorológicos como anticiclones e ciclones;
- Identificação de sistemas sinóticos: os sistemas sinóticos (frentes frias, ZCAS, cavados, etc.) são importantes geradores de chuvas intensas e

mudanças bruscas de temperatura. Na carta sinótica, os sistemas puderam ser identificados pela presença de linhas de diferentes símbolos ou cores, representando a transição entre massas de ar de diferentes características;

- Observação de padrões de vento: o padrão de vento representado na carta sinótica também forneceu informações importantes sobre a dinâmica atmosférica na região. Foi necessário observar a direção e a intensidade do vento, bem como possíveis áreas de convergência ou divergência de fluxo, que puderam indicar a formação de sistemas convectivos e outras condições meteorológicas extremas;
- Interpretação dos elementos concomitantes: além de observar cada elemento individualmente, foi fundamental interpretar a interação entre eles. Por exemplo, a presença de um sistema frontal associado a um sistema de baixa pressão pôde indicar a ocorrência de chuvas intensas e tempestades. Da mesma forma, a presença de um anticiclone associado a um padrão de vento estável pôde indicar condições de tempo mais calmo e estável.

Ao seguir esses passos e realizar uma análise cuidadosa das cartas sinóticas disponibilizadas pelo CPTEC, foi possível identificar e compreender os fenômenos atmosféricos que estavam ocorrendo sobre o estado do Espírito Santo nas datas identificadas pelos limiares de inundação.

Apesar da identificação de fenômenos meteorológicos por meio da observação de cartas sinóticas ser uma prática razoável, ainda é apenas uma parte inicial do processo de identificação dos sistemas atmosféricos; sendo assim, uma abordagem baseada necessária. Para isso, muitos estudos (OLIVEIRA et al, 2015, REBOITA et al, 2016, SANTOS JR et al, 2022) têm recorrido a conjuntos de dados atmosféricos, como os disponíveis no *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Utilizar dados do ECMWF oferece uma vantagem significativa, pois fornece uma ampla gama de variáveis meteorológicas com alta resolução temporal e espacial, o que permite uma análise mais detalhada e abrangente dos fenômenos atmosféricos.

Para identificar os fenômenos meteorológicos atuantes com a utilização os dados do ECMWF, primeiramente foi necessário acessar o site do ECMWF⁴ e fazer o

⁴ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

download dos arquivos no formato NetCDF, que contêm os dados atmosféricos desejados. Em seguida, utilizando Python e bibliotecas especializadas como xarray e matplotlib, foi possível abrir o arquivo NetCDF e extrair os dados relevantes. Posteriormente, foi realizada a seleção da área de interesse (a América do Sul, neste caso) e dos períodos de tempo relevantes para a análise de cada evento de inundação analisado no estado do Espírito Santo. Em seguida, foram selecionadas as variáveis meteorológicas relevantes, como precipitação, umidade e vento. Por fim, utilizando técnicas de visualização de dados em mapas e gráficos, os fenômenos atmosféricos foram identificados e analisados em relação aos eventos de inundação no estado do Espírito Santo, fornecendo insights valiosos para se compreender os padrões meteorológicos associados a esses eventos.

4.5 RELAÇÃO DOS SISTEMAS ATMOSFERICOS E PROPOSIÇÃO DE ESTATÉGIAS

A metodologia adotada para investigar a relação entre os sistemas atmosféricos e os períodos de inundação durante eventos de El Niño e La Niña envolveu uma abordagem detalhada e sistemática. Inicialmente, foram compilados dados históricos sobre as datas de ocorrência de eventos de El Niño e La Niña, bem como informações sobre os períodos de inundação registrados na região de estudo. Em seguida, foi analisada a sobreposição temporal entre esses eventos, buscando identificar padrões consistentes ao longo do tempo.

Uma etapa crucial do estudo foi a contextualização dos eventos climáticos globais, como El Niño e La Niña, com os padrões climáticos regionais específicos da área de estudo. Isso exigiu uma análise detalhada das características climáticas locais, incluindo padrões de precipitação, temperatura e circulação atmosférica, buscando compreender melhor como esses fenômenos climáticos globais influenciam o clima regional e, consequentemente, os eventos de inundação.

Por fim, os resultados obtidos foram analisados e interpretados à luz da literatura existente sobre a influência de El Niño e La Niña nos padrões climáticos e hidrológicos. Reboita (2023) utilizou o método de análise sinótica para identificação de eventos externos de tempo no sudeste do Brasil no fim de junho de 2020. Han (2020) analisou sistemas sinóticos e de mesoescla na variabilidade de ozônio no leste da China. Cavalcanti (2012) utilizou o método de análise sinótica para associar padrões

meteorológicos de grande escala com eventos de chuva extrema na América do Sul. De forma semelhante, Oliveira et al. (2013) aplicaram o mesmo método para identificar a correlação entre padrões sinóticos e a ocorrência de chuva intensa no Nordeste do Brasil. Além disso, Kayano e Andreoli (2006) empregaram essa abordagem para relacionar as anomalias de precipitação no Nordeste brasileiro com o fenômeno El Niño. Essa análise permitiu uma avaliação crítica da relação entre os sistemas atmosféricos globais e os eventos de inundação na região de estudo, identificando possíveis mecanismos e causas subjacentes.

A elaboração de estratégias de prevenção e mitigação dos impactos de inundações, considerando a influência dos sistemas atmosféricos como El Niño e La Niña, demandou uma abordagem multidisciplinar. As mesmas foram elaboradas com base em princípios de gestão integrada de recursos hídricos e planejamento territorial sustentável.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DE PERCENTIS E VAZÕES LIMÍTROFES

Neste estudo, o percentil 99 delimitou o que pode ser considerado um evento de inundação associado aos rios nos quais há o monitoramento de vazão e, adicionalmente, os períodos de ocorrência de cada evento. A Tabela 5.1 mostra os valores dos percentis 99 de vazão diária Q (m^3/s) calculados em cada estação fluviométrica utilizadas no estudo.

Tabela 5.1 – Percentis 99 de vazão (m^3/s) nas estações fluviométricas da ANA.

Estação	Percentil 99 de vazão (m^3/s)
Afonso Cláudio Montante	53
Baixo Guandu	91
Barra de São Francisco	50
Barra de São Gabriel	81
Barra Do Mutum	59
Barra Do Rio Preto	40
Boca Da Vala	128
Colatina C. De Bombeiros	119
Colatina Ponte	18
Córrego Da Boa Esperança	445
Córrego Do Galo	85
Cristal	332
Fazenda Cacheta	14
Fazenda Jucuruaba	340
Fazenda Lajinha	39
Fazenda Piaunas	90
Fazenda São Mateus	16
Guaçuí	289
Ibitirama	150
Iconha Montante	67
Itaguaçu	39
Itaguaçu - Jusante	27
Itauninhas (Br-101)	268
Jusante Córrego Da Piaba	23

Continua

Tabela 5.1 – Percentis 99 de vazão (m³/s) nas estações fluviométricas da ANA. (Conclusão)

Estação	Percentil 99 de vazão (m³/s)
Laranja Da Terra	276
Matilde	427
Pedro Canário (Estância Pico)	44
Ponte Do Pancas	55
Rive	107
Santa Joana	34
Santa Leopoldina	82
Sao Joao Da Cachoeira Grande	57
São José Do Calçado	202
UHE Mascarenhas Barr.	91
UHE Suíça Jusante	13
Usina Paineiras	254
Usina São Miguel	437

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 5.2 apresenta as datas das inundações identificadas no estudo, caracterizadas pela ultrapassagem do percentil 99 de vazão em pelo menos 80% das 37 estações fluviométricas utilizadas na análise, e manutenção do valor de vazão por no mínimo 5 dias. Essa abordagem assegurou que as inundações listadas representassem eventos de alta magnitude e consistência em uma grande área do estado do Espírito Santo na qual há monitoramento hidrológico, capturando as variações nas condições hidrológicas em uma ampla gama de localidades.

Tabela 5.2 – Datas da ocorrência de inundações no estado do Espírito Santo.

Evento	Início Inundação	Fim Inundação
1	12/12/2005	19/12/2005
2	31/01/2007	07/02/2007
3	23/11/2008	01/12/2008
4	16/12/2008	21/12/2008
5	02/01/2009	12/01/2009
6	22/01/2009	28/01/2009
7	29/03/2009	05/04/2009
8	29/12/2010	02/01/2011
9	07/03/2011	19/03/2011
10	03/01/2012	12/01/2012
11	11/12/2013	29/12/2013

Fonte: Autoria própria.

Aqui está o texto alterado para considerar as variações no regime de vazão do estado do Espírito Santo e as possíveis influências distintas dos fenômenos de El Niño e La Niña nas regiões norte e sul.

A informação trazida pela Tabela 5.2 não foi particularizada para cada região hidrográfica do estado, pois ao definir o critério de inundação como o percentil 99 de vazão em todas as 37 estações fluviométricas do estudo, presume-se que a magnitude dos eventos seja significativa o suficiente para ser considerada como inundação em qualquer parte do estado. No entanto, é importante destacar que o Espírito Santo apresenta um regime de vazão distinto no sentido norte-sul, e os fenômenos de El Niño e La Niña podem influenciar essas regiões de maneiras diferentes. Ao considerar o estado como um todo, a análise reflete os impactos desses fenômenos de forma mais abrangente, representando, assim, eventos extremos em nível estadual. A abordagem adotada permite entender a magnitude dos eventos em uma escala mais ampla, mas reconhece que os efeitos podem variar regionalmente devido a diferenças no comportamento hidrológico ao longo do estado.

Os estudos de Tanoue et al. (2021), Linderson et al. (2021) e Moel et al. (2015) compartilham a abordagem de não particularizar suas análises por regiões hidrográficas, permitindo uma compreensão mais ampla dos riscos de inundação. Tanoue et al (2021) utilizaram modelos globais de inundações que consideram múltiplos componentes de risco sem delimitações geográficas rígidas, facilitando a

integração de cenários de mudanças climáticas. Linderson et al. (2021) exploraram mapas de planícies de inundação hidrogeomorfológicas, que não requerem dados hidrológicos detalhados, tornando-os adequados para áreas sem registros confiáveis. Por sua vez, Moel et al. (2015) discutiram a importância da integração de diferentes dados e métricas, utilizando abordagens como curvas de profundidade-dano, aplicáveis a várias áreas sem a necessidade de segmentação detalhada. Em comum com estes estudos, o presente trabalho é realizado para uma grande área espacial e considera que os fenômenos meteorológicos associados aos eventos de inundação são de escala sinótica. Assim, mediante o tamanho dos sistemas e da área abrangida, é razoável o emprego da não particularização para simplificação das análises, alinhando-se à tendência metodológica observada em outros estudos na área.

Além disso, as bacias hidrográficas são sistemas complexos, e as inundações podem resultar de uma variedade de fatores, incluindo precipitação intensa, topografia local, uso da terra e características do solo. Esses fatores podem interagir de maneiras diferentes em diferentes áreas, mas a escolha de um critério uniforme para todas as estações pode simplificar a análise e a comunicação dos resultados (BRATH et al., 2006).

Para os onze períodos de eventos identificados, foram reunidas informações complementares por meio de pesquisa em registros históricos de notícias, a fim de se compreender e confirmar a ocorrência de tais eventos e o real impacto na sociedade. As notícias permitiram reunir informações sobre o número de pessoas afetadas, a extensão dos danos às propriedades, a interrupção dos serviços públicos, os deslocamentos de população e, infelizmente, até mesmo as perdas de vidas humanas.

Mediante o exposto, os eventos da Tabela 5.2 foram classificados em ordem de ocorrência e um breve resumo com informações retiradas de registros de notícias é apresentado nas seções subsequentes.

5.1.1 Evento 1 - Dezembro de 2005

Em dezembro de 2005, o Espírito Santo enfrentou uma forte chuva que gerou enchentes e deslizamentos de terra em várias regiões. As chuvas intensas e repentinas causaram alagamentos em áreas urbanas e rurais, além de danos em rodovias e pontes. Esse evento foi considerado a pior enchente dos últimos 35 anos na época, segundo o jornal O Estado de São Paulo (2005).

As cidades mais atingidas foram Vila Velha, com áreas urbanas e rurais inundadas, deixando várias famílias desabrigadas, e Viana, que também sofreu grandes inundações, afetando diversos bairros e causando sérios prejuízos materiais e humanos. A capital, Vitória, teve alagamentos em diversas áreas, impactando o transporte público, o comércio e a vida cotidiana.

Outras áreas do Espírito Santo também registraram prejuízos significativos, como ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Ocorrência de inundação na cidade de Cariacica em dezembro de 2005.



Fonte: O Estado de São Paulo (2005). Disponível em: <<https://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,es-enfrenta-pior-enchente-dos-ultimos-35-anos,20051120p18150>>.

