

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE HIDROLÓGICA DOS EVENTOS EXTREMOS NO RIO PIRAPÓ NA
ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA VILA SILVA JARDIM, PR**

Luiza Borim

Prof. Dr. Eduardo Souza de Moraes

Orientador

Maringá

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Luiza Borim

Análise Hidrológica dos Eventos Extremos no Rio Pirapó na Estação Fluviométrica Vila
Silva Jardim

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Geografia
da Universidade Estadual de Maringá para
obtenção de título de Bacharel em
Geografia.

Orientação: Prof. Dr. Eduardo Souza de
Morais.

Maringá

2024

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho não seria possível sem o apoio, incentivo e dedicação de muitas pessoas, dentre as quais agradeço:

Ao Prof. Dr. Eduardo Souza de Moraes, pelas orientações e contribuições ao decorrer do trabalho.

Ao Grupo de Estudos Multidisciplinar do Ambiente (GEMA) pela disponibilização do espaço e pelo incentivo à pesquisa.

Ao meu pai Jamilson Borim eu agradeço imensamente pela educação e incentivo aos estudos. Este trabalho é um reflexo da sua criação e da sua força.

A minha mãe Luciana Neto eu agradeço pelos momentos em que, mesmo de longe, me deu apoio, me incentivou e acreditou em mim.

A minha vó Alzira Martins agradeço pela criação e por todo o amor, carinho e educação que recebi ao longo de toda a minha vida.

A minha tia Jayne Borim por ser sempre meu exemplo de pessoa e de profissional. Sua presença em minha vida foi um apoio indispensável.

A minha irmã Laura por trazer leveza, alegria e muitos sorrisos à minha vida.

Aos meus amigos agradeço por tornarem essa jornada mais leve e divertida. Cada um de vocês foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

As minhas queridas amigas Isadora Goulart e Joana Gomes agradeço pelos anos de amizades e pelo companheirismo durante esta caminhada.

Ao meu namorado Gabriel Luiz Marangoni agradeço pelo apoio, pela paciência em ouvir meus desabafos e por celebrar comigo cada pequena conquista.

Agradeço ainda a todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram com apoio, incentivos e sugestões no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

A cada um de vocês, minha sincera gratidão.

RESUMO

A compreensão da dinâmica do regime hidrológico de um rio é de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos e para a previsão dos eventos extremos, como as inundações e as vazões mínimas. Este trabalho avaliou a dinâmica hidrológica e os eventos extremos do rio Pirapó na estação fluviométrica da Vila Silva Jardim no município de Paranacity, região Noroeste do estado do Paraná. Para avaliar a dinâmica hidrológica foram utilizadas as variações das vazões diárias. Avaliou-se os eventos extremos do rio Pirapó (inundação e vazão mínima) de acordo com a influência do fenômeno ENOS (*El Niño* Oscilação Sul). Com as análises foi possível identificar os meses e anos de maiores ocorrências de vazões mínimas e inundações. Foi identificado que as inundações no rio Pirapó apresentam grande influência do fenômeno *El Niño*. As vazões mínimas mostraram mais influência do *El Niño* e menos influência da *La Niña*. A maior vazão máxima da série histórica ocorrida no ano de 2012 não está associada a nenhum ano de ENOS e identificou-se que o evento ocorreu devido a precipitações concentradas no principal tributário. Ainda, a presença de barragens recentes nesse afluente e futuros projetos podem inibir que ocorra esse processo natural. O trabalho contribui com novos conhecimentos sobre a dinâmica hidrológica e os padrões fluviais do rio Pirapó.

ABSTRACT

Understanding the dynamics of a river's hydrological regime is crucial for water resource management and for predicting extreme events such as floods and droughts. This study evaluated the hydrological dynamics and extreme events of the Pirapó River at the Vila Silva Jardim gauging station, located in the municipality of Paranacity. The hydrological dynamics were assessed using variations in daily flow rates. Extreme events of the Pirapó River (floods and droughts) were analyzed based on the influence of the ENSO (El Niño Southern Oscillation) phenomenon. The analyses identified the months and years with the highest occurrences of droughts and floods. It was observed that floods in the Pirapó River are significantly influenced by the El Niño phenomenon. Droughts showed greater influence from El Niño and less influence from La Niña. The highest maximum flow in the historical series, which occurred in 2012, was not associated with any ENSO year and was attributed to concentrated precipitation in the main tributary. Furthermore, the presence of recent dams on this tributary and future projects may inhibit this natural process. This study contributes new insights into the hydrological dynamics and fluvial patterns of the Pirapó River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Pirapó.....	15
Figura 2: Unidades litológicas do rio Pirapó.....	16
Figura 3: Sub-unidades morfoestruturais do rio Pirapó	19
Figura 4: Fluviograma das vazões diárias na estação fluviométrica de Vila Silva Jardim	25
Figura 5: Curva de permanência das vazões diárias do rio Pirapó	25
Figura 6: Eventos de inundações ocorridos no rio Pirapó na estação fluviométrica de Vila Silva Jardim.....	26
Figura 7: Anos de El Niño e as Vazões Máximas Anuais	27
Figura 8: Anos de La Niña e as vazões mínimas anuais	29
Figura 9: PCH Salto Bandeirantes	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estações pluviométricas.	15
Tabela 2: Ocorrência de El Niño na série histórica de 1967 a 2022.	21
Tabela 3: Ocorrência de La Niña na série histórica de 1967 a 2022.	21
Tabela 4: Tempo de retorno das inundações do rio Pirapó.....	28
Tabela 5: Fenômeno El Niño e as inundações no rio Pirapó	32
Tabela 6: Precipitações antecedentes à inundação de 2012.....	34
Tabela 7: Fenômeno ENOS e as vazões mínimas do rio Pirapó	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 REGIME HIDROLÓGICO.....	8
2.1.1 Vazões máximas	10
2.1.2 Vazões mínimas	11
2.2 PARÂMETROS DE ANÁLISE PARA AS VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS.....	11
2.3 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL - ENOS.....	13
2.3.1 <i>El Niño</i>	13
2.3.2 <i>La Niña</i>	14
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES LITOLÓGICAS.....	16
3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	17
3.3 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA.....	18
3.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	18
4. OBJETIVOS	20
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
5. MATERIAIS E MÉTODOS	20
5.1 EL NIÑO E LA NIÑA.....	20
5.2 PREENCHIMENTO DE FALHA E EXTRAPOLAÇÃO DE DADOS.....	22
5.3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA.....	23
5.4 TEMPO DE RETORNO.....	24
5.5 ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES.....	24
6 RESULTADOS	24
6.2 FREQUÊNCIA.....	25
6.3 INUNDAÇÕES.....	26
6.4 VAZÕES MÍNIMAS.....	28
7 DISCUSSÃO	30
7.1 INUNDAÇÃO.....	30
7.1.1 O fenômeno ENOS e as inundações do rio Pirapó	32
7.1.2 A maior inundação da série: ano de 2012	33
7.1.3 Análise de frequência e tempo de retorno para as inunda�es do rio Pirapó	36
7.2 VAZÕES MÍNIMAS.....	37
7.2.1 Fenômeno ENOS e as vazões mínimas do rio Pirapó	39
8 CONCLUSÃO	42
9 REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

A compreensão das vazões de um rio é relevante para a gestão de recursos hídricos, para o planejamento urbano e rural, na minimização de possíveis impactos antrópicos sobre o rio e para previsão de eventos extremos, como as inundações e as vazões mínimas. As características geomorfológicas, geológicas, pedológicas e climatológicas são fatores que influenciam e resultam na variabilidade hidrológica do rio (Tucci, 2002), portanto, o entendimento dessas variáveis é de extrema importância, uma vez que, estão relacionadas com a variabilidade das vazões.

Dessa forma a mensuração dos eventos extremos de um rio torna-se necessário para a compreensão do regime do rio. O regime hidrológico compreende como a variação do nível das águas e está ligada ao aumento e diminuição das águas no decorrer de um civil – janeiro a dezembro – ou em um ano hidrológico – ciclo de vazante, cheia e vazante (Borges, 2020; Destefani, 2005). Ainda, o regime hidrológico torna-se importante para o estudo do comportamento das vazões médias, mínimas e máximas (Borges, 2020).

As vazões máximas de um rio correspondem aos valores extremos diários, mensais ou anuais (Tucci, 2002). Quando há o transbordamento de água para as áreas adjacentes ao rio, as vazões máximas passam a ser denominadas de inundações. As inundações representam o fluxo que excede a capacidade do canal (Charlton, 2007) e possuem grande importância na mudança geomorfológica do canal e da planície de inundação.

As inundações são consideradas processos naturais, no entanto, elas podem estar associadas a ocorrência de ENOS (El Niño-Oscilação Sul), e por esta razão, muitas inundações são influenciadas e potencializadas por esse fenômeno. Assim, as inundações podem afetar diretamente as populações ribeirinhas, causando danos e desastres. Por isso, torna-se importante conhecer a dinâmica atmosférica e os padrões desses eventos, acompanhando as variações hidrológicas do rio que possibilitam a previsão desses eventos e a mitigação de desastres.

De outro modo, as vazões mínimas correspondem, dentro de uma série histórica, os menores valores de vazões (Tucci; Mendes, 2006). A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é representada pelas vazões mínimas e sua compreensão torna-se de extrema importância para a gestão de recursos hídricos (Smakhtin, 2001; Barbosa *et al.*,

2005; Martins *et al.*, 2011; Gasques *et al.*, 2018). O conhecimento das vazões mínimas possui grande importância para o planejamento energético, abastecimento de água em áreas urbanas, indústrias, navegação e lançamento de poluentes. Assim como as vazões máximas, as vazões mínimas também podem estar relacionadas com o fenômeno ENOS, sendo potencializadas por esses fenômenos.