5.1.2 Evento 2 - Janeiro de 2007

Em janeiro de 2007, as inundações severas no norte do Espírito Santo, particularmente nas cidades de Colatina e Linhares, foram amplamente influenciadas pelas condições hidrometeorológicas na bacia do Rio Doce, que abrange também o estado de Minas Gerais (MG). O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (ESPIRITO SANTO, 2017) mostra que na região norte do estado, as cidades litorâneas como Linhares possuem maior propensão de inundações do que as cidades do interior; contudo, nesta região, as inundações e alagamentos ocorrem principalmente devido às chuvas prolongadas nas bacias hidrográficas (incluindo as do rio Doce), e não apenas por chuvas intensas. A bacia do rio Doce abrange uma área de drenagem de 84.000 km², sendo que 86% dessa área está localizada em Minas Gerais e apenas 14% no Espírito Santo. Devido a essa distribuição, chuvas que ocorrem em Minas Gerais, onde está a maior parte da bacia, podem causar o aumento do volume de água que flui em direção ao Espírito Santo. Isso pode resultar em inundações em cidades capixabas, mesmo que a precipitação intensa não ocorra diretamente nessas áreas. Entretanto, o Plano Estadual sugere que, para a região nordeste do ES, onde se localizam os municípios de São Mateus e Conceição da Barra, há um altíssimo risco de inundação com o volume de precipitação em 24 horas e acumulado anual potencializando significativamente o risco de ocorrência de inundações.

O Rio Doce e suas bacias adjacentes, incluindo áreas significativas em Minas Gerais, experimentaram um período de chuvas intensas e prolongadas no final de 2006 e início de 2007. O aumento na precipitação nas cabeceiras da bacia, localizadas em Minas Gerais, pode ter contribuído com um significativo aumento no volume de água que fluiu para o Espírito Santo, ampliando as inundações.

Além de Colatina e Linhares, outras regiões do estado também sofreram com os prejuízos, conforme exemplificado pela Figura 5.2.

Figura 5.2 – Ocorrência de inundação na cidade de São Mateus em janeiro de 2007.



Fonte: Folha de São Paulo (2007). Disponível em: <
<https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u355358.shtml> >

5.1.3 Evento 3 - Dezembro de 2008

Em dezembro de 2008, o Espírito Santo também foi afetado por uma série de enchentes que causaram grandes danos materiais e humanos em várias cidades do Estado, mas principalmente na região sul. As chuvas intensas causaram inundações, deslizamentos de terra, queda de pontes e interrupção do acesso a algumas cidades.

Uma das cidades mais afetadas pela enchente em novembro de 2008 no Espírito Santo foi Apiacá, cidade localizada no sul do estado. A cidade enfrentou inundações, deslizamentos de terra e queda de pontes, causando relevantes prejuízos materiais. Bom Jesus do Norte, também localizada no sul do Estado, sofreu com inundações, deslizamentos de terra e danos à infraestrutura pública e privada. O município de São José do Calçado, também localizado no sul do estado, enfrentou inundações, deslizamentos de terra e queda de pontes. Nessas três cidades em particular não foi possível o acesso pela defesa civil para auxílio à população, uma vez que os acessos aos locais foram bloqueados e as cidades ficaram ilhadas, com as três cidades decretando situação de emergência (Uol Notícias, 2008). A enchente no sul do estado é ilustrada pela Figura 5.3 referente a cidade Mimoso do Sul.

Além disso, é importante notar que a bacia do rio Itabapoana, que abrange parte da região sul do Espírito Santo, pode ter recebido chuvas significativas no estado do Rio de Janeiro. No estado do Espírito Santo, a área de drenagem é de aproximadamente 2.696 km². Essa área abrange completamente os municípios de Divino de São Lourenço, Guaçuí, São José do Calçado, Bom Jesus do Norte, Apiacá e Mimoso do Sul e parcialmente os municípios de Dorcas do Rio Preto, Muqui e Presidente Kennedy. Na maioria das vezes, a inundação na bacia é provocada por precipitações intensas e pela intensificação sazonal do regime de chuvas; todavia, podem existir outras causas como o assoreamento do leito dos rios; a compactação e impermeabilização do solo; o rompimento de barragens ou a drenagem deficiente de determinadas áreas o que contribuiu para a intensidade das enchentes observadas, conforme sumarizado no Relatório Técnico da Etapa A (REA) do processo de planejamento dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana – Diagnóstico e o Prognóstico das Condições de Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana como Subsídio Fundamental ao Enquadramento e Plano de Recursos Hídricos (ESPIRITO SANTO, 2018).

Figura 5.3 – Ocorrência de inundação na cidade de Mimoso do Sul em dezembro de 2008.



Fonte: FOLHA DE SÃO PAULO (2008). Disponível em:

<<https://m.folha.uol.com.br/cotidiano/2008/12/481463-chuvas-deixam-tres-municipios-ilhados-no-espirito-santo.shtml>>

5.1.4 Evento 4 - Novembro de 2008

Em novembro de 2008, o Espírito Santo foi atingido por chuvas intensas que resultaram em enchentes e deslizamentos de terra, especialmente nas regiões norte e noroeste. Oito cidades declararam situação de emergência, com registros de acumulados de chuva que não eram vistos há 84 anos e entre as cidades mais afetadas estavam Colatina, Baixo Guandu, Linhares e São Mateus (UOL, 2008). Nessas áreas, as inundações e deslizamentos de terra causaram graves prejuízos materiais, além de impactos na infraestrutura pública e privada.

As enchentes em Colatina e Linhares, localizadas na bacia do Rio Doce, possivelmente resultaram de chuvas intensas tanto no Espírito Santo quanto nas cabeceiras do rio em Minas Gerais, assim como descrito no Evento 2.

A enchente no norte do estado é ilustrada pela Figura 5.4, referente à cidade de São Mateus.

Figura 5.4 – Ocorrência de inundação na cidade de São José do Calçado em novembro de 2008.



Fonte: Uol Notícias (2008). Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2008/11/26/no-espírito-santo-chuvas-em-novembro-batem-recorde-dos-ultimos-84-anos.htm>>

5.1.5 Evento 5 – Janeiro de 2009

Em janeiro de 2009, o Espírito Santo enfrentou fortes chuvas que resultaram em grandes enchentes e deslizamentos de terra, causando prejuízos materiais e humanos em diversas cidades. O rio Castelo, no município homônimo, subiu cerca de 5 metros após uma intensa chuva, que atingiu o volume esperado para o mês em apenas cinco horas e, como resultado, aproximadamente 900 famílias ficaram desalojadas e 30 pontes foram destruídas (Descubra Castelo, 2009). A Figura 5.5 ilustra o ocorrido na cidade de Castelo.

Entre as cidades mais afetadas estavam Vila Velha, onde inundações generalizadas causaram grandes danos, principalmente em áreas ribeirinhas. Em Vitória, a capital, enchentes afetaram diversos bairros, principalmente aqueles próximos a rios e córregos.

Figura 5.5 – Ocorrência de inundação na cidade de Castelo em janeiro de 2009.



Fonte: Descubra Castelo (2009). Disponível em: < <https://descubracastelo.com.br/enchente-varre-castelo/> >

5.1.6 Evento 6 – Janeiro de 2009

Ainda em janeiro de 2009, um novo episódio de chuvas intensas atingiu o Espírito Santo, causando mais enchentes e agravando a situação em cidades já afetadas anteriormente. Em Cachoeiro de Itapemirim, o distrito de São Vicente foi especialmente impactado, com o temporal deixando 28 famílias desabrigadas (Jornal Fato, 2009).

A região metropolitana de Vitória também sofreu com novas enchentes. Cidades como Vila Velha e Serra enfrentaram novamente problemas com alagamentos em bairros próximos a rios e córregos, o que intensificou os danos já acumulados desde o início das chuvas. Cachoeiro de Itapemirim e outras áreas urbanas foram severamente afetadas, com deslizamentos de terra e mais alagamentos.

Outras cidades do estado também enfrentaram novas enchentes e deslizamentos, ampliando os prejuízos materiais e afetando a vida de milhares de pessoas, conforme ilustrado na Figura 5.6.

Figura 5.6 – Inundação em Cachoeiro do Itapemirim – Distrito de São Vicente em janeiro de 2009.



Fonte: Jornal Fato (2008). Disponível em: <<https://jornalfato.com.br/cidades/nove-anos-do-temporal-que-arrasou-distrito-,235210.jhtml>>

5.1.7 Evento 7 – Março de 2009

Durante o verão de 2009, o Espírito Santo enfrentou uma série contínua de chuvas fortes, resultando em diversas enchentes em todo o estado. Os impactos foram significativos em diversos municípios, com Conceição do Castelo, Ibatiba, Laranja da Terra, Marechal Floriano, Afonso Cláudio, Domingos Martins, Venda Nova do Imigrante, Castelo e Cachoeiro do Itapemirim sendo alguns dos mais afetados. As enchentes resultaram em grandes prejuízos materiais e afetaram a vida de mais de 40 mil pessoas (Jornal do Brasil, 2009).

Além dessas áreas, muitas outras localidades do Espírito Santo também sofreram com as enchentes de março de 2009, conforme ilustrado na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Ocorrência de inundação na cidade de Brejetuba em março de 2009.



Fonte: Jornal do Brasil (2009). Disponível em: <https://www.jb.com.br/pais/noticias/2009/12/07/amp/es-registra-em-48-horas-chuvas-esperadas-para-todo-o-mes.html>

5.1.8 Evento 8 – Dezembro de 2010

Em dezembro de 2010 e janeiro de 2011, chuvas intensas atingiram o Espírito Santo, causando graves enchentes, transbordamentos de rios, deslizamentos de terra e quedas de pontes. O desastre resultou em cinco mortes e danos significativos em 32 cidades. Vitória e Vila Velha foram as mais afetadas, especialmente em bairros próximos a rios e áreas costeiras; entretanto, Cariacica, Serra, Guarapari e Linhares também sofreram danos variados (G1, 2010).

Além dessas localidades, muitas outras áreas do Espírito Santo foram afetadas pelas enchentes de dezembro de 2010, conforme ilustrado na Figura 5.10.

Figura 5.8 – Ocorrência de inundação na cidade de Cachoeiro do Itapemirim em dezembro de 2010.



Fonte: G1 (2010). Disponível em: <<https://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/12/quatro-cidades-decretam-emergencia-por-cao-da-chuva-no-es.html>>

5.1.9 Evento 9 - Março de 2011

Março de 2011 trouxe mais um período de chuvas intensas para o Espírito Santo, resultando em enchentes que causaram sérios danos em várias cidades. As chuvas contínuas levaram a inundações, deslizamentos de terra e danos à infraestrutura, com pouco mais de 10 mil pessoas desabrigadas após o evento. Cidades como Nova Venécia, Colatina, Linhares e Baixo Guandu foram severamente afetadas, com danos a infraestruturas públicas e privadas, além de prejuízos materiais significativos (G1, 2011). A situação foi crítica, demandando uma rápida resposta das autoridades locais e de emergência.

A bacia do Rio Doce, que cobre uma área significativa no estado do Espírito Santo e de Minas Gerais, experimentou um episódio de chuvas fortes e prolongadas em março de 2011. É provável que a alta taxa de precipitação em suas cabeceiras, especialmente na região mineira, tenha contribuído para um aumento substancial na vazão do Rio Doce ocasionando as inundações registradas na região norte do estado.

Diversas outras áreas do Espírito Santo também foram impactadas pelas enchentes de março de 2011, conforme ilustrado na Figura 5.9

Figura 5.9 – Ocorrência de inundação na cidade de Linhares em janeiro de 2011.



Fonte: G1 (2011). Disponível em: <<https://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/03/chuva-no-es-bloqueia-estrada-e-gera-transito-em-cidade-em-emergencia.html>>.

5.1.10 Evento 10 - Janeiro de 2012

Em janeiro de 2012, o Espírito Santo enfrentou uma forte enchente causada por chuvas intensas que resultaram em inundações e deslizamentos de terra. Vila Velha foi um dos principais pontos de impacto, com o município decretando situação de emergência devido aos danos significativos. Até o momento da reportagem, cerca de 10 mil pessoas estavam desabrigadas e mil desalojadas (GORRITTI, 2012).

Além de Vila Velha, outras cidades afetadas incluíram Alegre e Cachoeiro de Itapemirim, ambas no sul do estado, que enfrentaram inundações e deslizamentos de terra, causando danos consideráveis. Vargem Alta, na região serrana, também foi impactada, com prejuízos para a infraestrutura pública e privada. Vitória sofreu alagamentos em várias áreas, afetando o transporte público e causando transtornos para os moradores.

Várias outras áreas do Espírito Santo também foram atingidas pelas enchentes de janeiro de 2012, como demonstrado na Figura 5.10.

Figura 5.10 – Ocorrência de inundação na cidade de Santa Maria de Jetibá em janeiro de 2012.



Fonte: G1 (2012). Disponível em: < <https://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2012/01/mais-de-2-mil-pessoas-estao-desalojadas-no-es-diz-defesa-civil.html> >

5.1.11 Evento 11 - Dezembro de 2013

Em dezembro de 2013, o Espírito Santo enfrentou uma das piores enchentes de sua história, com chuvas fortes provocando inundações, deslizamentos de terra e transbordamentos de rios. A Defesa Civil do Estado registrou 23 mortes e mais de 60 mil pessoas deslocadas. Aproximadamente 20 mil quilômetros de estradas foram danificados, dificultando o envio de ajuda humanitária e resultando na interdição de pelo menos nove estradas (UOL Notícias, 2013).

Novamente, assim como no estado do Espírito Santo, as fortes precipitações nas áreas altas da bacia do Doce, com contribuição da região de Minas Gerais, provavelmente causaram um aumento substancial na vazão do Rio Doce que impactou diretamente nas inundações que afetaram a região norte do Espírito Santo, demonstrando como as condições meteorológicas nas cabeceiras podem influenciar eventos de inundação em áreas mais distantes.

Colatina, Linhares, Baixo Guandu, Barra de São Francisco e Santa Maria de Jetibá foram algumas das cidades mais afetadas. Essas cidades enfrentaram inundações severas, danos a casas e infraestrutura pública, e outras áreas do estado também sofreram com os impactos das enchentes de dezembro de 2013, conforme ilustrado na Figura 5.11.

Figura 5.11 – Ocorrência de inundação na cidade de São Domingos do Norte em dezembro de 2013.



Fonte: Uol Notícias (2013). Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2013/12/26/es-tem-22-mortos-e-mais-61-mil-fora-de-casa-por-cao-da-chuva.htm>

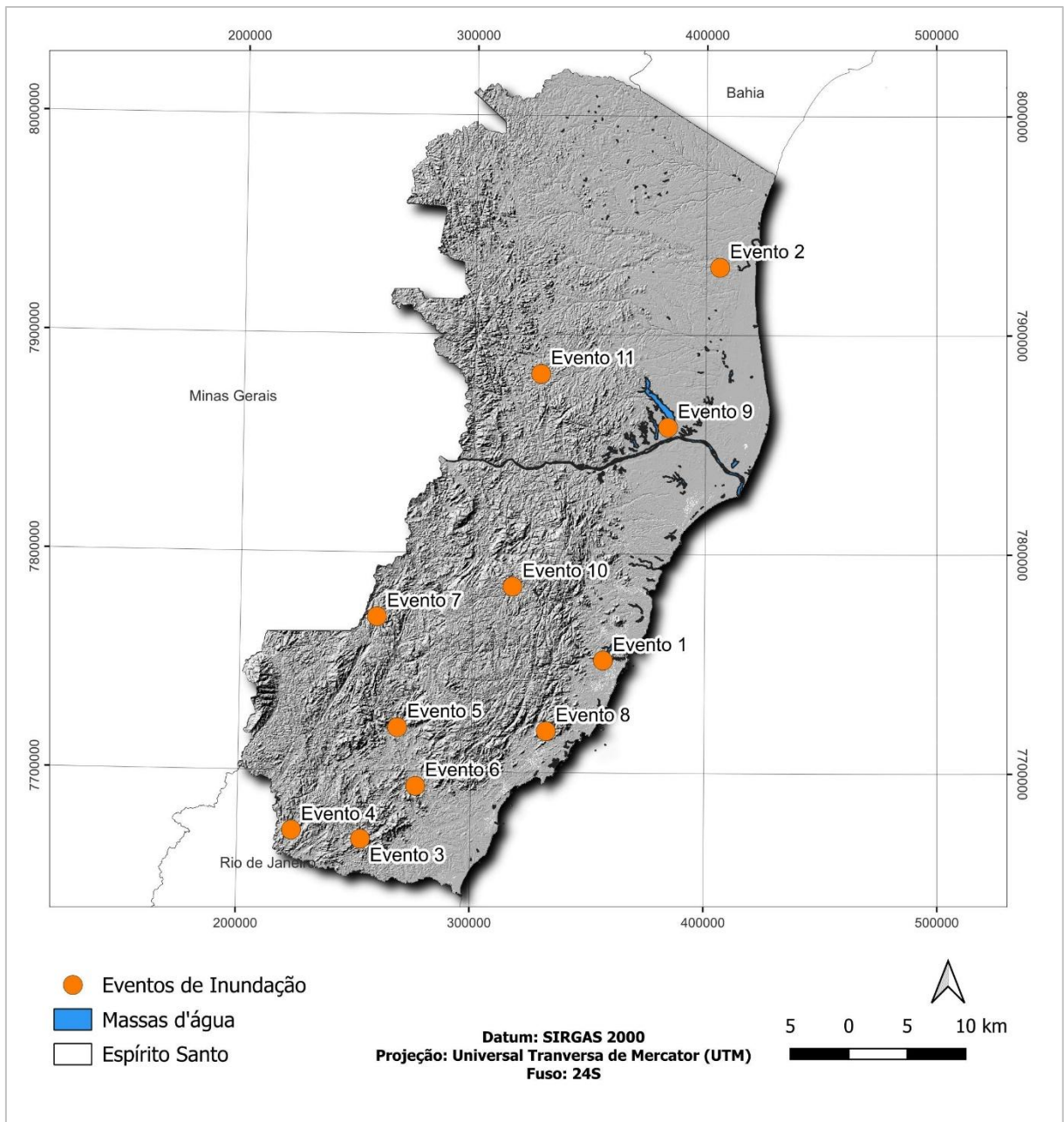
Em eventos de chuva intensa, o solo muitas vezes não consegue absorver toda a água de forma rápida o suficiente. Em áreas urbanas, a pavimentação e o concreto dificultavam ainda mais a infiltração, levando ao escoamento superficial. Consequentemente, a água começa a se acumular em ruas, praças e áreas de baixa elevação, formando enxurradas e comprometendo a eficácia dos sistemas de drenagem.

À medida que a chuva caiu e a intensidade aumentou, a quantidade de água escoada provavelmente superava a capacidade de drenagem dos cursos d'água e das redes de esgoto. Isso pode ter resultado em inundações repentinas, nas quais a água se espalhava rapidamente, inundando áreas residenciais, comerciais e agrícolas. A velocidade e o volume da água nessas situações podem ser extremamente perigosos e podem causar danos significativos à infraestrutura, ao meio ambiente e à vida humana.

Outro fator relacionado à chuva que contribuiu para as inundações é sua distribuição espacial e temporal. Em algumas regiões, podem ocorrer chuvas concentradas em períodos curtos, como tempestades intensas, enquanto em outras áreas as chuvas podem ser mais constantes e prolongadas (OLANG; FÜRST, 2011). Neste estudo, os eventos de inundações estão em sua totalidade ligados ao segundo caso, no qual, há a ocorrência de chuvas persistentes com duração de vários dias.

A Figura 5.12 mostra a localização dos 11 eventos de inundação apresentados neste item.

Figura 5.12 – Localização dos eventos de inundação.



5.2 SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES DURANTE AS INUNDAÇÕES

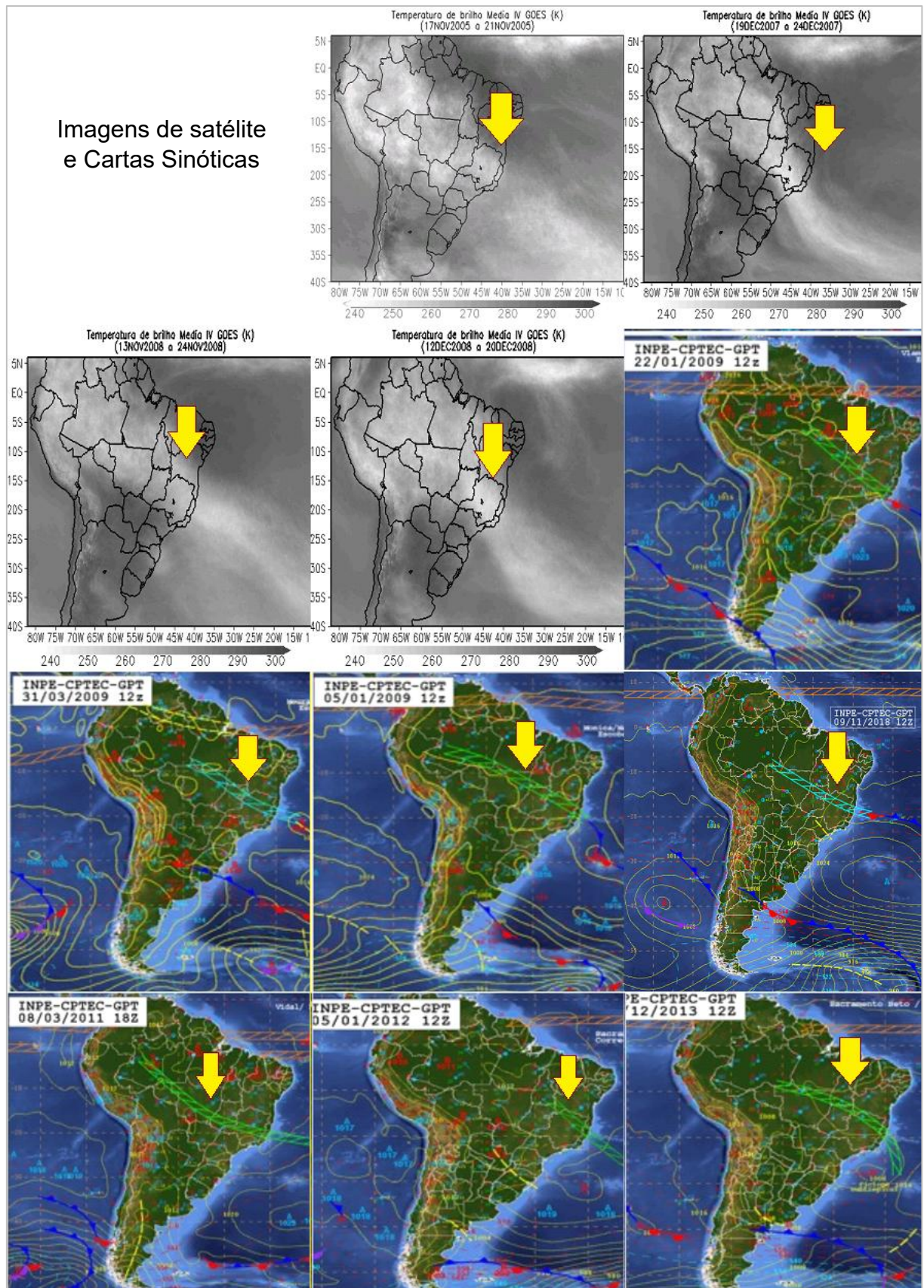
Levando em consideração que a chuva é o principal fator que desencadeia as ocorrências de inundações no estado do Espírito Santo, a compreensão dos sistemas meteorológicos que causam as precipitações intensas e consequentemente as vazões extremas foi de fundamental importância para a compreensão da ocorrência de inundações.

As análises preliminares de cada evento se deram levando em consideração a disponibilização de Cartas Sinóticas (CPTEC, 2023) e imagens de satélite (CPTEC, 2023), das quais puderam ser extraídas informações mostrando a ocorrência de eventos meteorológicos que estavam atuantes nas referidas datas, o possível impacto no volume de chuva e o consequente aumento de vazão nos corpos d'água.

A Figura 5.13 mostra os eventos meteorológicos atuantes nas datas das análises. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pôde ser identificada em todas as cartas sinóticas e nas imagens de satélite de todas as datas de ocorrências dos eventos. Alguns sistemas frontais também foram identificados na porção sul da América do Sul, não afetando, contudo, o estado do Espírito Santo.

Em cartas sinóticas, a ZCAS pôde ser identificada como duas linhas irregulares de cores esverdeadas, com traços diagonais entre elas, lembrando a silhueta de uma escada. Já na imagem de satélite do tipo "infravermelho", é possível visualizar as nuvens pela sua temperatura. As nuvens mais desenvolvidas e espessas têm uma temperatura mais baixa do que as nuvens mais finas e rasas. Ainda na Figura 5.13, as nuvens mais frias são representadas pelas cores mais claras e as nuvens mais quentes são representadas pelas cores mais escuras.