Como pontuado, as variáveis climáticas são importantes na determinação do regime hidrológico e dos eventos extremos de um rio. O conhecimento dos fatores climáticos que influenciam na precipitação facilita um melhor gerenciamento dos recursos hídricos (Santos, 2016). No entanto, durante os extremos hidrológicos, com o excesso ou escassez de água, há dificuldades para o gerenciamento de recursos hídricos e para a administração pública (Lindner, 2007). Dessa forma, o presente trabalho procurou avaliar os eventos extremos de inundação e vazões mínimas para o rio Pirapó.

O rio Pirapó apresenta vital importância dentre os recursos hídricos, sendo responsável pelo abastecimento das cidades de Paranacity, Colorado e Maringá. As análises deste estudo foram realizadas com os dados da estação fluviométrica de Vila Silva Jardim, localizada nos limites dos municípios de Paranacity e Colorado. Dessa forma, o estudo teve o objetivo de avaliar a dinâmica climática, hidrológica e os eventos hidrológicos extremos do rio Pirapó com o propósito de contribuir com novos conhecimentos sobre a dinâmica fluvial do rio Pirapó.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REGIME HIDROLÓGICO

A Geomorfologia Fluvial é o estudo das interações entre as formas e os processos dos canais fluviais dentro de uma escala de espaço e tempo (Charlton, 2007). A Geomorfologia Fluvial compreende-se pelo estudo dos processos e das formas que estão relacionadas com o escoamento dos rios (Christofolletti, 1981), ela tem sido a maior subdisciplina dentro da Geomorfologia e é essencial para a compreensão e gestão dos rios e para o desenvolvimento e planejamento de estratégias para o desenvolvimento sustentável (Wohl, 2014).

O planejamento e gestão dos recursos hídricos é realizada no âmbito da bacia hidrográfica. A partir da Lei nº 9.433/1997, a qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, passa a adotar a bacia hidrográfica como uma escala de estudo, gestão e planejamento territorial e ambiental (Porto; Porto, 2008). A bacia hidrográfica consiste em uma área de drenagem que é delimitada pelos interflúvios e que, em seu

interior, é escoado fluxo de água e de sedimentos pelas vertentes até chegarem ao canal principal e posteriormente até o exultório. Atividades antrópicas geram alterações na bacia hidrográfica, promovendo mudanças na intensidade e na qualidade da relação entre a precipitação e a descarga na bacia hidrográfica (Rocha, 2010).

Cada bacia hidrográfica é drenada por um rio, os quais compreendem como um curso natural de água que escoam por canais bem definidos, erodindo, transportando e depositando sedimentos durante o seu trajeto até desaguiarem em um oceano, lagos ou outro rio (Charlton, 2007; Araujo, 2011). No sistema fluvial os rios atuam como canais de escoamento, tornando-se importantes para o ciclo hidrológico, e como agentes importantes para o transporte de materiais das áreas mais elevadas para as áreas mais baixas (Borges, 2020; Christofoletti, 1981).

O volume de água que escoia no canal de um rio oscila no decorrer do tempo em razão de diversos fatores, como a precipitação pluviométrica, condições de infiltração, drenagem subterrânea e entre outros (Borges, 2020). Essas variações são denominadas de regime de fluxo ou regime hidrológico, determinado pelas variações sazonais no fluxo (Charlton, 2008). A variabilidade do regime hidrológico está ligada com o aumento e diminuição da vazão consideradas no decorrer de um ano civil (janeiro a dezembro) ou de um ano hidrológico (ciclo de vazante-cheia-vazante) (Destefani, 2005).

As formas de relevo, os tipos de rochas, as características climáticas, tipos de solos, cobertura vegetal, uso do solo e ações antrópicas são fatores que contribuem para as oscilações do regime hidrológico (Tucci, 2002). O conhecimento e a compreensão do regime fluvial de um rio tornam-se importante para a gestão dos recursos hídricos, planejamento urbano e rural, minimização de impactos antrópicos e a previsão de eventos extremos. Ainda, o regime hidrológico torna-se importante no estudo da dinâmica das vazões médias, mínimas e máximas, sejam elas diárias ou mensais (Borges, 2020).

A vazão diária corresponde como a média aritmética das vazões que são medidas no decorrer de um dia, utilizada para identificar períodos sazonais (Destefani, 2005). A vazão média consiste na média das vazões diárias, indicando as características do ano hidrológico, revelado pela variabilidade dos meses (Tucci, 2002). As vazões mínimas são representadas pelos menores valores, enquanto as vazões máximas correspondem aos maiores valores diários, mensais e anuais.

2.1.1 Vazões máximas

As vazões máximas correspondem as vazões extremas diárias, mensais e anuais de um rio dentro de um período definido (Tucci, 2002). As vazões máximas são importantes para o estudo de cheias e inundações (Destefani, 2005). De acordo com Villela e Mattos (1975) as cheias correspondem por elevadas vazões dentro do canal e as inundações são consideradas quando há o extravasamento das águas do canal, no entanto, nem toda cheia pode causar uma inundação.

Borges (2020) considera enchente como uma grande vazão de escoamento e as inundações representam o extravasamento das águas do canal. Ainda, alguns autores consideram os termos de cheia, inundação e enchente como sinônimos, como é o caso de Oliveira e Campos (2012), os quais consideraram como processos naturais, caracterizados pelo extravasamento da vazão do canal. Para o presente trabalho, será adotado os conceitos propostos por Villela e Mattos (1975), os quais consideram a concepção de inundação diferente de cheia.

As inundações são processos naturais em que o fluxo excede a capacidade do canal e passa a ocupar as áreas adjacentes, denominadas de planície de inundação (Charlton, 2007). As inundações estão associadas a precipitação e são decorrentes da falta de drenagem do solo, resultando no transbordamento de um curso hídrico sobre a área de várzea, as quais, muitas vezes são ocupadas por áreas urbanas (Caldana *et al.*, 2018).

Em condições normais, as inundações estão relacionadas com a intensidade, frequência e duração das chuvas, das declividades das vertentes, do talvegue principal e das unidades geomorfológicas (Oliveira e Campos 2012). As inundações acarretam uma série de alterações nos processos geomorfológicos, sendo significativas para a formação do canal, e processos biológicos, além de interferirem nas atividades de cidades inseridas próximas aos cursos d'água (Meurer, 2003; Charlton, 2007).

Entretanto, alguns fatores podem contribuir na ocorrência das inundações, principalmente ações antrópicas, como o desmatamento, ocupação das planícies de inundação, impermeabilização do solo e canalização dos rios, alterando o escoamento do canal. Embora as inundações sejam consideradas fenômenos naturais, esses eventos podem ser alterados pelo processo de urbanização, afetando diretamente populações ribeirinhas.

2.1.2 Vazões mínimas

As vazões mínimas ou de estiagem correspondem, dentro de uma série histórica, aos menores valores de vazões (Tucci; Mendes, 2006). As vazões mínimas, que são consideradas as de estiagem, são representadas pelos valores mais baixos da série histórica, enquanto a vazão mínima mensal representa o valor mais baixo do mês e pode ou não representar uma vazão correspondente a um período de estiagem (Destefani, 2005).

As vazões mínimas são caracterizadas por dois fatores, a quantidade de água e a duração de dias e, na prática, as vazões mínimas instantâneas não apresentam tanta importância e utilidade para a análise hidrológica (Tucci; Mendes, 2006). As vazões com durações acima de 7 dias consecutivos apresentam maior interesse para a análise hídrica, uma vez que, a sequência de vazões baixas representa uma situação desfavorável para a demanda e para as condições de conservação ambiental (Tucci; Mendes, 2006).

A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é representada pelas vazões mínimas e sua compreensão é de extrema importância para a gestão de recursos hídricos (Smakhtin, 2001; Barbosa *et al.*, 2005; Martins *et al.*, 2011; Gasques *et al.*, 2018), e pode ser analisada nos períodos de estiagem, refletindo no potencial disponível para o abastecimento de água das áreas urbanas, indústrias, irrigação, navegação, lançamento de poluentes e outras atividades (Pruski; Pruski, 2011; Araújo 2015).

A oferta de água superficial é estimada através das vazões mínimas de referência, as quais representam as menores vazões dentro de uma série histórica (Chaves *et al.*, 2002). As vazões de referência utilizadas para a outorga são valores provenientes de vazões representativas na curva de permanência de vazões, tais como Q50%, Q90%, Q95% e Q99% (Cruz E Tucci, 2008; Rosa, 2022). Para fins de estimativa de água, geralmente, é representada pela vazão de referência do Q90%, o qual representa a vazão de permanência em 90% do tempo, ou do Q7.10, vazão mínima durante 7 dias consecutivos em um período de 10 anos (Cruz E Tucci, 2008)..

2.2 PARÂMETROS DE ANÁLISE PARA AS VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS

Partindo do pressuposto da necessidade e compreensão do regime hidrológico e da variabilidade hidrológica de um rio, torna-se importante a compreensão de alguns parâmetros de análise para o regime fluvial. Os parâmetros utilizados são a magnitude, a duração, frequência e o tempo de retorno.