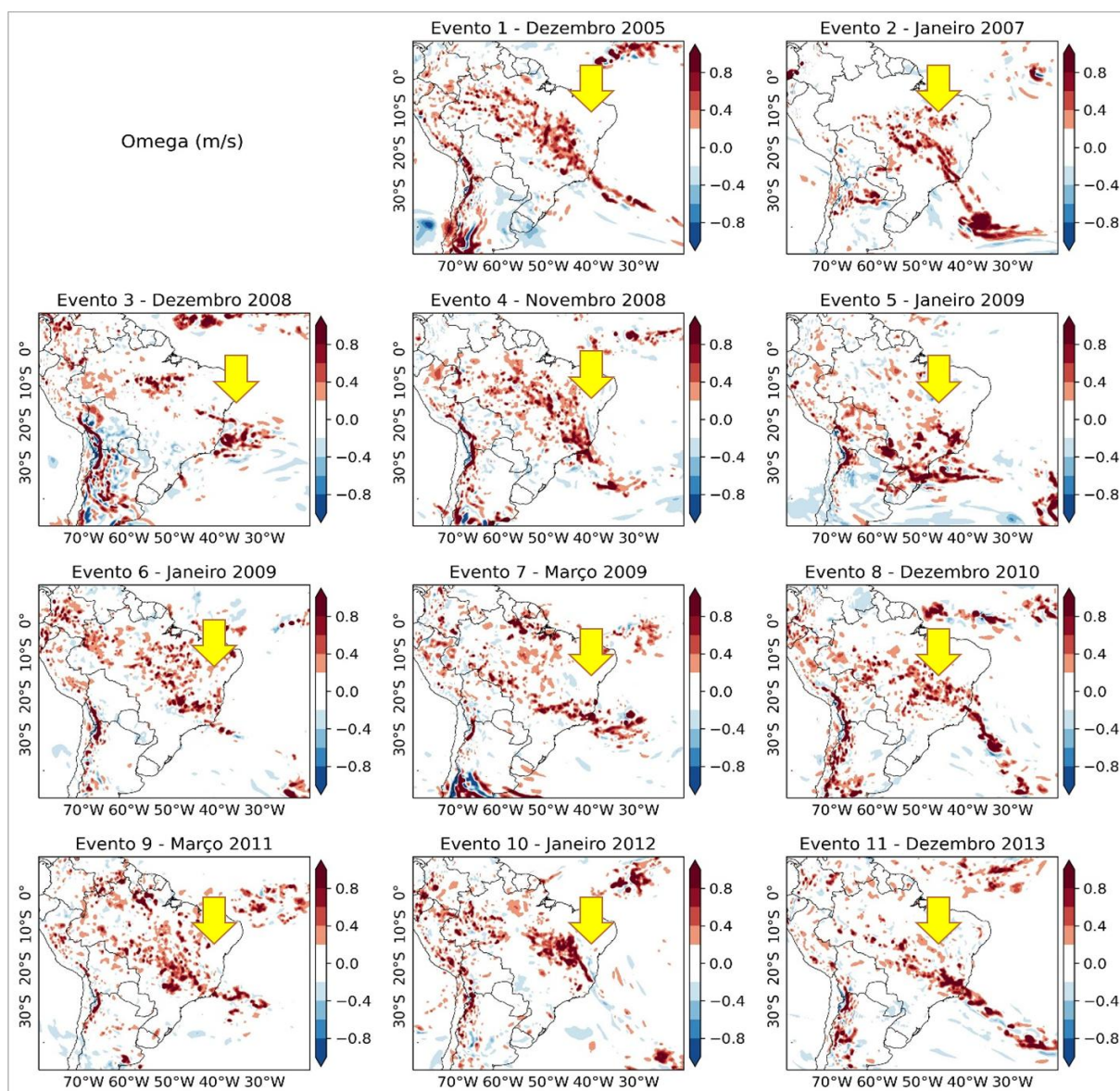
Figura 5.13 – Imagens de satélite e cartas sinóticas indicando os onze eventos de inundação.



Fonte: Adaptado de CPTEC

A avaliação de alguns parâmetros meteorológicos é fundamental para a identificação de fenômenos meteorológicos associados à chuva. Entre esses parâmetros, destacam-se a velocidade vertical dos ventos (Figura 5.14), a divergência em superfície (Figura 5.15), o transporte de umidade (Figura 5.16), a nebulosidade (Figura 5.17) e a precipitação acumulada (Figura 5.18). Esses parâmetros fornecem *insights* valiosos sobre a dinâmica atmosférica e as condições que favorecem o desenvolvimento de chuvas. As figuras de 5.14 a 5.18 apresentam esses parâmetros meteorológicos em relação aos fenômenos encontrados durante o período de ocorrência dos eventos objetos de análise do presente estudo, levando em consideração sua relevância para a área de estudo.

Figura 5.14 – Velocidade vertical dos ventos (Omega) em 250 hPa.

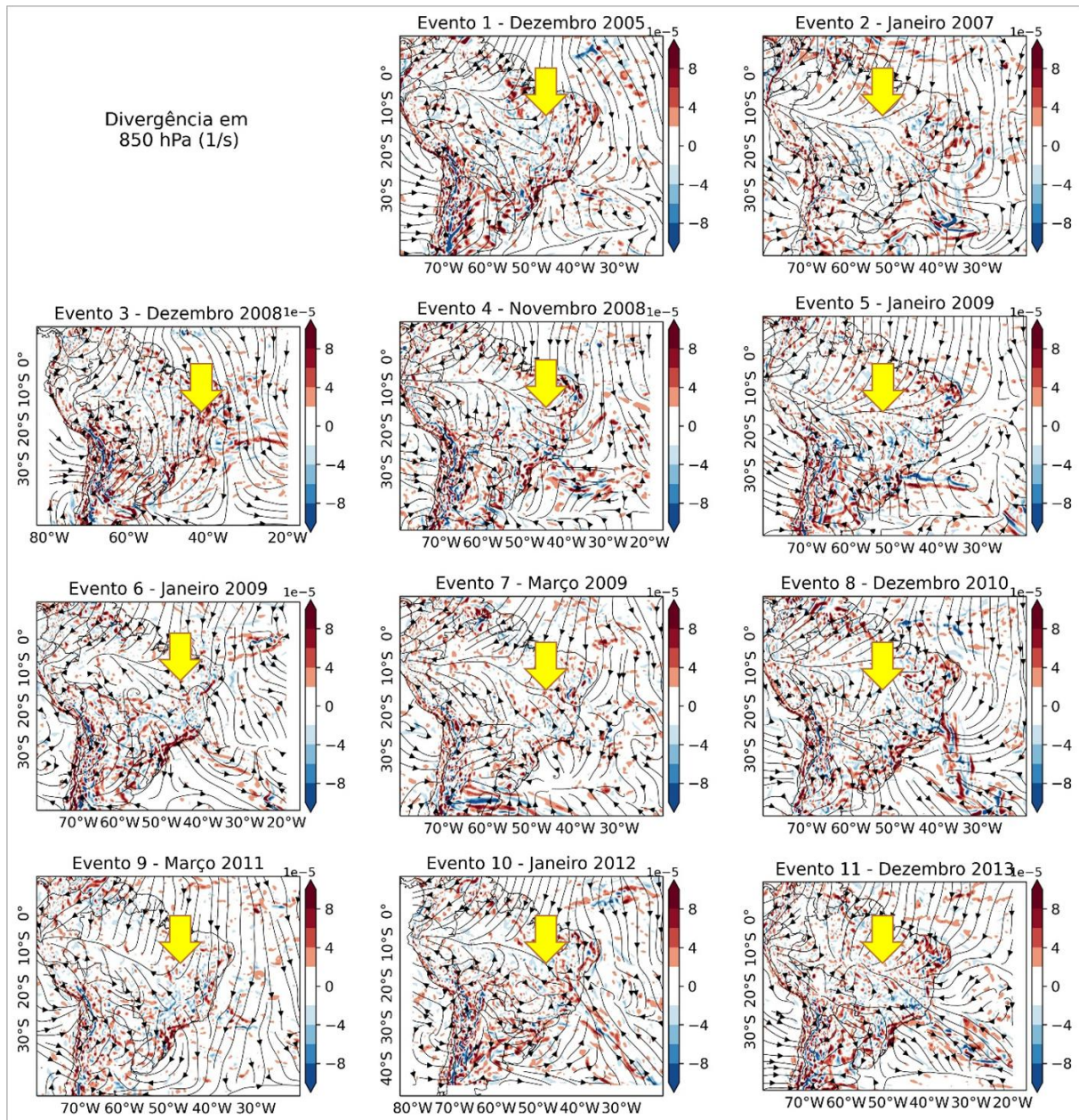


Fonte: Autoria própria. Dados ECMWF.

Na imagem de velocidade vertical dos ventos em 250 hPa, os valores positivos, representados pela cor vermelha, indicam áreas de ascendência de ventos, enquanto os valores negativos, em azul, apontam regiões de subsidência atmosférica. A ZCAS pôde ser identificada pela presença de uma área de valores positivos (vermelhos) ao longo de uma faixa estendida de noroeste a sudeste do Brasil, indicando uma região de ascensão atmosférica característica desse fenômeno. Além disso, é possível observar que essa área de valores positivos está cercada por valores negativos (azuis), sugerindo uma zona de subsidência nas áreas circundantes à ZCAS. Essa configuração é consistente com a dinâmica atmosférica associada à ZCAS, onde a convergência de ventos na superfície leva à ascensão do ar, formando nuvens e precipitação, enquanto a subsidência atmosférica nas áreas vizinhas contribui para a estabilidade atmosférica.

A Figura 5.15 apresenta os dados de Divergência na altitude referente ao nível de pressão 850 hPa e as linhas de corrente de vento. Em meteorologia, a pressão de 850 hPa refere-se a uma camada da atmosfera situada cerca de 1.500 metros acima da superfície da Terra. Essa pressão é frequentemente usada para analisar fenômenos atmosféricos, como o fluxo de vento, sem a influência da topografia.

Figura 5.15 – Divergência dos ventos em 850 hPa.



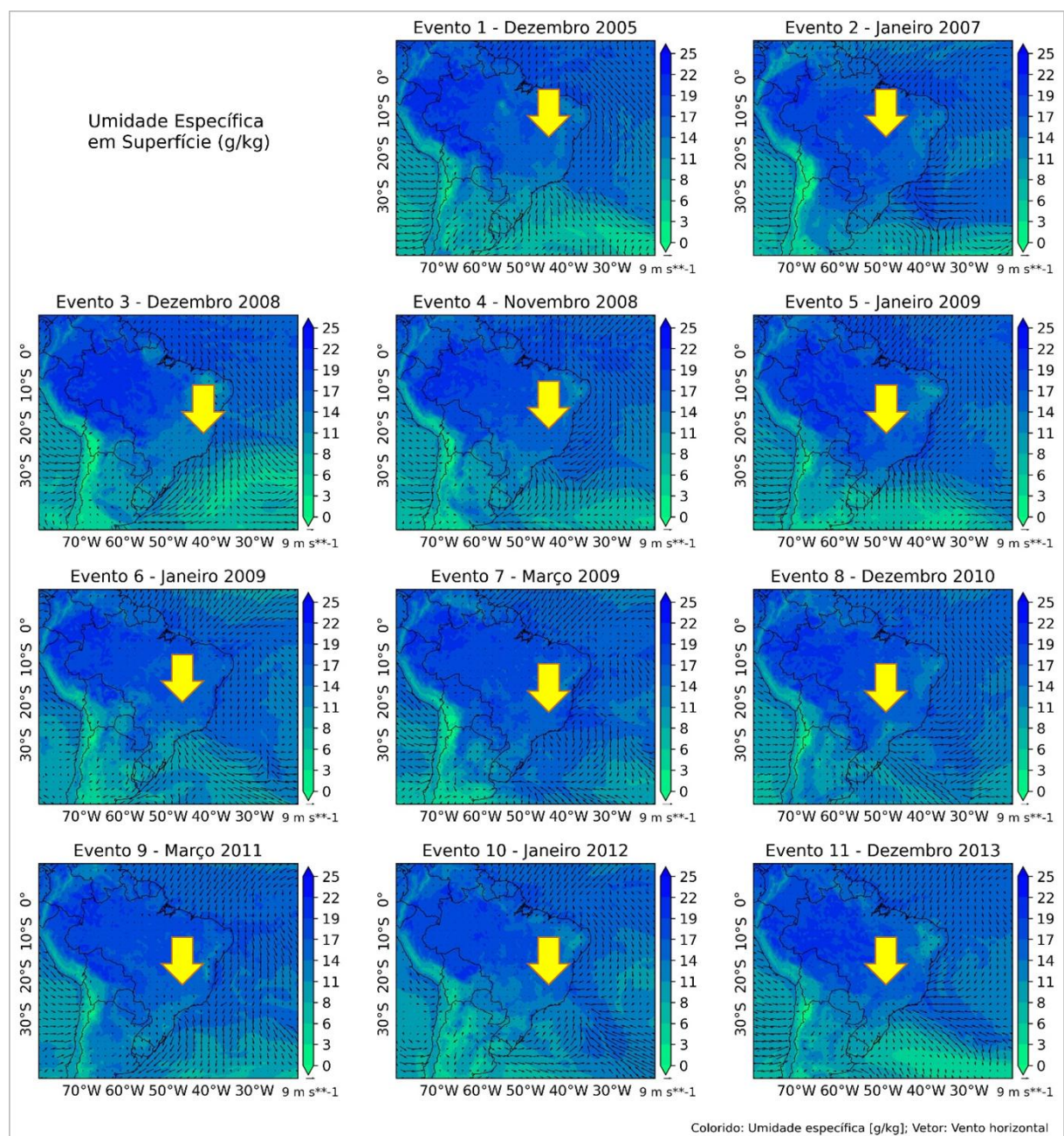
Fonte: Autoria própria. Dados ECMWF.

Na imagem de divergência de vento em 850 hPa e de linhas de corrente em superfície, onde os valores positivos de divergência são representados em vermelho, o zero em branco e os valores negativos em azul. As áreas de divergência negativa (azuis) indicam regiões onde o vento converge, sugerindo uma ascensão atmosférica associada à formação de nuvens e precipitação. Por outro lado, as áreas de divergência positiva (vermelha) indicam regiões onde o vento se afasta, possivelmente resultando em subsidência atmosférica. Ao examinar a imagem, é possível observar uma faixa de valores negativos (azuis) ao longo de uma direção noroeste-sudeste do

Brasil, característica da ZCAS. Esta área de convergência atmosférica está frequentemente associada a chuvas intensas e prolongadas. Além disso, ao correlacionar essa informação com as linhas de corrente em superfície, é possível observar padrões de convergência de vento que corroboram com a presença da ZCAS, destacando sua influência na circulação atmosférica em níveis mais baixos.

A Figura 5.16 apresenta os dados de Transporte de Umidade, indicados pelos vetores de vento transportando a umidade específica.

Figura 5.16 – Transporte de Umidade na atmosfera.

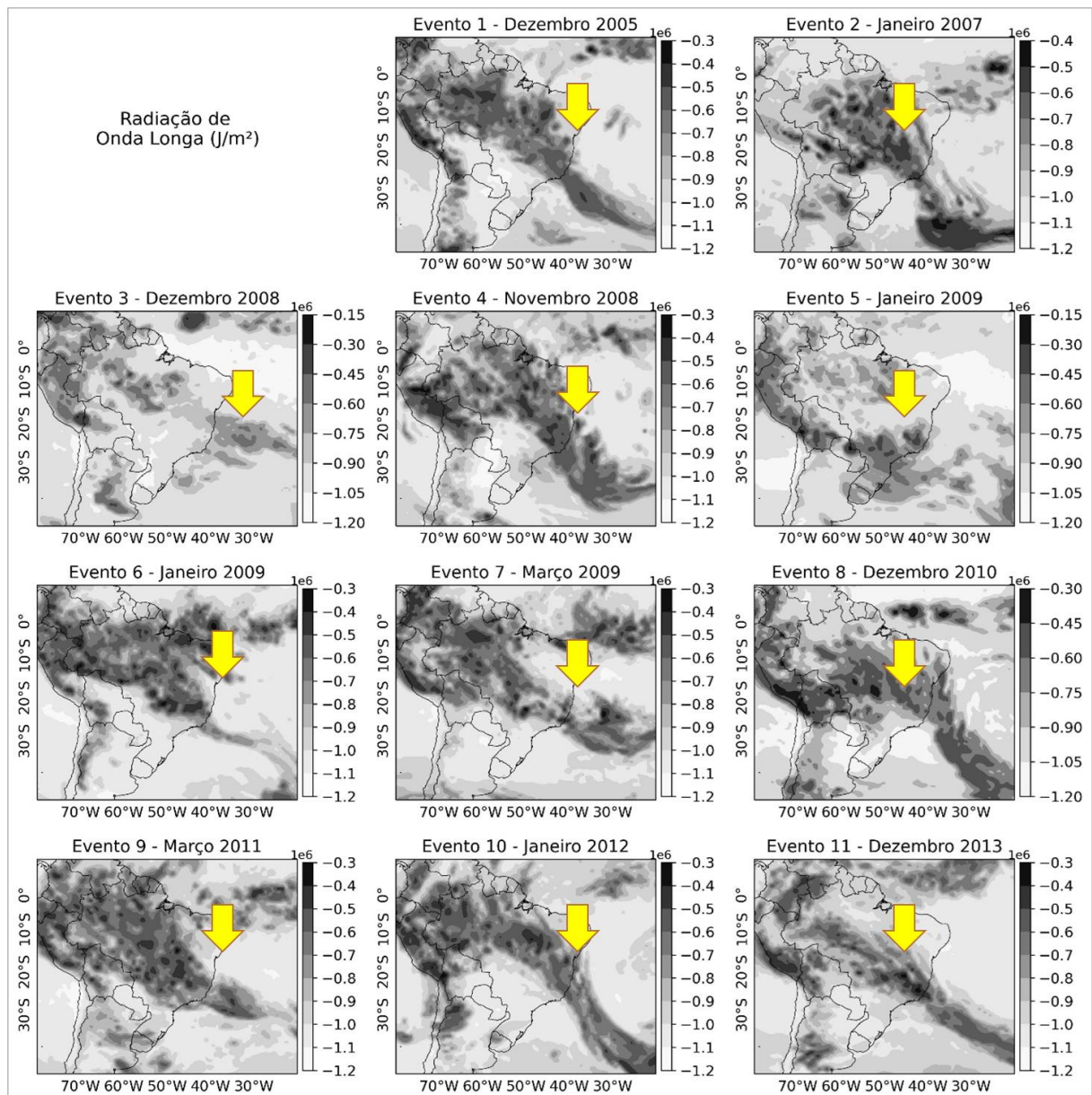


Fonte: Autoria própria. Dados ECMWF.

Na imagem de transporte de umidade, que combina vetores de vento e umidade específica em superfície, os valores de umidade específica são representados por cores que variam de verde, indicando 0 g/kg, a azul, representando 25 g/kg. A identificação da ZCAS pode ser realizada por meio das áreas de umidade específica mais elevada, representadas por tons de azul mais intensos, e onde os vetores de vento se encontram, o que pode indicar regiões onde a convergência de umidade está ocorrendo, o que é consistente com a presença da ZCAS. A convergência de umidade está frequentemente associada a regiões de ascensão atmosférica e formação de nuvens, características típicas da ZCAS.

A Figura 5.17 apresenta os dados de Nebulosidade, indicados pela radiação de onda longa em superfície.

Figura 5.17 – Nebulosidade indicada pela Radiação de Onda Longa (J/m^2).

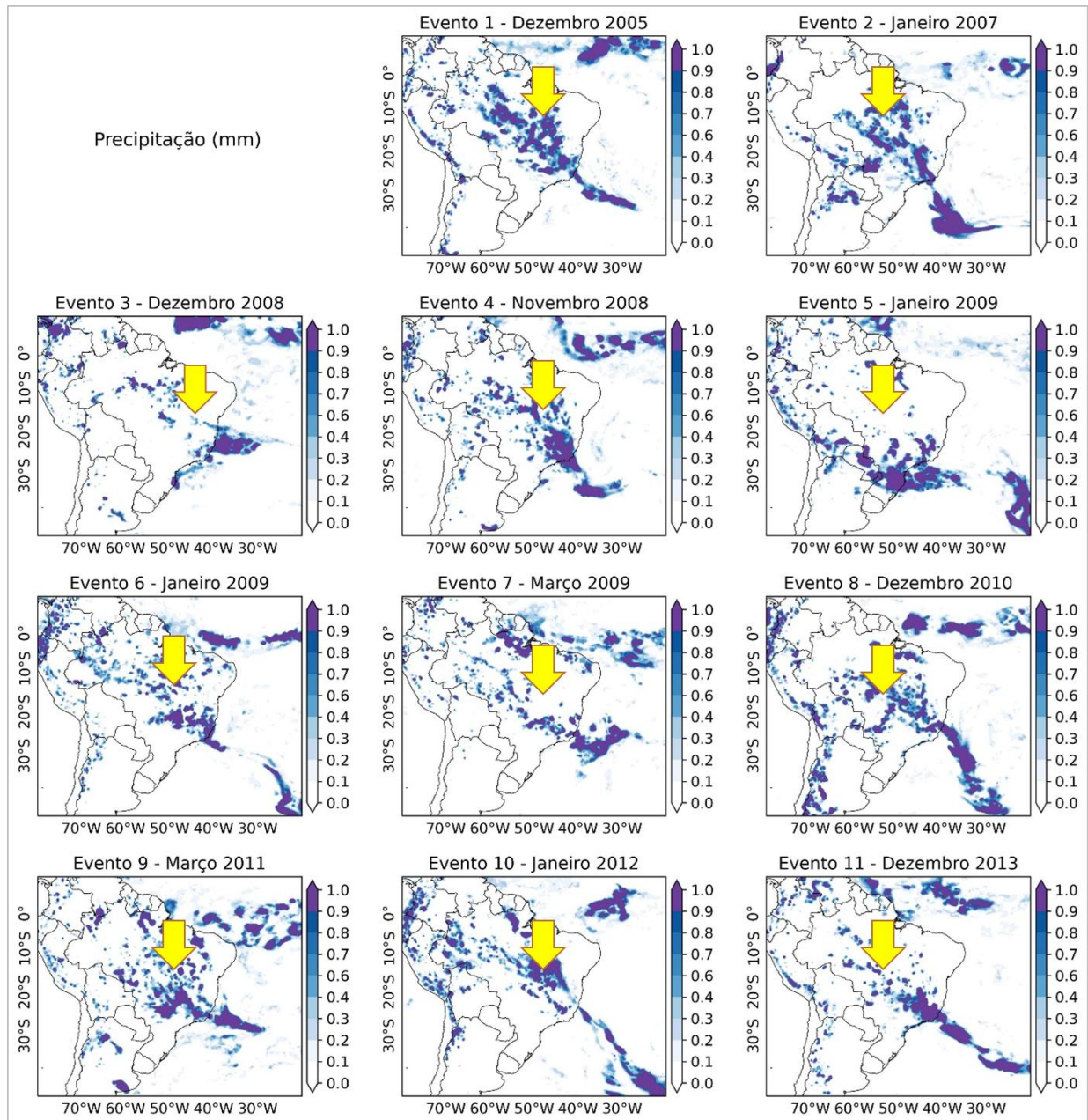


Fonte: Autoria própria. Dados ECMWF.

Na imagem de nebulosidade, representada pela radiação de onda longa em J/m^2 , os valores menos negativos são representados por tons mais escuros, como preto, enquanto os valores mais negativos são representados por tons mais claros, como branco. As áreas com valores mais negativos, representadas por tons mais claros, indicam maior radiação de onda longa e, por conseguinte, menor nebulosidade, o que sugere áreas de subsidência atmosférica. No entanto, as áreas com valores menos negativos, representadas por tons mais escuros, indicam menor radiação de onda longa e, portanto, maior nebulosidade, o que pode ser associado a áreas de ascensão atmosférica.

Por fim, a figura 5.18 apresenta os dados de Precipitação em superfície.

Figura 5.18 – Precipitação Acumulada em superfície.



Fonte: Autoria própria. Dados ECMWF.

Na imagem de precipitação acumulada, os valores zerados são representados por tons brancos e os tons azuis e tons roxos, por sua vez, indicam maior volume de precipitação. A ZCAS é frequentemente associada a chuvas intensas e prolongadas em uma faixa estendida de noroeste a sudeste do Brasil e ao examinar a Figura 5.18, é possível observar uma área de tons azuis e roxos ao longo dessa direção, indicando

uma concentração significativa de precipitação, o que é característico da influência da ZCAS. Além disso, a persistência desses tons ao longo do tempo e sua correlação com a faixa geográfica associada à ZCAS reforçam a identificação desse fenômeno meteorológico.

A partir da observação da distribuição espacial e temporal de Velocidade Vertical de Ventos, Divergência dos Ventos, Transporte de Umidade, Nebulosidade e Chuva, foi possível identificar padrões consistentes que caracterizam a presença da ZCAS atuante durante os eventos de inundação no estado do Espírito Santo.

A variável Velocidade Vertical de Ventos, revelou áreas de ascendência atmosférica típicas da ZCAS, enquanto a Divergência dos Ventos indicou regiões de convergência atmosférica, corroborando com a formação da ZCAS. Além disso, o Transporte de Umidade permitiu identificar áreas de convergência de umidade, essenciais para a sustentação do sistema. A Nebulosidade, representada pela radiação de onda longa, revelou padrões de nebulosidade consistentes com a presença desse fenômeno meteorológico, enquanto a análise da Chuva destacou áreas de precipitação intensa e prolongada associadas à ZCAS.

Por fim, a combinação dessas variáveis meteorológicas proporcionou uma análise abrangente e multidimensional para a identificação dos fenômenos meteorológicos atuantes durante os eventos de inundação, dentre os quais, em todos pôde ser constatada que a ocorrência da ZCAS foi seu precursor primário, gerando chuvas contínuas e distribuídas espacialmente no estado do Espírito Santo, ocasionando o aumento nas vazões dos rios e ultrapassando o limiar de inundação instituído pelo percentil 99 nas estações fluviométricas avaliadas.

De acordo com Deina e Coelho (2015), que avaliaram eventos de inundação no Baixo Jucú, no município de Vila Velha, a análise das inundações e comparação com os dados hidrológicos permitiu identificar que o fator que mais se destacou foi a atuação da ZCAS. Dos registros das dez maiores vazões máximas entre 1972 e 2013, constatou-se que sete delas ocorreram durante a influência desse sistema atmosférico, indicando que este pode ser um fator recorrente e de extrema importância nos estudos sobre inundações no ES.

Devido ao fato de a ZCAS ser um sistema meteorológico de escala sinótica e que se estende do centro-oeste do Brasil até o sudoeste do Oceano Atlântico, ela está associada a um padrão de circulação atmosférica que é influenciado por diversos fatores, incluindo os fenômenos climáticos conhecidos como El Niño e La Niña.