A magnitude pode se referir tanto para as vazões mínimas quanto para as vazões máximas e podem variar entre os rios e bacias hidrográficas (Araujo, 2011). No presente trabalho, a magnitude foi analisada para as vazões mínimas e para os eventos de inundação. Para a análise das inundações, a magnitude é representada pelo “tamanho” da inundação (Charlton, 2007).

A duração é o número de dias ou a porcentagem de tempo que uma determinada vazão permaneceu no canal (Destefani, 2005). É caracterizada pelo período que está associado a uma condição específica do fluxo (Poff *et al.*, 1997). A duração está relacionada com a frequência com que ocorrem vazões de diferentes magnitudes (Destefani, 2005). Analisou-se a duração para as vazões mínimas e para os eventos de inundações.

A frequência representa um fluxo de determinada magnitude que ocorre ao longo de um intervalo de tempo (Poff *et al.*, 1997). Refere-se ao número de vezes que se repete uma determinada vazão em um canal durante um determinado intervalo de tempo, e, é dada a partir da elaboração da curva de permanência de um fluxo (Destefani, 2005). A frequência de ocorrência das vazões refere-se à probabilidade de ocorrer vazões maiores ou iguais a uma determinada vazão de referência (Villela; Mattos, 1975).

A curva de permanência é resultado da frequência de ocorrência de determinadas vazões de referência, abordando a parcela de tempo que uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado (Tucci, 2002). O Q90 e o Q10 são utilizados como valores de referências, onde o Q90 corresponde a vazão de referência mínima que se espera em 90% do tempo, ou seja, refere-se a vazão em que 90% do tempo é igualada ou superada (Naghetini, 2012). O Q10 representa a vazão de referência máxima que pode ser igualada ou superada dentro de um intervalo de tempo, ou seja, 10% das vazões observadas encontram-se iguais ou acima de um determinado valor (Naghetini, 2012). Refere-se ao intervalo médio de tempo em que uma vazão de determinada magnitude pode voltar a acontecer ou ser superada (Naghetini, 2012). O tempo de retorno é uma estimativa de quanto tempo uma inundação de determinada dimensão pode ocorrer ou ser superada (Charlton, 2007).

As inundações são consideradas como processos naturais e são imprevisíveis quanto à sua ocorrência, por isso, os cálculos do tempo de retorno auxiliam na determinação da ocorrência de futuros eventos (Eckhardt, 2008). Estimar o TR e a magnitude das

inundações, torna-se importante para a previsão dos eventos em áreas de riscos às inundações (Eckhardt, 2008).

2.3 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL - ENOS

O regime hidrológico de um rio é determinado por fatores relacionados à interação entre as condições climáticas e a fisiologia da bacia (Tucci, 2009; Pruski e Brandão, 2004; Lima *et al.*, 2015; Capozzoli *et al.*, 2017). Muitos eventos extremos do rio podem estar relacionados com o aumento ou diminuição de precipitação ao longo da bacia hidrográfica e o principal fenômeno que pode influenciar a precipitação é o El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual pode causar anomalias em todo o globo (Ropelewski e Halpert, 1987; Capozzoli *et al.*, 2017).

O fenômeno ENOS é caracterizado pelo aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico e pelas alterações nos campos de pressão na direção Leste-Oeste (Borges, 2020). O ENOS apresenta duas fases, a anomalia positiva conhecida como o fenômeno *El Niño*, caracterizado por uma fase quente, e a anomalia negativa conhecida como o fenômeno *La Niña*, fase fria (Borges, 2020). Ainda, o ENOS está relacionado com vários fatores como a célula de Walker, TSM, OS e CGA e à fase da Oscilação Decadal do Pacífico, o qual influência nos padrões de precipitação (Borges, 2020; Capozzoli *et al.*, 2017).

A variação Oscilação Sul (OS) foi determinada pelo inglês Sir Gilbert Walker, e corresponde como um balanço hídrico de massa atmosférico que envolve trocas de ar entre o Oceano Pacífico Tropical Sul e a Indonésia (Borges, 2020). Essa variação é conectada por uma célula de circulação no sentido Leste-Oeste, denominada de Célula de Walker (Borges, 2020). Quando há alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico, associada às variações na pressão do nível médio do mar (PNM), ocorrem mudanças na Célula de Walker, resultando assim em oscilações nos ventos alísios (Borges, 2020).

O Brasil apresenta grandes dimensões, por isso, o ENOS apresenta efeitos variados para as regiões do território, a exemplo o *El Niño* que ocorreu em 1988 resultou em escassez de chuva para as regiões Norte e Nordeste, enquanto na região sul houve um aumento de pluviosidade (Oliveira, 1999; Borges, 2020).

2.3.1 *El Niño*

O fenômeno *El Niño* consiste no aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Oriental e Central e são caracterizados por alterações nos campos de

pressão de Darwin e Tahiti (OS) e enfraquecimento dos ventos alísios (Andrade, 2003; Borges, 2020). O *El Niño* ocorre quando há uma alteração na elevação da temperatura do oceano, com as proporções variam de moderada à 1°C ou intenso de 4°C à 6°C acima da média de 23°C (Costa, 2015).

Na região Sul do Brasil, esses eventos são mais intensos e estão relacionados com o aumento de chuvas na região, principalmente na primavera do ano que o fenômeno se iniciou e no outono/inverno do próximo ano (Borges, 2020). Devido ao aumento da intensidade das chuvas no Sul do Brasil, muitos eventos de inundação podem estar correlacionados com os eventos de *El Niño*. Já os efeitos do *El Niño* na região norte e nordeste são secas intensas (Borges, 2020).

2.3.2 *La Niña*

O fenômeno *La Niña* é caracterizado pelo resfriamento atípico das águas do Oceano Pacífico (Costa, 2015). A fase negativa do ENOS é denominada *La Niña* e é caracterizado pelo aumento dos ventos alísios (Borges, 2020). O efeito da *La Niña* no Sul do Brasil resulta na diminuição das precipitações e temperaturas (Borges, 2020). As temperaturas superficiais do Oceano Pacífico permanecem em torno de 25°C e durante o fenômeno *La Niña*, essas temperaturas tendem a diminuir para 22°C a 23°C (Marengo *et al.*, 1998; Cunha *et al.*, 2013).

O fenômeno *La Niña* resulta na redução dos níveis de chuvas na região Sul do Brasil e, conseqüentemente, na diminuição das vazões fluviais, podendo levar a longos períodos de estiagem, causando danos para a população e ao ecossistema local. O fenômeno ocorre em média de 2 a 7 anos com duração de aproximadamente de 9 a 12 meses, podendo persistir até 2 anos, no entanto, tem ocorrido em menor frequência em relação ao *El Niño* (Costa, 2015). A *La Niña* tem maior variabilidade que o *El Niño* e apresenta um padrão mais consistente, sendo mais demarcado hidrologicamente (Marengo *et al.*, 1998; Cunha *et al.*, 2013).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Pirapó está localizada no norte do estado do Paraná entre as latitudes 22°32'30" S e 23°36'18" S e as longitudes 51°22'42" W e 52°12'30" W (Figura 1) e abrange uma área de drenagem de 5.098,10 km² com 33 municípios de aproximadamente 950 mil habitantes (IAT, 2020). A bacia hidrográfica do rio Pirapó tem como limites as bacias hidrográficas do rio Paranapanema IV, Paranapanema III,

bacia do rio Ivaí e Tibagi. O rio Pirapó tem sua nascente situada no município de Apucarana, a aproximadamente 1.000m de altitude, de onde flui 168km até chegar na foz com o rio Paranapanema, localizada no município de Jardim Olinda, à 300m de altitude.

O rio Pirapó apresenta aproximadamente 60 tributários diretos e o seu maior afluente é o rio Bandeirante do Norte (SEMA, 2010). O rio Bandeirante do Norte tem sua nascente localizada no município de Arapongas, possui uma extensão de 106km (SEMA, 2010) e deságua no rio Pirapó na região de divisa dos municípios de Paranacity, Colorado e Lobato. A estação fluviométrica em estudo, Vila Silva Jardim, está localizada no limite dos municípios de Paranacity e Colorado e está inserida no baixo curso do rio Pirapó a 40km da confluência com o rio Paranapanema (Tabela 1).

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Pirapó.