5.3 PAPEL DO EL NIÑO E DA LA NIÑA NA MODULAÇÃO DAS INUNDAÇÕES NO ES

A análise comparativa dos registros históricos de eventos de El Niño e La Niña reunidos pela Tabela 3.1 com os eventos de inundação analisados pela Tabela 5.2 indicou uma relação significativa entre esses dois fenômenos no estado do Espírito Santo. A Tabela 5.3 sumariza a relação entre os eventos de inundações estudados e a fase do El Niño Oscilação Sul (ENOS) ocorrida.

Tabela.5.3 – Relação inundações e eventos meteorológicos por fase do ENOS.

Evento	Início Cheias	Fim Cheias	Evento	
			Meteorológico Identificado	Fase ENOS
1	12/12/2005	19/12/2005	ZCAS	Neutro
2	31/01/2007	07/02/2007	ZCAS	La Niña
3	23/11/2008	01/12/2008	ZCAS	La Niña
4	16/12/2008	21/12/2008	ZCAS	La Niña
5	02/01/2009	12/01/2009	ZCAS	Neutro
6	22/01/2009	28/01/2009	ZCAS	Neutro
7	29/03/2009	05/04/2009	ZCAS	Neutro
8	29/12/2010	02/01/2011	ZCAS	La Niña
9	07/03/2011	19/03/2011	ZCAS	La Niña
10	03/01/2012	12/01/2012	ZCAS	La Niña
11	11/12/2013	29/12/2013	ZCAS	Neutro

Fonte: Autoria própria. Adaptado de CPTEC 2023.

Nos eventos em que a presença da ZCAS foi identificada, observou-se que a maioria ocorreu em anos de La Niña. Essa relação entre a atuação da ZCAS e o fenômeno La Niña ressalta a influência significativa desse padrão climático na geração de uma quantidade substancial de precipitação, sendo esta o principal precursor das inundações.

De fato, embora o fenômeno El Niño exerça uma influência notável sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a análise abrangente de todo o estado do Espírito Santo revelou que sua ocorrência não resultou em um aumento significativo na quantidade de chuva. Contudo, é importante destacar que essa conclusão pode variar caso o estado seja segmentado por regiões, uma vez que os impactos do El Niño podem diferir em escala regional. Estudos, como os de Marengo

et al. (2012), Nery (2005) e Verdan (2023) apontam que, historicamente, a influência do El Niño na ZCAS tende a se concentrar principalmente na região Sul do Brasil, resultando em um deslocamento dessa zona de convergência para o sul do país. Esse deslocamento pode levar a uma diminuição da chuva sobre o Espírito Santo, limitando os efeitos diretos do El Niño sobre as inundações na região. Dessa forma, apesar da conexão entre o El Niño e a ZCAS, os impactos desses eventos climáticos podem se manifestar de maneira diferenciada em diferentes regiões do Brasil, ressaltando a complexidade dos padrões climáticos e a importância de considerar as particularidades locais para uma compreensão mais abrangente dos fenômenos meteorológicos.

A Tabela 5.3 sintetiza que em todos os onze eventos avaliados neste estudo, o evento meteorológico atuante e responsável pela grande quantidade de chuva e consequente aumento das vazões dos rios foi a ZCAS. Nestes eventos, o ENOS estava em sua fase negativa ou neutra, ou seja, indicava a ocorrência de La Niña ou indicava anos sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña. É importante ressaltar que três eventos de inundações estudados ocorreram no ano de 2009, um ano no qual não houve fase do ENOS definida; sendo assim, este ano aumenta de modo expressivo a quantidade de registros neutros relacionados com as inundações.

Durante os anos de 2005 a 2013, o estado do Espírito Santo experimentou onze eventos de inundação, coincidindo em grande parte com períodos de La Niña. A relação entre esses eventos de inundação e a La Niña pode ser atribuída às mudanças nos padrões de precipitação e circulação atmosférica associadas a esse fenômeno climático. Durante os episódios de La Niña, há uma tendência de deslocamento da ZCAS para o norte de sua posição climatológica e esse deslocamento colocou a ZCAS diretamente sobre o estado do Espírito Santo, resultando em um aumento significativo na incidência de chuvas intensas e persistentes. Como consequência, as inundações tornaram-se mais frequentes e severas, pois a combinação entre a presença da ZCAS e as condições de resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, características do La Niña, criaram um cenário propício para a ocorrência de eventos extremos de chuva. Essas condições climáticas mais úmidas e instáveis contribuíram para a ocorrência de chuvas intensas e prolongadas, levando a inundações em áreas como o Espírito Santo.

Por outro lado, períodos de ENOS neutros, caracterizados por condições climáticas próximas à média, também desempenharam um papel na ocorrência de

eventos de inundação no Espírito Santo entre 2005 e 2013. Durante esses períodos, os padrões climáticos podem ser influenciados por outros fatores atmosféricos e oceânicos, levando a variações na distribuição e intensidade das chuvas.

5.4 PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E ADAPTAÇÃO AOS EVENTOS DE INUNDAÇÕES NO ESTADO DO ES

Considerando que os eventos de inundação no estado do Espírito Santo ocorrem principalmente devido à combinação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) com a influência da La Niña, é essencial adotar estratégias de prevenção e adaptação para minimizar os impactos desses eventos extremos. Uma abordagem eficaz para lidar com essas situações é investir em sistemas de alerta precoce e monitoramento meteorológico. Isso inclui o desenvolvimento de redes de sensores e tecnologias de previsão meteorológica avançadas, que podem detectar padrões climáticos anômalos associados à ZCAS e à La Niña e emitir alertas tempestivos às comunidades vulneráveis. A solução do problema das inundações no estado do Espírito Santo é uma tarefa bastante complexa, pois além das peculiaridades de ordem local na região, já conhecidas e que facilitam as inundações, há ainda a interferência destes sistemas atmosféricos cuja área de atuação encontra-se numa escala mais ampla.

O monitoramento tanto dos eventos de El Niño e La Niña quanto da ZCAS pelo CPTEC, pela Marinha do Brasil e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ganha destaque neste contexto ao fornecer informações regulares sobre a atuação deste sistema atmosférico no Brasil. Estas informações podem e devem ser utilizadas pelo poder público competente durante o processo de planejamento e gestão do território.

Além disso, é essencial vincular o planejamento urbano sustentável e a gestão adequada dos recursos hídricos à compreensão dos efeitos da La Niña e da ZCAS nas inundações. A intensificação da precipitação causada pelo conjunto de fatores, exige a implementação de medidas eficazes de controle e/ou adaptação às inundações, como a construção de diques e barragens, desassoreamento de rios e córregos, e criação de áreas de retenção de água. Investir em infraestrutura resiliente se torna ainda mais crucial diante desses fenômenos climáticos, garantindo que

estradas, pontes e sistemas de drenagem sejam preparados para resistir aos eventos extremos associados à La Niña e à ZCAS.

Investir na ampliação e modernização da infraestrutura de drenagem urbana em áreas vulneráveis às inundações se tornam medidas preventivas necessárias, considerando o impacto potencial de eventos causados tanto pela La Niña quanto pela ZCAS. A construção de novos canais de drenagem e a manutenção das estruturas existentes devem ser adaptadas para suportar as inundações intensificadas por esses fenômenos. Medidas de contenção de cheias e a manutenção dos sistemas de drenagem tornam-se fundamentais para minimizar os impactos das chuvas exacerbadas por essas condições climáticas.

O fortalecimento das comunidades locais por meio de programas de capacitação e educação em gestão de riscos de desastres é fundamental para enfrentar a volatilidade climática associada a fenômenos como El Niño e La Niña. Embora esses eventos climáticos possam ter efeitos diretos, como chuvas intensas ou secas severas, a resiliência comunitária atua como uma mitigação eficaz. A capacitação dos moradores em medidas de segurança e a elaboração de planos de contingência ajudam a preparar as comunidades para responder rapidamente a emergências, minimizando danos e facilitando a recuperação econômica e social. Esses esforços são essenciais, especialmente em regiões vulneráveis, onde os impactos das mudanças climáticas são mais acentuados.

Por fim, é crucial promover a conscientização pública sobre os riscos associados aos eventos de inundação que estão associados a La Niña e a importância da adoção de medidas preventivas. Campanhas de educação ambiental, *workshops* comunitários e atividades de engajamento podem ajudar a aumentar a conscientização sobre os impactos das mudanças climáticas e a necessidade de adaptação e resiliência. Essas estratégias combinadas podem contribuir significativamente para reduzir a vulnerabilidade do estado do Espírito Santo aos eventos de inundação e promover um desenvolvimento sustentável e seguro no futuro. Desenvolver e implementar políticas de zoneamento e uso do solo que considerem os riscos de inundação, inclusive os associados à La Niña, evitando a ocupação de áreas de alta vulnerabilidade e incentivando práticas construtivas mais resistentes em regiões suscetíveis a inundações poderia ser uma tática utilizada na conscientização. A conscientização e a preparação são fundamentais para enfrentar

os desafios impostos pela ocorrência do El Niño e La Niña, garantindo que as comunidades estejam melhor equipadas para lidar com as incertezas climáticas.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Com base no critério dos percentis, foram identificados 11 eventos de enchentes nas séries históricas de dados de vazão de 37 estações fluviométricas da ANA. A presença consistente da ZCAS em todos esses eventos indica sua importância como sistema meteorológico desencadeador de enchentes no estado do Espírito Santo. A ZCAS é conhecida por causar chuvas intensas e persistentes em determinadas regiões, o que pode levar a inundações.

Além disso, a observação de que mais de 60% das enchentes causadas pela ZCAS ocorreram em anos de La Niña sugere uma relação entre esses fenômenos climáticos. Durante o fenômeno La Niña, observou-se um deslocamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) para o norte de sua posição climatológica habitual, o que causou impacto direto no estado do Espírito Santo. Esse deslocamento coloca a ZCAS diretamente sobre a região, resultando em um aumento significativo na incidência de chuvas intensas e persistentes. Como consequência, as chuvas tornam-se mais frequentes e severas, pois a combinação entre a presença da ZCAS e as condições de resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, características do La Niña, criam um cenário propício para a ocorrência de eventos extremos, que propiciam as inundações.

As análises indicam que o fenômeno El Niño não exerce uma influência ou impacto significativo nas inundações no estado do Espírito Santo, uma vez que nenhum dos eventos identificados com vazão acima do percentil 99 ocorreu em anos caracterizados por esse fenômeno climático. Entretanto, apesar da ausência de uma relação direta entre o El Niño e as inundações na região, é fundamental ressaltar que esses eventos podem ser provocados por uma variedade de outros fatores, o que não descarta a possibilidade de sua ocorrência.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Buscando avançar no aperfeiçoamento do estudo, recomenda-se para desenvolvimento de trabalhos futuros:

- O desenvolvimento de modelos de previsão de inundações que integrem dados históricos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e eventos de La Niña. Esses modelos podem simular cenários de enchentes em diferentes intensidades de chuvas, permitindo não apenas a previsão de eventos extremos, mas também a avaliação de suas consequências em áreas vulneráveis. A criação de um sistema de modelagem robusto, que considere variáveis meteorológicas, hidrológicas e geográficas, pode auxiliar na formulação de estratégias de gestão de risco hídrico e na elaboração de políticas públicas eficazes para a mitigação de inundações
- O desenvolvimento de estudos e de sistemas de alerta precoce que utilizem dados em tempo real sobre a ZCAS e previsões meteorológicas. A implementação de tecnologias que integrem essas informações pode permitir que autoridades e comunidades recebam alertas tempestivos sobre a possibilidade de enchentes, aumentando a eficácia das respostas em situações de crise. O desenvolvimento de ferramentas acessíveis e compreensíveis para a população, pode garantir que informações críticas cheguem a todos os membros da comunidade em tempo hábil de prevenção. Além disso, pode-se considerar a adaptação desses sistemas a diferentes contextos locais, levando em conta a infraestrutura disponível e as características socioeconômicas das regiões afetadas.
- A condução de estudos que analisem como as mudanças climáticas podem estar impactando a frequência e a intensidade dos eventos relacionados à ZCAS e La Niña. Compreender essa dinâmica é vital para a formulação de políticas de adaptação a longo prazo que levem em conta as projeções climáticas futuras. Este tipo de pesquisa onde é inclusa a análise de dados históricos e a aplicação de modelos climáticos pode prever tendências e possíveis cenários de risco. Além disso, os resultados podem informar a elaboração de estratégias de gestão de recursos hídricos e de urbanização, garantindo que o desenvolvimento das áreas afetadas considere as futuras condições climáticas e a necessidade de infraestrutura resiliente.

Considerando os graves problemas causados no estado do Espírito Santo por fenômenos como a ZCAS, incluindo grandes prejuízos financeiros e até perdas de vidas, recomenda-se uma série de ações, apresentadas, a seguir: Implementar um sistema de monitoramento contínuo que inclua dados meteorológicos específicos que indiquem a formação e a intensidade da ZCAS, além das condições oceânicas relacionadas à La Niña, com maior integração entre dados de vazão e precipitação, a fim de identificar a ultrapassagem dos limiares de vazão determinados pelo percentil 99 em tempo real contribuiria com o alerta e a prevenção das ocorrências de inundação. Utilizar sistemas de alerta precoce que integrem previsões meteorológicas e climáticas e dados hidrológicos, podem permitir respostas mais rápidas e eficazes por parte das autoridades. A utilização dos limiares de vazão pelos comitês regionais de gestão de risco também possui um apelo central em uma estratégia de mitigação e prevenção especialmente em contextos onde a conjunção da ocorrência de La Niña e da ZCAS pode aumentar a frequência ou intensidade as inundações.