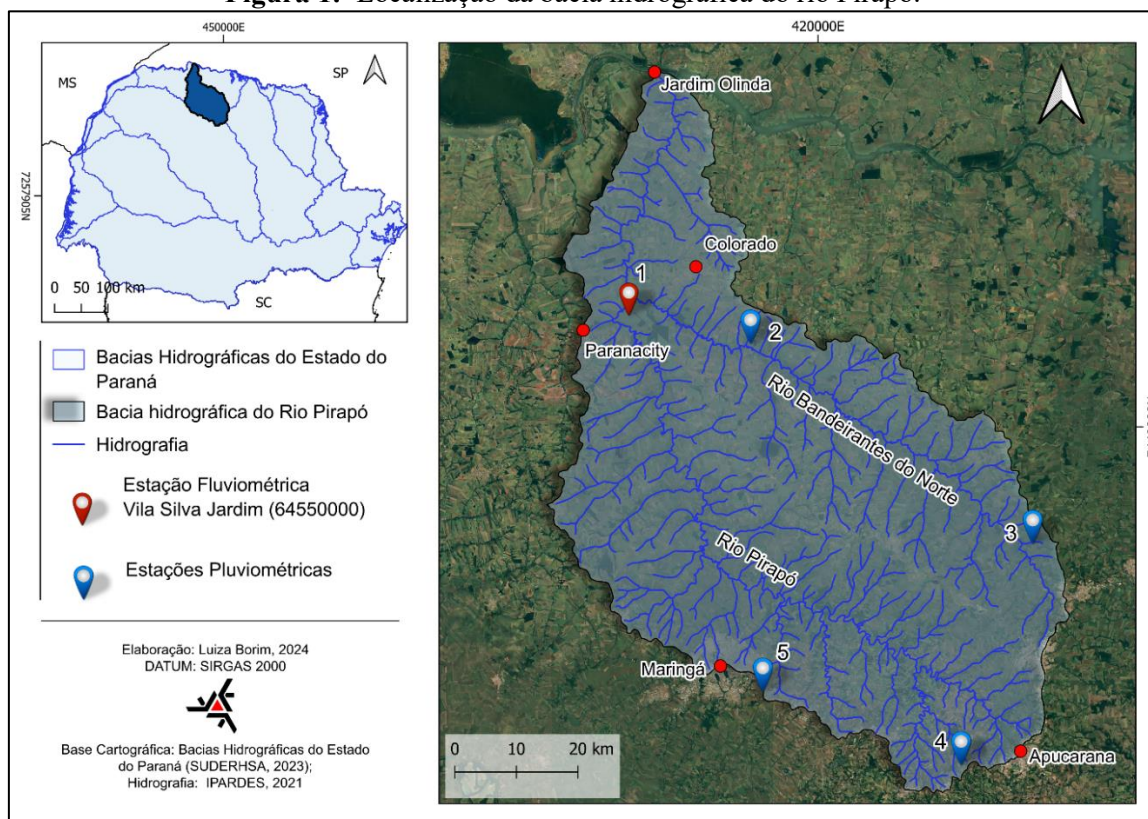


Tabela 1: Estações pluviométricas

Nº *	Código (ANA)	Estação Pluviométrica	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Rio
1	2252010	Vila Silva Jardim	Paranacity	22°55'48"	52°09'03"	Pirapó
2	2251033	Alto Alegre	Colorado	22°53'53"	51°53'17"	Bandeirantes do Norte
3	2351053	São Martinho	Rolândia	23°12'00"	51°27'00"	Bandeirantes

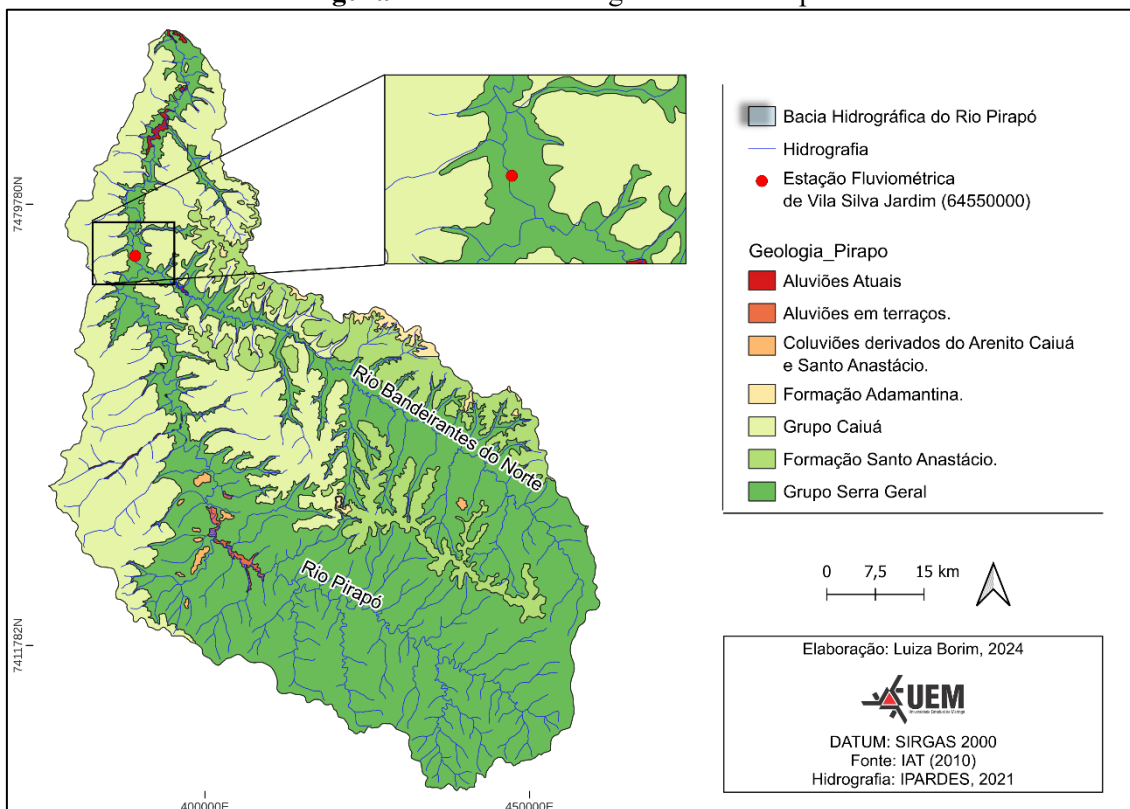
4	2351045	Guaiapó	Maringá	23°24' 00"	51°52'26"	do Norte Pirapó
5	2351008	Fazenda de Ubatuba	Apucarana	23°30'00"	51°32'00"	Pirapó

* As estações pluviométricas estão espacializadas na figura 1

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES LITOLÓGICAS

A bacia hidrográfica do rio Pirapó está situada no Terceiro Planalto Paranaense e é composta pelas unidades litológicas datadas na era mesozoica: os basaltos do Supergrupo São Bento, o qual abrange o Grupo Serra Geral, e os arenitos da Bacia Bauru do Grupo Caiuá, com destaque para as formações Adamantina e Santo Anastácio, além de sedimentos de depósitos fluviais (Mineropar, 2006) (Figura 2).

Figura 2: Unidades litológicas do rio Pirapó.



O Supergrupo São Bento é constituído de rochas basálticas originadas pelos derrames de fissura de lavas basálticas e abrange o Grupo Serra Geral (Mineropar, 2006). De acordo a Figura 2, o Grupo Serra Geral se estende por todo o alto curso, seguindo pelo vale do rio Pirapó até o baixo curso, acompanhando também o vale do rio Bandeirantes do Norte. O Grupo Bauru é composto por rochas areníticas formadas no

Cretáceo abrange as Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, formando uma sequência de sedimentos arenosos, respectivamente (Mineropar, 2006).

O Grupo Bauru compõe a área do médio ao baixo curso do rio Pirapó, em destaque para a Formação Caiuá, depositadas sobre as rochas basálticas. A Formação Santo Anastácio situa-se no limite da bacia e no interflúvio do rio Pirapó e Bandeirantes do norte e foi depositada sobre os arenitos da Formação Caiuá, seguido pela Formação Adamantina, a qual está presente em uma pequena porção do limite leste da bacia hidrográfica. Os depósitos colúviais são derivados do Arenito Caiuá e Santo Anastácio presentes na região do alto curso. Já os depósitos aluviais atuais são encontrados próximo a foz no rio Paranapanema no vale aluvial do rio Pirapó.

3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

De acordo com as cartas climáticas do Estado do Paraná (2019), a bacia hidrográfica do rio Pirapó está inserida no clima Cfa subtropical úmido, com os meses mais quentes apresentando temperaturas acima de 22°C e os meses mais frios com temperaturas inferiores a 18°C. Na região da alta bacia, próximo aos municípios de Apucarana e Arapongas, as médias anuais de temperatura ficam entre 20°C e 21°C, com temperaturas médias podendo chegar a 26°C e 27°C no trimestre mais quentes e 15°C e 16°C no trimestre mais frio (Rigon; Passos, 2014). Já na região da baixa bacia, próximo ao município de Colorado e Jardim Olinda, as médias anuais registram-se entre 22°C e 24°C, atingindo temperaturas mais elevadas que variam entre 29°C e 30°C e no trimestre mais frio entre 17°C e 19°C (Rigon; Passos, 2014).

A distribuição da precipitação na bacia hidrográfica do rio Pirapó possui relação com o relevo, na qual são encontrados maiores valores no alto curso e os menores valores no baixo curso (Baldo *et al.*, 2012). De acordo com os estudos de Terassi *et al.*, 2014, a região do alto curso apresenta uma média anual de precipitação que superam os 1.600mm, enquanto na região do baixo curso as médias anuais encontram-se inferiores a 1.300mm. A média anual de precipitação da bacia hidrográfica do rio Pirapó é de 1.482,3mm (Terassi *et al.*, 2014).

Os maiores valores de pluviosidade são registrados no verão, superando 500mm de pluviosidade, os quais são concentrados a montante e a estação primavera segue como o segundo período sazonal de maiores valores (Baldo *et al.*, 2012). A estação de outono apresenta uma redução nos valores de pluviosidade, principalmente na jusante do rio

Pirapó e é no inverno que há o registro dos menores valores de pluviosidade (Baldo *et al.*, 2012).

3.3 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA

De acordo com o mapa de solos do estado do Paraná, disponibilizado pela Embrapa (2008), os tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Pirapó que são resultados da alteração da rocha basáltica e de arenitos. Os solos provenientes do basalto são Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos e o Neossolos Litólicos e são todos de textura argilosa ou muito argilosa. Já os solos encontrados que são provenientes da alteração dos arenitos são os Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos de textura média.

Os Latossolos Vermelhos de textura argilosa ou muito argilosa são encontrados na região da alta bacia, em terrenos onde há a presença do Grupo Serra Geral, localizados nos topos e divisores de água (Embrapa, 2008). Já os Latossolos Vermelhos de textura média são encontrados na média para a baixa bacia, em terrenos com presença da Formação Caiuá e Santo Anastácio (Embrapa, 2008).

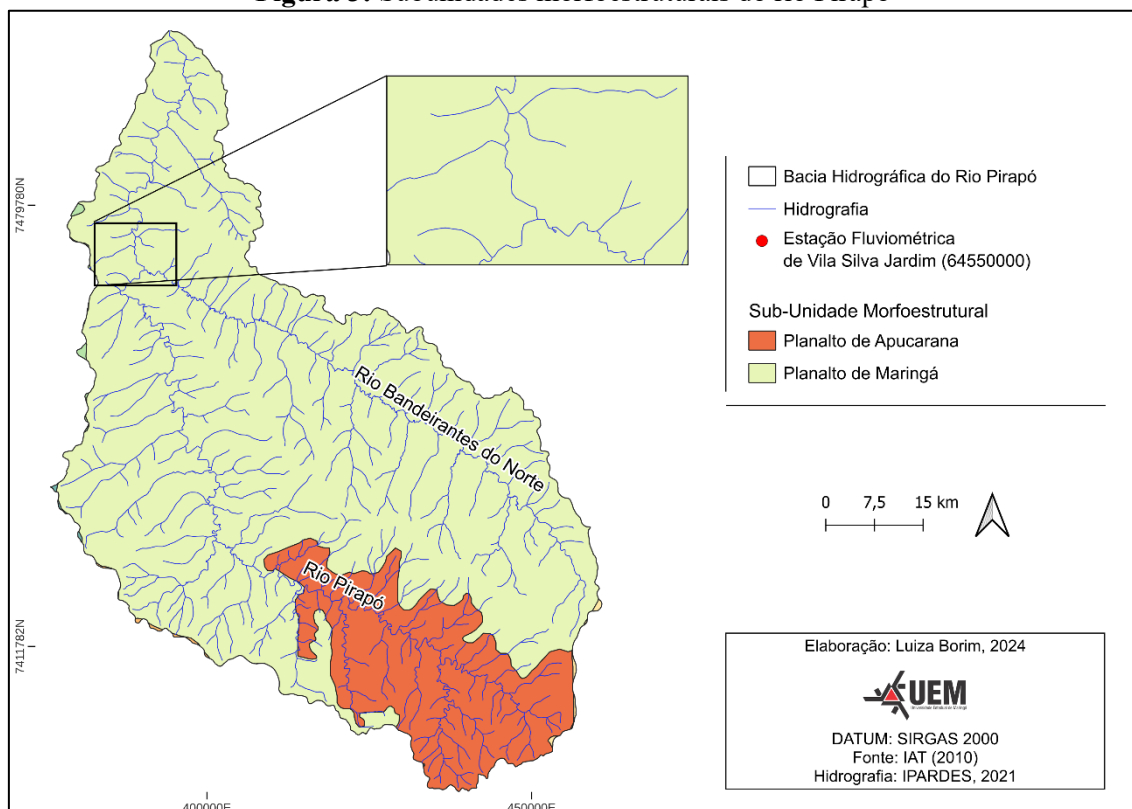
Os Nitossolos Vermelhos são encontrados em terrenos basálticos a partir da meio da encosta, acompanhando o vale do rio Pirapó e do afluente Bandeirantes do Norte (Embrapa, 2008). Os Neossolos Litólicos são encontrados em uma pequena porção da alta bacia, em terreno de rochas basálticas, apresentando declividades mais acentuadas (Embrapa, 2008). Os Argissolos Vermelhos de textura média são encontrados na média para a baixa bacia e apresentam baixa declividade (Embrapa, 2008).

3.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A bacia hidrográfica do rio Pirapó está inserida, em sua maior abrangência, no Planalto de Maringá e no Planalto de Apucarana (Figura 3). Nas bordas da bacia é possível encontrar pequenos fragmentos do Planalto de Campo Mourão, Umuarama e Paranavaí na porção oeste, e o Planalto de Londrina na porção leste.

O Planalto de Maringá, onde está inserida a estação fluviométrica de Vila Silva Jardim, caracteriza-se por vales em V, com vertentes convexas e topos aplainados, modelados pelo Grupo Serra Geral, e está presente por quase toda a bacia (Mineropar, 2006). O Planalto de Apucarana está localizado na alta bacia e se caracteriza também por vales em V, vertentes convexas e topos aplainados (Mineropar, 2006).

Figura 3: Subunidades morfoestruturais do rio Pirapó



A topografia da bacia hidrográfica do rio Pirapó apresenta formas resultantes de processos erosivos e de entalhes ocorridos ao longo do tempo e apresenta valores de declividade pouco acentuados (Rigon; Passos, 2014). Na alta e média bacia há a presença de relevos em forma de colinas em uma superfície de contato entre derrames basálticos distintos (Rigon; Passos, 2014). Já a região da média para a baixa bacia hidrográfica é observada um relevo mais uniforme, com colinas amplas e perfis convexos, associados aos estratos cruzados dos arenitos (Rigon; Passos, 2014).

Hayakawa *et al.*, (2004) realizaram análises no perfil longitudinal do rio Pirapó e afirmaram que a drenagem do rio Pirapó encontra-se em desequilíbrio devido a evidências como: o número de fraturas na drenagem principal e na secundária (afluente Bandeirantes do Norte), importantes elementos como cachoeiras, corredeiras, vales e terraços assimétricos, além de pontos anômalos distribuídos pelas drenagens do rio Pirapó. Formações em degraus de basalto não homogêneos e maciços e a presença de fraturas e pequenas falhas poderiam gerar pontos anômalos de acordo com os estudos de Hayakawa *et al.*, (2004).

4. OBJETIVOS

Analisar o regime hidrológico e os eventos extremos do rio Pirapó na estação fluviométrica de da Vila Silva Jardim.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a variação do regime hidrológico do rio Pirapó;
- Avaliar a variação temporal das inundações do rio Pirapó;
- Avaliar a variação temporal das vazões mínimas do rio Pirapó;
- Avaliar os eventos extremos do rio Pirapó de acordo e do fenômeno ENOS.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os dados hidrológicos diários da estação fluviométrica de Vila Silva Jardim (64550000), da série histórica de 1967 a 2022, disponibilizados pela Agência Nacional das Águas – ANA. Foram realizadas análises de magnitude, duração, frequência e tempo de retorno dos eventos extremos, de acordo com a metodologia proposta por Naghettini (2012).

Para a determinação das inundações do rio Pirapó foram consideradas as vazões que apresentaram valores acima do nível de margens plenas, correspondente a 496 m³/s (Reis, 2020), enquanto os eventos de vazões mínimas foram identificados a partir da determinação do Q90, correspondente a 35,15 m³/s. Para as vazões mínimas do rio Pirapó considerou-se as vazões que apresentaram dois dias consecutivos inferiores ao valor do Q90.

Avaliou-se a variação diária, mensal e anual das vazões do rio Pirapó. A análise do tempo de permanência (duração) para as inundações e vazões mínimas foi realizada com os dados diários de vazão, ou seja, os dias seguidos em que o fluxo permaneceu na planície de inundação e no canal. Para a análise dos meses de maior ocorrência e com maior concentração de eventos extremos, foram avaliados os dados de vazões mensais. E, por fim, para a identificação dos anos de maior ocorrência, foi realizada uma análise das vazões anuais.

5.1 EL NIÑO E LA NIÑA

Foram obtidos dados dos fenômenos de *El Niño* e *La Niña*, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), visando correlacionar a ocorrência dos eventos extremos com os fenômenos climáticos.

Eventos de inundação e vazão mínima podem estar correlacionados com os fenômenos ENOS, sendo influenciados e potencializados por esses fenômenos. De acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a ocorrência de *El Niño* forte, dentro da série histórica analisada, refere-se aos anos de 1972, 1973, 1982, 1983, 1991, 1992, 1997, 1998, 2015 e 2016. Já os anos de *El Niño* moderado correspondem aos anos de 1970, 1976, 1977, 1979, 1980, 1986, 1987, 2002, 2003, 2006, 2007, 2009 e 2010 e os eventos fracos correspondem aos anos de 1968, 1969, 1992 e 1993 (Tabela 2).

Tabela 2: Ocorrência de *El Niño* na série histórica de 1967 a 2022.

Fraco	El Niño Moderado	Forte
1968-1969	1969-1970	1972-1973
1992-1993	1976-1977	1982-1983
	1979-1980	1987-1988
	1986-1987	1991-1992
	2002-2003	1997-1998
	2006-2007	2015-2016
	2009-2010	

Fonte: INPE, 2024

A ocorrência de *La Niña* dentro da série histórica analisada corresponde aos anos de 1967, 1968, 1970, 1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1988, 1989, 1998, 1999, 2000, 2007, 2008, 2010, 2017 e 2018 (INPE, 2024). De acordo com os dados disponibilizados pelo INPE, na série histórica analisada de 1967 a 2022 não há presença de eventos fortes de *La Niña*, apenas eventos moderados e fracos. Os anos de *La Niña* moderado correspondem a 1973, 1974, 1975, 1976, 1988, 1989, 1999, 2000, 2007, 2008, 2010, 2017 e 2018, enquanto os anos de eventos fracos correspondem a 1967, 1968, 1970, 1971 e 1998 (Tabela 3).

Tabela 3: Ocorrência de *La Niña* na série histórica de 1967 a 2022.