Criar um mapeamento detalhado das áreas que excedem regularmente o percentil 99 de vazão, categorizando essas regiões como de alta vulnerabilidade às inundações provenientes da conjunção da La Niña e ZCAS pode ajudar a priorizar a construção de infraestrutura de controle de cheias e a relocação de moradias. A construção de infraestrutura verde, como parques de retenção e jardins de chuva, que ajudem a reduzir o escoamento superficial em áreas urbanas pode ser particularmente útil nas bacias hidrográficas onde este limiar é frequentemente excedido.

Tendo em vista a identificação da ZCAS como principal parâmetro meteorológico atuante nas inundações no estado do ES, seu monitoramento contínuo deve ser priorizado, utilizando ferramentas de previsão meteorológica em tempo real para identificar quando e onde a ZCAS irá se formar. Esse monitoramento deve integrar dados meteorológicos regionais e globais, associando a previsão de chuvas intensas ao comportamento da ZCAS. Com esses dados, é possível que a defesa civil e outros órgãos competentes possam emitir alertas tempestivos para as regiões mais suscetíveis a inundações. Ferramentas de previsão climática de longo prazo, como modelos de previsão sazonal e sistemas de alerta baseados em dados históricos da ZCAS, podem ajudar a antecipar períodos de maior risco. Esses modelos devem ser usados para planejar ações preventivas antes da temporada de chuvas intensas, garantindo uma preparação mais eficaz.

A previsibilidade do fenômeno La Niña abre oportunidades para melhorar a preparação e a resposta a eventos de enchentes. Como o La Niña possui uma previsibilidade relativamente alta em comparação com outros fenômenos climáticos, é possível antecipar períodos de maior suscetibilidade a enchentes. Isso permite que autoridades e comunidades locais possam implementar medidas preventivas e de mitigação com antecedência. Estabelecer uma força-tarefa estadual para monitorar e responder aos impactos do fenômeno La Niña, com membros de órgãos meteorológicos como o CEMADEN, CPTEC e o INPE, defesa civil, planejamento urbano e saúde pública, pode contribuir com a prevenção e mitigação das inundações. Essa equipe coordenaria as ações preventivas, o monitoramento contínuo e a resposta rápida durante os períodos de alta vulnerabilidade.

Fortalecer a coordenação entre diferentes instituições, como o INMET, CPTEC e Defesa Civil, para garantir que as informações sobre a La Niña e a ZCAS sejam compartilhadas de forma rápida e eficaz. Parcerias com universidades e centros de pesquisa também podem ser estabelecidas para melhorar o entendimento dos impactos destes fenômenos meteorológicos e desenvolver soluções inovadoras para mitigar os riscos de inundações.

A conscientização pública deve ser intensificada, com campanhas voltadas para a preparação e a adoção de práticas preventivas, fomentando uma cultura de segurança e adaptação contínua às incertezas climáticas. Ao adotar uma abordagem integrada que une monitoramento, infraestrutura resiliente, planejamento urbano sustentável e engajamento comunitário, o estado estará mais preparado para mitigar os impactos das inundações e assegurar um desenvolvimento duradouro e seguro.

7 AGRADecIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023.

Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfªÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Geonomos**, v. 6, n. 1, p. 17-22, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Glossário de termos hidrológicos**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/biblioteca/glossario.aspx>>. Acesso em: 1 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://cnar.ana.gov.br/cnar/>>. Acesso em: 10 maio 2023.

ALMEIDA SILVA, K.; DE SOUZA ROLIM, G.; BORGES VALERIANO, T. T. Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 139, p. 1019–1029, 2020. <<https://doi.org/10.1007/s00704-019-03039-9>>. Acesso em: 3 outubro 2024.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Tropical Pacific and South Atlantic effects on rainfall variability over Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1895–1912, 2006. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ac674ab60708f589eef0d83c338702159b802b1a>>. Acesso em: 3 outubro 2024.

ARAÚJO, A. C. **ZCAS - Revisão bibliográfica**. 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/337145038_ZCAS_-_Revisao_bibliografica>. Acesso em: 9 maio 2023.

ARPINI, C. M. Efeito dos sistemas atmosféricos sobre o regime pluviométrico no estado do Espírito Santo. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Instituto Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 72. 2023.

BARRETO, N. J. C. Relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico, El Niño Oscilação Sul e Circulação Atmosférica de Verão na América do Sul. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do Alagoas, Alagoas, 2009. p. 78.

BENGTSON, H. H. Highway hydrology. **Hydraulic Design Series** No. 2, 2. ed. 2002.

BRAGANÇA, C. G. J. F. N. Análise da Influência dos Fenômenos El Niño e La Niña na Ocorrência de Eventos Climáticos de Seca e Enchente,. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 123. 2024.

BRATH, A.; MONTANARI, A.; TOTH, E. Analysis of the effects of different land use on flood generation in the upper part of the Reno basin. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 31, p. 1241-1249, 2006.

BRAVO-CABRERA, J. L.; AZPRA-ROMERO, E.; ZARRALUQUI-SUCH, V.; GAY-GARCÍA, C. Effects of El Niño in Mexico during rainy and dry seasons: an extended treatment. **Atmósfera**, Ciudad de México, v. 30, n. 3, p. 221-232, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362017000300221&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 1 outubro 2024.

CAMUFFO, D.; BECHERINI, F.; DELLA VALLE, A. Relationship between selected percentiles and return periods of extreme events. **Acta Geophysica**, v. 68, n. 4, p. 1201–1211, 2020.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. **Atmospheric Research**, v. 118, p. 27-40, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169809512001871>>. Acesso em: 3 outubro 2024.

COELHO, C. A. S.; DE OLIVEIRA, C.P., AMBRIZZI, T. et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11, p. 3737–3752, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>>. Acesso em: 3 outubro 2024.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). Boletim Climanálise. [Internet]. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE; 2023. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 10 maio 2023.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). Cartas sinóticas da América do Sul. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE; 2023.

Disponível em: <<http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/Superficie/?C=M;O=A>>. Acesso em: 10 maio 2023.

CHUEASA, B.; HUMPHRIES, U. W.; WAQAS, M. Influence of El Niño southern oscillation on precipitation variability in Northeast Thailand. **MethodsX**, v. 13, p. 102954, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124004059>>. Acesso em: 1 outubro 2024.

COELHO, André L. N. Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundações urbanas após eventos de chuva concentrada. **GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology**, v. 27, n. 51, p. 760-775, 2017. Disponível em: <http://www.geofocus.org>. Acesso em: 14 dez. 2024.

COSTA, C. S.; CARNEIRO, T. F.; HADDAD, E. A. Importância do planejamento urbano na prevenção de desastres naturais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 1, p. 244-266, 2015.

COSTA, D. C. et al. Planejamento urbano e gestão de riscos de desastres: o caso das inundações em Vitória/ES. **Revista Gestão e Sociedade**, v. 12, n. 32, p. 2176-2197, 2018.

DEINA, M. A.; COELHO, A. L. N. A influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nos eventos de inundação no Baixo Jucu em Vila Velha (ES). **Geografia** (Londrina), v. 24, n. 2, p. 05–23, 2016. <<https://doi.org/10.5433/2447-1747.2015v24n2p05>>. Acesso em: 3 outubro 2024.

DESCUBRA CASTELO. Enchente varre Castelo. Descubra Castelo, [s.d.]. Disponível em: <<https://descubracastelo.com.br/enchente-varre-castelo/>>. Acesso em: 2 out. 2024.

DUARTE, M. L.; RIBEIRO, A. Influência do El Niño e La Niña na produtividade de plantios de eucalipto em distintas regiões no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 33, e61334, 2023.

EASTERLING, D. R.; EVANS, J. L.; GROISMAN, P. YA; KARL, T. R.; KUNKEL, K. E.; AMBENJE, P. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 81, n. 3, p. 417-425, 2000.

EKEU-WEI, I. T. Evaluation of hydrological data collection challenges and flood estimation uncertainties in Nigeria. **Environment and Natural Resources Research**, v. 8, n. 2, 2018.

ESTADÃO. ES enfrenta pior enchente dos últimos 35 anos. O Estado de S. Paulo, 20 nov. 2005. Disponível em: <<https://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,es-enfrenta-pior-enchente-dos-ultimos-35-anos,20051120p18150>>. Acesso em: 2 out. 2024.

EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS. Reanalysis 1940-present in pressure levels. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/search?type=dataset>>. Acesso em: 26 abr. 2024.

FERNÁNDEZ, D. M. et al. Understanding flood risk in the Anthropocene: nature–society trajectories and dynamics in the Central Andes of Peru. **Ambio**, v. 48, p. 107-124, 2019.

FOLHA DE S. PAULO. Chuva provoca destruição e mortes no Espírito Santo. Folha de S. Paulo, 5 jan. 2007. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u355358.shtml>>. Acesso em: 2 out. 2024.

FOLHA DE S. PAULO. Chuvas deixam três municípios ilhados no Espírito Santo. Folha de S. Paulo, 10 dez. 2008. Disponível em: <<https://m.folha.uol.com.br/cotidiano/2008/12/481463-chuvas-deixam-tres-municipios-ilhados-no-espírito-santo.shtml>>. Acesso em: 2 out. 2024.

FORTUNATO DE FARIA, L. F. DE et al. Synoptic and mesoscale analysis of a severe weather event in southern Brazil at the end of June 2020. **Atmosphere**, v. 14, n. 3, p. 486, 2023.

FUNCEME. Previsão climática para o verão 2022/2023. Disponível em: <<https://www.funceme.br/previsao-climatica/previsao-climatica-para-o-verao-2022-2023/>>. Acesso em: 9 mai. 2023.

G1. Chuva no Espírito Santo: veja as cidades que mais registraram volume de água em 24 horas. Disponível em: <<https://g1.globo.com/es/espírito->

santo/noticia/2020/12/17/chuva-no-espirito-santo-veja-as-cidades-que-mais-registraram-volume-de-agua-em-24-horas.ghml>. Acesso em: 9 mai. 2023.

G1. Chuva forte deixa desabrigados e desalojados no ES. Disponível em: <<https://g1.globo.com/es/espirito-santo/noticia/2021/10/12/chuva-forte-deixa-desabrigados-e-desalojados-no-es.ghml>>. Acesso em: 25 abr. 2024.

GEOCITIES. Espírito Santo. Disponível em: <<https://www.geocities.ws/referenciaes/Geografia/espirito-santo.htm>>. Acesso em: 10 mai. 2023.

GHASEMIFARD, H. et al. High post-season *Alnus* pollen loads successfully identified as long-range transport of an alpine species. **Atmospheric environment (Oxford, England: 1994)**, v. 231, n. 117453, p. 117453, 2020.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.

GRIMM, A. M. et al. Changes in synoptic patterns associated with extreme precipitation events in southeastern South America. **Journal of Climate**, v. 11, p. 1939-1955, 1998.

GRIMM, A. M. et al. Climate–land cover relationships at the mesoscale: the signature of the El Niño on the ecosystems of the Península Valdés, Argentina. **Journal of Climate**, v. 13, n. 9, p. 1696-1711, 2000.

GODÍNEZ-DOMÍNGUEZ, E. et al. Changes in the structure of a coastal fish assemblage exploited by a small-scale gillnet fishery during an El Niño–La Niña event. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 51, n. 6, p. 773-787, 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771400907248>>. Acesso em: 1 out. 2024.

GORRITTI, E. Forte chuva faz Vila Velha decretar estado de emergência. **Terra**, 6 jan. 2012. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/es-forte-chuva-faz-vila-velha-decretar-estado-de-emergencia,8a784cb8511da310VgnCLD200000bbccceb0aRCRD.html>>. Acesso em: 2 out. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Plano estadual de recursos hídricos do Estado do Espírito Santo. Produto 2 | Diagnóstico dos recursos hídricos do Estado do Espírito Santo - Relatório sobre eventos críticos (D3). Revisão 3. Vitória: [s.n.], ago. 2017.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Relatório técnico da Etapa A (REA) do processo de planejamento dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana: diagnóstico e o prognóstico das condições de uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana como subsídio fundamental ao enquadramento e plano de recursos hídricos. Vitória, 2018. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/Itabapoana/Plano%20de%20Bacia/REA_DiagnosticoPrognostico_CCBH%20Itabapoana.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2024.

G1. Mais de 2 mil pessoas estão desalojadas no ES, diz Defesa Civil. G1, 5 jan. 2012. Disponível em: <<https://g1.globo.com/espirito-santo/noticia/2012/01/mais-de-2-mil-pessoas-estao-desalojadas-no-es-diz-defesa-civil.html>>. Acesso em: 2 out. 2024.

G1. Quatro cidades decretam emergência por causa da chuva no ES. G1, 30 dez. 2010. Disponível em: <<https://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/12/quatro-cidades-decretam-emergencia-por-cao-da-chuva-no-es.html>>. Acesso em: 2 out. 2024.