Fraca	La Niña Moderada	Forte
1967 - 1968	1973 - 1974	-
1970 - 1971	1975 - 1976	-
1998 - 1999	1988 - 1989	-
	1999 - 2000	-
	2007 - 2008	-
	2010 - 2011	-

5.2 PREENCHIMENTO DE FALHA E EXTRAPOLAÇÃO DE DADOS

Os dados de vazão da série histórica da estação fluviométrica da Vila Silva Jardim possuem anos que apresentam falhas nas vazões diárias. Para o preenchimento dessas falhas foram utilizados os dados da estação fluviométrica de UHE Rosana Itaguajé (64560000). Ainda, a série histórica de Vila Silva Jardim compreende de 1967 a 2019, por isso, realizou-se também a extrapolação dos dados de vazão até o ano de 2022, utilizando os dados da estação de UHE Rosana. Realizou-se a extrapolação de dados com o intuito de ampliar o conjunto de dados para datas mais recentes e complementar dados ausentes na planilha.

Para o preenchimento de falha e extrapolação dos dados utilizou-se a análise da regressão linear. A regressão linear consiste em um processo de estudo para analisar a relação entre uma variável dependente e uma variável independente (Rogerson, 2012). Admite-se na regressão linear, a existência de uma variável dependente (y) e uma variável independente (x) e posteriormente a elaboração de uma reta de regressão. Na regressão linear é determinada uma equação que permite prever valores para y a partir de valores de x . A equação da reta quando há apenas uma variável independente é:

$$y = a + bx$$

Onde:

y = variável dependente

x = variável independente

a = é a interseção ou o ponto onde a reta intercepta o eixo vertical

b = é a inclinação da reta

O processo do preenchimento e extrapolação foi realizado no Excel. Primeiramente foi organizado uma planilha com os dados das duas estações e calculado o coeficiente de determinação, R^2 . O coeficiente de determinação corresponde a uma medida estatística que indica quanto a variável dependente pode ser explicada pela variável independente em um modelo de regressão. O R^2 varia de 0 a 1, onde 0 indica que não há correlação entre os dados analisados e o 1 indica que o modelo explica 100% da variação dos dados. Nas estações em análises, foi determinado o R^2 de 0,68, o que implica que 68% da variabilidade dos dados da estação de Vila Silva Jardim pode ser explicada pela estação de Rosana.

A planilha foi organizada por colunas, onde cada uma corresponde a uma variável. Posteriormente foi utilizado a ferramenta “Regressão” e determinou-se o x como os dados da estação fluviométrica de Rosana e y como os dados da estação fluviométrica de Vila Silva Jardim. A ferramenta indica as estatísticas de regressão, mostrando o valor de R², o gráfico de dispersão e a equação da reta, a qual foi obtida:

$$y = 0,7714x + 8,4172$$

Os dados diários da estação de Rosana foram substituídos na variável x para a obtenção dos dados da estação de Vila Silva Jardim.

5.3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

Foi analisado a frequência das inundações e das vazões mínimas na estação em análise. A frequência de ocorrência das vazões de um rio refere-se à probabilidade de ocorrer vazões superiores ou iguais a uma determinada vazão de referência (Villela; Mattos, 1975). A frequência que uma vazão é igualada ou superada é determinada a partir da elaboração da curva de permanência. Para isso, é necessário a identificação de vazões de referência a partir do Q10 e Q90, os quais são identificados na coluna de probabilidade pelo valor mais próximo de 0,10 e 0,90, respectivamente. Foi utilizado no trabalho a vazão de Q10 para realizar as análises dos eventos de inundações.

Para a elaboração da curva de permanência foram utilizados os dados de vazões diárias durante toda a série histórica de 1967 e 2022 (total de dados = N). Os dados foram dispostos em ordem decrescente e atribui-se a cada medição um número de ordem (M) na sequência: m=1 para a maior medida, m=2 para a segunda maior medida até m=N, representando a menor medida. Após a organização da planilha, a frequência das inundações é calculada pela equação probabilística:

$$P=m/N$$

Onde:

P = probabilidade de ocorrência das vazões

m = número de ordem

N = número total de dados

Na coluna de probabilidades é identificado o valor mais próximo a 0,10 (10%) e 0,90 (90%), os quais representam os valores de Q10 e Q90, respectivamente.

5.4 TEMPO DE RETORNO

Foi calculado tempo de retorno das inundações. Esse parâmetro expressa o intervalo médio que um evento pode voltar a ocorrer ou ser superado pelo menos uma vez (Naghattini, 2012). O tempo de retorno pode ser expresso como o inverso da probabilidade. Para a determinação da probabilidade de ocorrência foi elaborado uma planilha no Excel com as vazões diárias organizadas de forma decrescente, com base na série histórica de 1967 a 2022, totalizando 55 anos. O TR foi calculado para as vazões diárias e avaliou-se para as inundações da série histórica. O tempo de retorno pode ser expresso como o inverso da probabilidade, ou seja:

$$TR = 1/P$$

Onde:

T = tempo de retorno (anos)

p = probabilidade

5.5 ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES

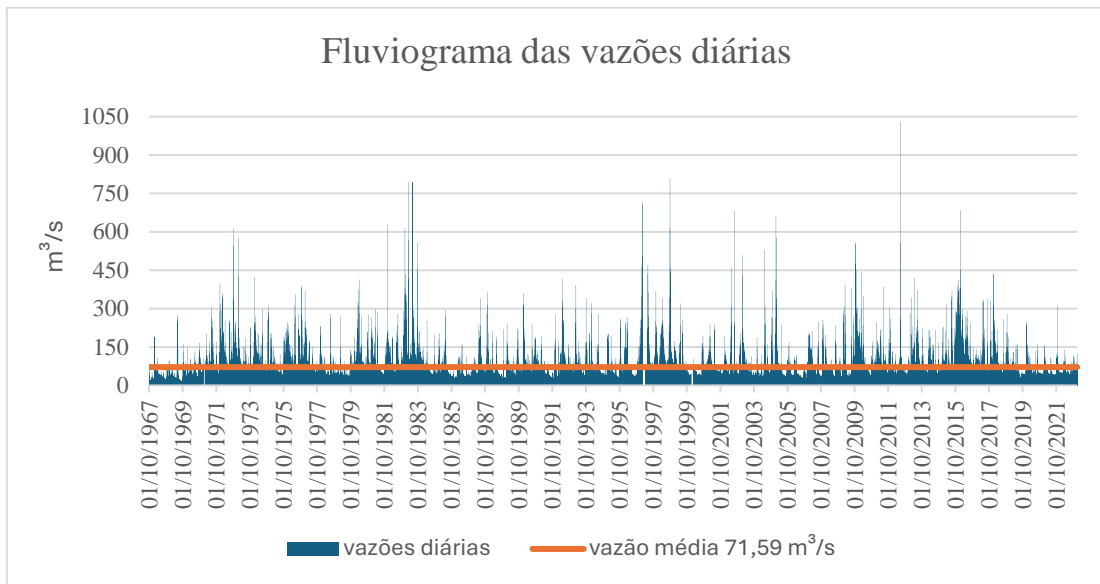
Para análise da precipitação relacionada a inundação ocorrida no ano de 2012 foram analisados os dados de precipitação diária nas estações pluviométricas apresentadas na Tabela 1 e na Figura 1. Procurou-se analisar as precipitações de 7 dias anteriores ao evento de inundação de 2012, pois acredita-se que esse seja um intervalo temporal seguro para avaliar a relação entre a precipitação e a inundação. As precipitações foram analisadas para as estações pluviométricas do rio Pirapó e do afluente rio Bandeirantes do Norte.

As estações pluviométricas localizadas no rio Pirapó compreendem como a estação pluviométrica Vila Silva Jardim, Guaiapó e Fazenda de Ubatuba, enquanto as estações localizadas no rio Bandeirantes do Norte compreendem como a estação pluviométrica Alto Alegre e São Martinho.

6 RESULTADOS

Ao analisar os dados hidrológicos diários identificou-se que a média das vazões diárias é de 71,59m³/s (Figura 4), a média das vazões máximas anuais é de 387,15 m³/s e das mínimas anuais é de 35,17 m³/s. Os anos que concentraram as menores e as maiores vazões anuais foram 1969 com 14,65 m³/s e 2012 com 1.031,94 m³/s.

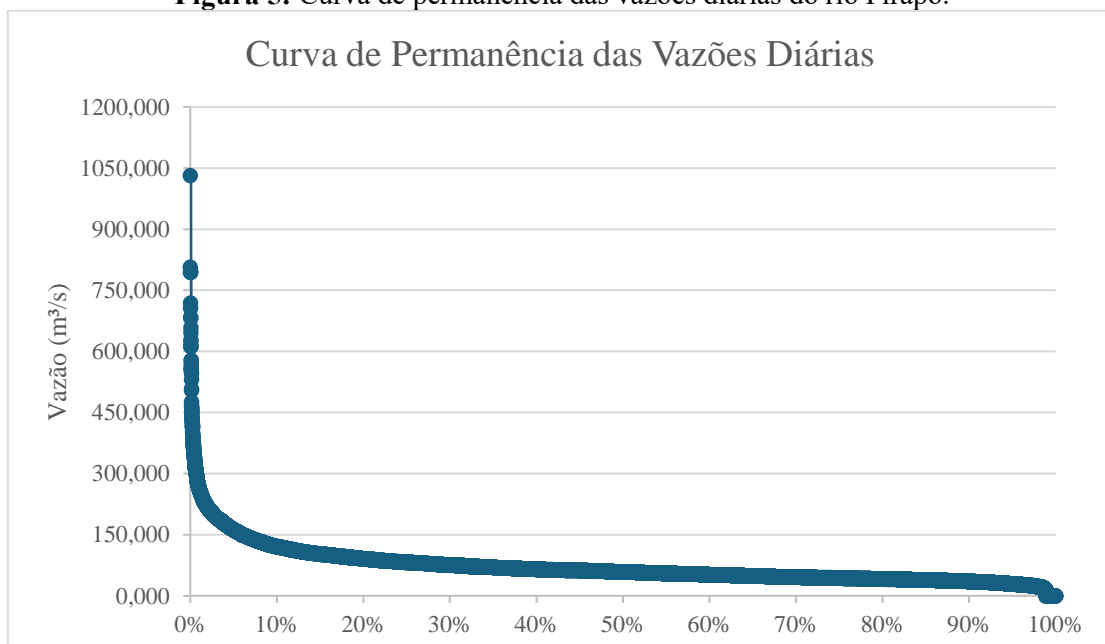
Figura 4: Fluviograma das vazões diárias na estação fluviométrica Vila Silva Jardim



6.2 FREQUÊNCIA

Para a análise da frequência foi elaborada a curva de permanência das vazões diárias da estação fluviométrica da Vila Silva Jardim (Figura 5). Com a elaboração da curva de permanência identificou-se o valor de Q10 equivalente a 120,41 m³/s e o Q90 a 35,15 m³/s, ou seja, 10% das vazões máximas esperadas encontram-se acima ou iguais ao valor do Q10, enquanto 90% das vazões mínimas esperadas são equivalentes ou superiores ao valor do Q90. O valor do Q90 foi utilizado para a determinação das vazões mínimas

Figura 5: Curva de permanência das vazões diárias do rio Pirapó.

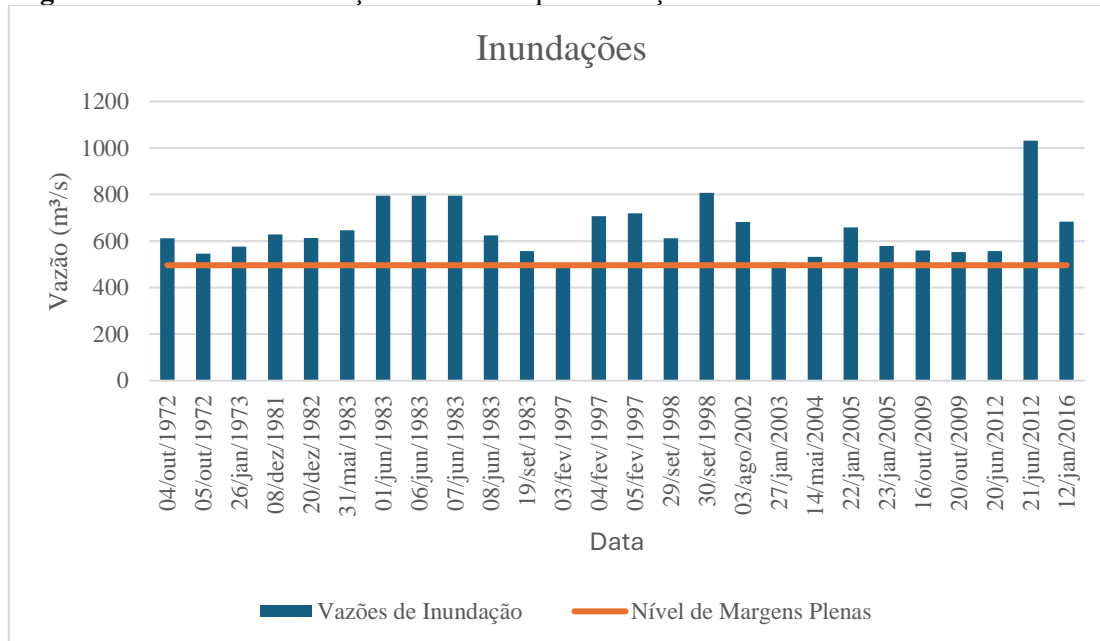


6.3 INUNDAÇÕES

O nível de margens plenas na estação fluviométrica da Vila Silva Jardim ocorre com vazão de $496\text{m}^3/\text{s}$ (Reis, 2020), de modo que foi possível determinar que os eventos de inundações no rio Pirapó ocorreram com vazões superiores ao valor do nível de margens plenas a partir de um dia (Figura 6). Entre os anos de 1967 e 2022 ocorreram 17 eventos de inundações nos anos de 1972, 1973, 1981, 1982, 1983, 1997, 1998, 2002, 2003, 2005, 2009, 2012 e 2016. Em relação ao intervalo temporal de 55 anos, observou-se que as inundações ocorrerem em média em intervalos de aproximadamente 3 anos.

Ao avaliar os dados de inundação, verificou-se o tempo de permanência de duração das inundações, as quais aconteceram com no máximo 3 dias de duração. Apenas os anos de 1983 e 1997 apresentam eventos de inundações com 3 dias de duração, enquanto os anos de 1972, 1983, 1998, 2005 e 2012 ocorreram inundações de 2 dias e os demais anos são referentes a inundações com duração de apenas 1 dia. A maior quantidade de inundações ocorreu no ano de 1983 com três eventos ao longo do ano, na qual cada evento apresentou 3, 2 e 1 dia de duração do fluxo de inundação. As inundações do rio Pirapó, na estação fluviométrica da Vila Silva Jardim, ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro, maio, junho, setembro, agosto, outubro e dezembro, predominando nos meses de janeiro, junho e outubro, durante a série histórica analisada.

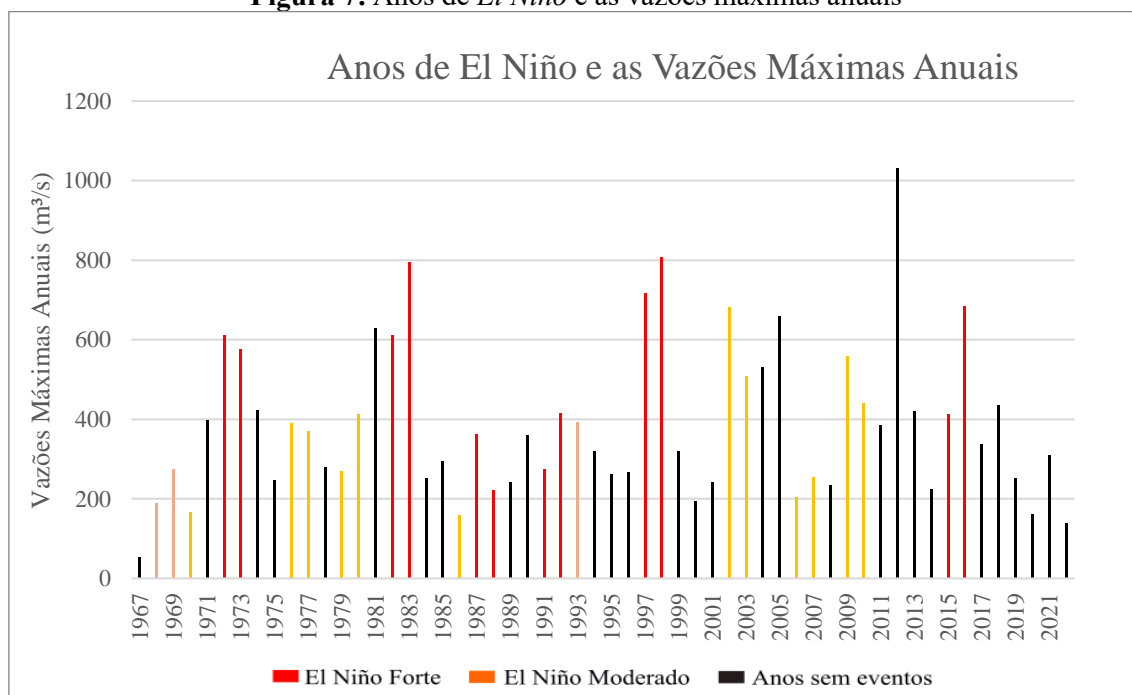
Figura 6: Eventos de inundações no rio Pirapó na estação fluviométrica da Vila Silva Jardim.



Constatou-se que 76,47% das inundações do rio Pirapó ocorreram com influência do *El Niño*, onde os anos de inundações que coincidem com o fenômeno climático são: 1972, 1973, 1982, 1983, 1997, 1998, 2002, 2003, 2009 e 2016 (Figura 7, Tabela 2). Os eventos de *El Niño* forte correspondem a 52,94% de influência nas inundações do rio Pirapó, enquanto os eventos moderados correspondem a 25,59% de influência. Não foi identificado nenhuma inundações que coincidiu com evento de *El Niño* fraco.

Os anos de inundações que coincidem com os eventos de *El Niño* forte são 1972, 1973, 1982, 1983, 1997, 1998 e 2016, já os anos de 2002, 2003 e 2009 correspondem a eventos de inundações que coincidem com os eventos de *El Niño* moderado e fraco (Tabela 3). As inundações dos anos de 2004, 2005 e 2012 não coincidem com os eventos de *El Niño*.

Figura 7: Anos de *El Niño* e as vazões máximas anuais



Na Tabela 4 é apresentado o tempo de retorno em anos para as inundações do rio Pirapó na estação fluviométrica da Vila Silva Jardim. Observa-se que a maior inundações ocorrida no ano de 2012, com vazão de 1031m³/s, apresentou um tempo de retorno de 55 anos, enquanto a menor inundações de 504,21 m³/s, ocorrida no ano de 1997, apresentou um TR de 2 anos em relação à série histórica de 55 anos. Assim, é possível definir que a inundações de 2012 é menos frequente que a ocorrida em 1997.