G1. Chuva no ES bloqueia estrada e gera trânsito em cidade em emergência. G1, 18 mar. 2011. Disponível em: <<https://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/03/chuva-no-es-bloqueia-estrada-e-gera-transito-em-cidade-em-emergencia.html>>. Acesso em: 2 out. 2024.

HAN, Z.; LI, G.; ZHANG, X.; LI, Y.; MA, J.; TANG, X. Synoptic and mesoscale drivers of surface ozone variability in Eastern China. **Science of the Total Environment**, v. 703, p. 134690, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231019302098>. Acesso em: 14 dez. 2024.

HARRIGAN, S. et al. GloFAS-ERA5 operational global river discharge reanalysis 1979–present. **Earth system science data**, v. 12, n. 3, p. 2043–2060, 2020.

HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. **Royal Meteorological Society (Great Britain)**, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.

HORTA, I. T. L. G.; NEVES, G. Z. F. Condições climáticas e meteorológicas associadas aos desastres naturais em São Luiz do Paraitinga–SP: análise dos verões de 1982 a 2014. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 06, 2019.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge: **Cambridge University Press**, 1997.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Espírito Santo. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es.html>>. Acesso em: 10 mai. 2023.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). Recursos hídricos. Disponível em: <<http://iema.es.gov.br/recursos-hidricos>>. Acesso em: 1 out. 2024.

INMET. Normais climatológicas do Brasil 1991-2020. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021.

INMET. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Disponível em: <<https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/previsao-de-tempo/zona-de-convergencia-do-atlantico-sul>>. Acesso em: 9 mai. 2023.

IPCC. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: regional aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

IPCC. **Global warming of 1.5°C**. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: IPCC, 2018.

JORNAL DO BRASIL. ES registra em 48 horas chuvas esperadas para todo o mês. Jornal do Brasil, 7 dez. 2009. Disponível em:

<<https://www.jb.com.br/pais/noticias/2009/12/07/amp/es-registra-em-48-horas-chuvas-esperadas-para-todo-o-mes.html>>. Acesso em: 2 out. 2024.

JORNAL FATO. Nove anos do temporal que arrasou distrito. Jornal Fato, 25 jan. 2008. Disponível em: <<https://jornalfato.com.br/cidades/nove-anos-do-temporal-que-arrasou-distrito-,235210.jhtml>>. Acesso em: 2 out. 2024.

JOSHI, N. et al. Assessing the effects of climate variability on groundwater in Northern India. **World Environmental and Water Resources Congress**, 2020. p. 41-52. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784482964.005>>. Acesso em: out. 2024.

KAYANO, M. T.; ALVARES, J. A.; SOUZA, A. L. P.; NOGUEIRA, J. C.; ZAMPIERI, M. S. A. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 45-58, 2024. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jdsci/a/X74hT8X8hj7LFF9y9mcNgf/?lang=pt>>. Acesso em: 14 dez. 2024.

KAYANO, M.; ANDREOLI, R. V. Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and the El Niño–Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 111, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2005JD006142>>. Acesso em: 3 out. 2024.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNANDEZ, J. P. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, p. 121–135, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-009-0207-9>>. Acesso em: 3 out. 2024.

LINDERSON, S. et al. Global riverine flood risk – how do hydrogeomorphic floodplain maps compare to flood hazard maps? **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 21, p. 2921–2948, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/nhess-21-2921-2021>>. Acesso em: 3 out. 2024.

LITTLE, R. J. A.; RUBIN, D. B. **Statistical analysis with missing data**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2002.

MARENGO, J. A. et al. Climate variability and trends in Central and South America during the last 100 years. In: Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future. **Dordrecht: Springer Netherlands**, 2009. p. 101-122. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-3055-9_7>. Acesso em: 9 mai. 2023.

MARENGO, J. A. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco, and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 32, n. 5, p. 711-726, 2008.

MARENGO, J. A. et al. The South American Monsoon System and the 1970s climate transition: on the possibility of an El Niño-like response to the 1970s SST anomalies. **Climate Dynamics**, v. 32, n. 6, p. 933-946, 2009.

MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. Revista USP, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44>>. Acesso em: 3 out. 2024.

MARENGO, J. A. et al. Amazonia and global change. **American Geophysical Union**, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2008gm000733>>. Acesso em: 3 outubro 2024.

MARENGO, J. A. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 37, p. 1285-1297, 2011.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2011.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. The 2011 intense rainfall and floods in Rio de Janeiro. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, p. S176, 2012.

MARENGO, J. A. et al. Climate change in Central and South America: recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. **Earth's Future**, v. 6, p. 1081-1102, 2018.

MARQUES, D. A. et al. Análise da relação entre a precipitação e os processos hidrológicos em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1602-1616, 2018.

MILLER, G. Eventos extremos de precipitação na região do Centro de Lançamento de Alcântara: relatório final de bolsa de iniciação científica (PIBIC-CNPq-IAE). Instituto de Aeronáutica e Espaço, 2014. 9 p.

MIDDLETON, J. F. et al. El Niño effects and upwelling off South Australia. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, p. 2458–2477, 2007.

MOEL, H. et al. Flood risk assessments at different spatial scales. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 20, n. 6, p. 865–890, 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6108001/>>. Acesso em: 3 out. 2024.

NERY, J. T. Dinâmica climática da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25233>>. Acesso em: 2 out. 2024.

NOBRE, C. A. et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. Climate change in Brazil: perspectives on the Rio de Janeiro Workshop. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 115, D20, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2010jd014160>>. Acesso em: 2 out. 2024.

NOBRE, C. A. et al. Climate change in Brazil and its effects on agriculture. In: **Climate Change Adaptation in Latin America**. Springer, 2016.

NOAA Climate.gov. What is El Niño? A simple explanation. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-Niño-index/what-el-ni%C3%B1o-simple>>. Acesso em: 9 mai. 2023.

OLANG, L. O.; FÜRST, J. **Hydrological processes**, v. 25, n. 1, p. 80-89, 2011.

OLIVEIRA, P. T. Estudo estatístico sobre eventos de precipitação intensa no Nordeste do Brasil. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014a.

OLIVEIRA, P. T.; LIMA, K. C.; SANTOS, C. M. Synoptic environment associated with heavy rainfall events on the coastland of Northeast Brazil. **Advances in Geosciences**, v. 35, p. 73–78, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/adgeo-35-73-2013>>. Acesso em: 3 out. 2024.

OVALLE, A. R. C. et al. Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 481, p. 191–203, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.036>>. Acesso em: 3 out. 2024.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A.; GLOOR, M. Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: a GCM simulation study. **Journal of Climate**, v. 18, n. 24, p. 4818–4834, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1175/jcli3571.1>>. Acesso em: 3 outubro 2024.

OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. M. Eventos de precipitação extrema na região do Centro de Lançamento de Alcântara. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 662-674, 2016.

PARMEZANI, J. M. et al. Associação entre ZCAS e a ocorrência de El Niño e La Niña. In: Encontro de Iniciação Científica, 2. (INIC-98), São José dos Campos, 1998. p. 23.

PEIXOTO, J. P.; OORT, A. H. **Physics of Climate**. New York: American Institute of Physics, 1982. 520 p.

PEPDEC. Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil. 16. ed., 2022. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/DefesaCivil/CARTILHA/PEPDEC%20-%20OUTUBRO_2023.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2024.

PONTINI, V. V. COELHO, A. L. N. Aspectos físico-sociais das inundações e enxurradas na sub-bacia de drenagem do rio Iconha, estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia** Uberlândia-MG v. 23, n. 86 abr./2022 p. 139–155. 2022.

POWAR, S. K.; KULKARNI, H. V. Estimation of confidence interval for hydrological design value for some continuous distributions under complete and

censored samples. **Stochastic environmental research and risk assessment: research journal**, v. 29, n. 6, p. 1691–1708, 2015.

QUADRO, M. F. et al. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, 2012.

RAJ, A. S.; CHENDHOOR, B. Impact of climate extremes of El Niño and La Niña in patterns of seasonal rainfall over coastal Karnataka, India. **Springer Climate**, p. 227–242, 2021.

REBOITA, M. S. et al. Impact of El Niño on precipitation in southern Brazil and its relationships with circulation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 106, n. 3-4, p. 307-319, 2011.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o tempo e o clima da América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M. S. et al. Causas da semi-aridez do Sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, p. 254-277, 2016.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; GOMES, J. L. Climate change in Brazil: perspectives on the Rio de Janeiro Workshop. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 112, D10, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2007jd008668>>. Acesso em: 2 out. 2024.

RIBEIRO, A. Chuva frontal ou ciclônica: como se formam, frentes frias e quentes. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/geografia/chuva-frontal>>. Acesso em: 18 out. 2024.

ROCHA, V. M. et al. Reciclagem de precipitação na Bacia Amazônica: o papel do transporte de umidade e da evapotranspiração da superfície. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 387-398, 2017.

SANTOS JR, E. P.; BLAIN, G. C.; XAVIER, E. C. F. Avaliação dos dados de reanálise do Climatic Research Unit (CRU) e do 5th Generation of European Reanalysis (ERA5) no monitoramento probabilístico padronizado da seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 37, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1590/0102-77863720019>>. Acesso em: 2 out. 2024.

SANTOS, A. A.; SILVA, J. P. Análise Ambiental dos Fatores de Risco de Inundação no Rio Marinho. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, p. 57-68, 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESPÍRITO SANTO. **Atlas climatológico do Espírito Santo**. 2006. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/Midia/Atlas_climatologico/Atlas_climatologico_completo.pdf>. Acesso em: 8 mai. 2023.

SÃO PAULO. A crise hídrica em São Paulo e o modelo de gestão dos recursos hídricos. **Relatório Final da Comissão Parlamentar de Inquérito**, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2016.

SEN ROY, S.; BALLING Jr, R. C. Trends in extreme daily precipitation indices in India. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 457-466, 2004.

SILVA, E. L. Planejamento urbano e desenvolvimento sustentável: o caso do município de Serra, ES. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

SOUZA, L. M. E.; SUZUKI, M. S. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. In: **IV Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**, 2023, São José dos Campos. Anais [...]. São Paulo: ABRHidro, 2023. Disponível em: <<https://files.abrhydro.org.br/Eventos/Trabalhos/203/IV-SRHPS0053-1-0-20230331-134523.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2024.

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Relação da passagem de frentes frias na região sul de Minas Gerais (RSMG) com a precipitação e eventos de geada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n. 1, p. 229-246, 2014.

SMITH, C. A.; SARDESHMUKH, P. The effect of ENSO on the intraseasonal variance of surface temperature in winter. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 1543–1557, 2000.

SOUZA, E. B. et al. On the influences of El Niño, La Niña and Atlantic Dipole patterns on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Ciências do Ambiente, Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, 2000. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/aa/a/T56f9k8VYK6ZV6hJFmNw8bT/?lang=en>>. Acesso em: 2 out. 2024.

SUTILI, F. J.; BECKER, G. A.; BACH, M. V.; NOGARA, J. S. Identificação de áreas vulneráveis à inundação através de modelos hidrológicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 1183-1192, 2018.

TANOUE, M.; HIRABAYASHI, Y.; IKEUCHI, H. Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years. **Nature - Scientific Reports**, v. 6, 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/srep36021>>. Acesso em: 3 out. 2024.

UNDRR. **Global assessment report on disaster risk reduction 2021**. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2021.

UOL. ES tem 22 mortos e mais 61 mil fora de casa por causa da chuva. UOL Notícias, 26 dez. 2013. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2013/12/26/es-tem-22-mortos-e-mais-61-mil-fora-de-casa-por-causa-da-chuva.htm>>. Acesso em: 2 out. 2024.

UOL. No Espírito Santo, chuvas em novembro batem recorde dos últimos 84 anos. UOL Notícias, 26 nov. 2008. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2008/11/26/no-espirito-santo-chuvas-em-novembro-batem-recorde-dos-ultimos-84-anos.htm>>. Acesso em: 2 out. 2024.

VERA, C. S. et al. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 30, p. 3923-3948, 2017.

VERDAN, I. S. Variabilidade interanual da Zona de Convergência do Atlântico Sul e sua associação com o El Niño-Oscilação Sul entre 2000 e 2021. 2023. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP_082d3f831945fe30011fbdd5d6983bd8>. Acesso em: 2 out. 2024.

VERMA, S.; BHATLA, R. Performance of RegCM4 for dynamically downscaling of El Niño/La Niña events during southwest monsoon over India and its regions. **Earth**

and Space Science, v. 8, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2020EA001474>>. Acesso em: out. 2024.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. **Probability & statistics for engineers & scientists**. 9. ed. Global ed. Tokyo: Pearson, 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **The Global Framework for Climate Services: Climate Services Information System Implementation Guide**. WMO, 2015.

ZHANG, X.; WU, B.; DING, S. Combined effects of La Niña events and Arctic tropospheric warming on the winter North Pacific storm track. **Climatology Dynamics**, v. 60, p. 1351–1368, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00382-022-06389-9>>. Acesso em: 3 out. 2024.