As inundações que apresentam TR de 2 anos correspondem a 21,4% das inundações analisadas, enquanto inundações que apresentam TR acima de 9 anos correspondem a 14,2%. As inundações mais extremas correspondentes aos anos de 1998 e 2012 apresentam tempo de retorno equivalente a 28 e 55 anos respectivamente. Esses anos correspondem a 7,1% das inundações analisadas.

Tabela 4: Tempo de retorno das inundações do rio Pirapó

Data	Vazões de Inundação	P	TR (em anos)
21/06/2012	1031,942	0,0000495491	55
30/09/1998	807,240	0,0000990982	28
07/03/1983	794,273	0,0001486473	18
01/06/1983	794,273	0,0001981964	14
06/06/1983	794,273	0,0002477455	11
07/06/1983	794,273	0,0002972946	9
05/02/1997	718,672	0,0003468437	8
04/02/1997	706,440	0,0003963928	7
12/01/2016	683,600	0,0004459419	6
03/08/2002	682,290	0,0004954910	6
22/01/2005	658,560	0,0005450401	5
31/05/1983	646,852	0,0005945892	5
08/12/1981	628,339	0,0006441383	4
08/06/1983	623,753	0,0006936874	4
04/10/1972	612,360	0,0007432365	4
20/12/1982	612,360	0,0007927857	3
29/09/1998	612,360	0,0008423348	3
23/01/2005	578,813	0,0008918839	3
26/01/1973	576,610	0,0009414330	3
06/03/1983	567,840	0,0009909821	3
16/10/2009	559,138	0,0010405312	3
19/09/1983	556,972	0,0010900803	3
20/06/2012	556,972	0,0011396294	2
20/10/2009	552,655	0,0011891785	2
05/10/1972	546,210	0,0012387276	2
14/05/2004	531,319	0,0012882767	2
27/01/2003	508,334	0,0013378258	2
03/02/1997	504,210	0,0013873749	2

6.4 VAZÕES MÍNIMAS

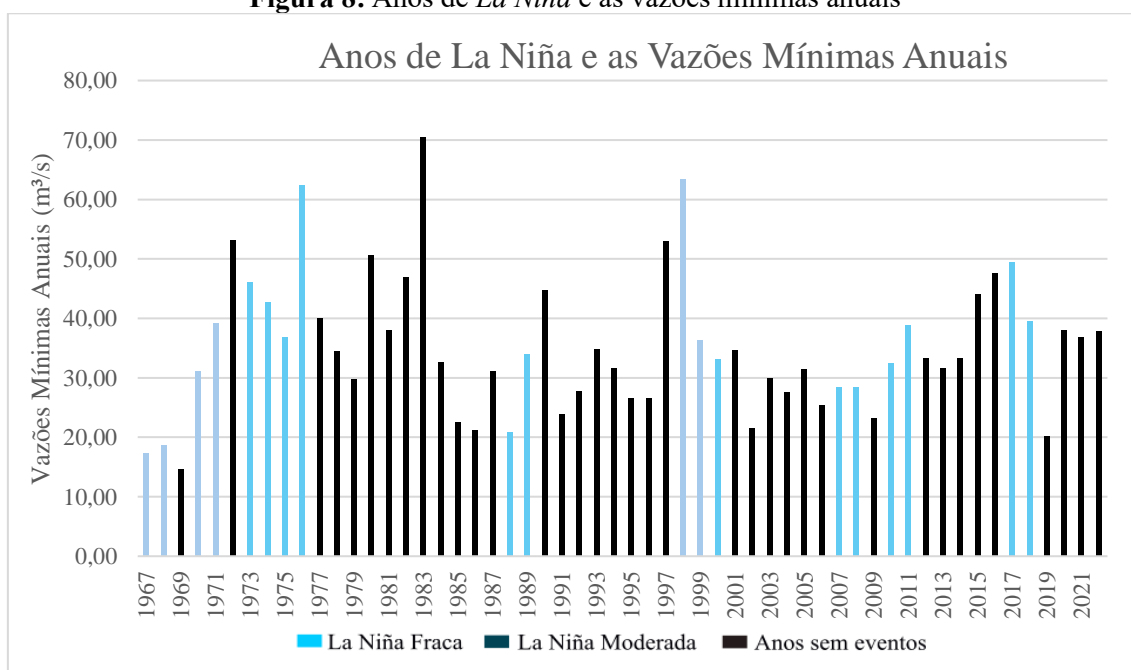
Os eventos de vazões mínimas do rio Pirapó foram identificados a partir da determinação do Q90 de 35,15 m³/s, na qual as vazões de 2 dias consecutivos abaixo desse valor foram consideradas como vazões mínimas . Entre a série histórica de 1967 a

2022 foram identificados 146 eventos de vazão mínima em 32 anos. As vazões mínimas ocorrerem em média em intervalos de aproximadamente 1,7 anos durante o período de 1967 a 2022.

Verificou-se que o tempo de permanência (duração) das vazões mínimas do rio Pirapó foi de máximo 99 dias, identificado no ano de 1969. Os anos de 1989 e 2014 apresentaram as menores quantidades de dias de vazão mínima, com ambos apresentando apenas 2 dias consecutivos. A maior quantidade de vazões mínimas ocorreu no ano de 1986, com 17 eventos ao longo do ano, já os anos de menor ocorrência foram 1978, 1993, 1995, 2001 e 2010, na qual todos apresentaram apenas um evento no ano. Os meses de maior ocorrência das vazões mínimas no rio Pirapó foram agosto, setembro, outubro e julho, correspondendo a 16, 14, 12 e 12 eventos respectivamente.

Encontrou-se que 21% das vazões mínimas(32 eventos) estão correlacionadas com o fenômeno da *La Niña* (Figura 8). Dentro dessa porcentagem, 13,78% coincidem com o fenômeno de *La Niña* fraco, enquanto 7,21% coincidem com os eventos moderados. Verificou-se ainda que 60,95% das vazões mínimas estão correlacionadas com os eventos de *El Niño*. Os eventos de *El Niño* forte correspondem a 6,84% de influência nas vazões mínimas do rio Pirapó, enquanto os eventos moderados correspondem a 36,98% e os eventos fracos a 17,12%. Ainda foram identificados 44 eventos que não coincidiram com nenhum fenômeno ENOS.

Figura 8: Anos de *La Niña* e as vazões mínimas anuais



7 DISCUSSÃO

7.1 INUNDAÇÃO

As análises demonstraram que o tempo de permanência (duração) das inundações do rio Pirapó na estação fluviométrica da Vila Silva Jardim é baixa, com no máximo 3 dias de duração, situados nos anos de 1983 e 1997. Esses dados mostram que o rio Pirapó apresenta respostas hídricas relativamente rápidas, com o aumento e diminuição da vazão. É possível observar uma dinâmica similar no rio Ivaí, no qual as inundações que apresentam 3 dias de duração correspondem a 68%, as inundações com duração de 4 a 7 dias representam cerca de 20% e as inundações com intervalos maiores que 10 dias correspondem a 6% (Douhi e Santos, 2018).

A predominância de inundações de curta duração, as quais são atribuídas a morfologia do vale e do canal e a forma da bacia hidrográfica no rio Ivaí (Destefani, 2005), possivelmente apresentam semelhanças com as características da bacia hidrográfica e na duração das inundações do rio Pirapó, implicando as rápidas respostas hídricas. No entanto, o mesmo não se aplica para o rio do Peixe localizado no oeste do estado de São Paulo, o qual a duração das inundações pode durar até 60 dias (Morais, 2015), distinguindo-se consideravelmente da dinâmica do fluxo do rio Pirapó.

Baldo *et al.*, (2012) revelaram que os anos de maior valor médio de pluviosidade foram registrados em 1980, 1983, 1997, 1998 e 2009 e os anos de menor valor foram registrados em 1978, 1984, 1985 e 1988. De fato, os anos de 1983, 1997 e 1998 apresentaram grande influência para os eventos de inundações na bacia hidrográfica do rio Pirapó, os quais apresentaram significativas vazões. No ano de 2009 também foi constatado eventos de inundações, entretanto com vazões menos significativas. No entanto, no ano de 1980 não há registros de nenhum evento de inundações.

As inundações no rio Pirapó na estação fluviométrica da Vila Silva Jardim ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro, maio, junho, setembro, agosto, outubro e dezembro, com predominância nos meses de janeiro, junho e outubro. Os meses de março, abril, julho e novembro não apresentam ocorrência de inundações na estação de análise. O mês de janeiro, acompanhado dos meses de dezembro e fevereiro, representam meses com o maior volume de precipitações para a bacia hidrográfica do rio Pirapó, enquanto os menores meses de precipitação são registrados nos meses de julho e agosto (Baldo *et al.*, 2012). A partir do mês de setembro há um aumento de precipitação, alcançando valores significativos no mês de dezembro (Baldo *et al.*, 2012).

As inundações ocorridas nos meses de maio, junho, setembro e outubro indicam que intensas precipitações, em meses de menor registros de pluviosidade, podem ocasionar estes eventos. Essas características mostram a influência de massas de ar frio durante o inverno que influenciam os rios do estado do Paraná, como descrito por Destefani (2005) para o rio Ivaí. Entretanto, tal dinâmica não se mostra influente nas inundações ocorridas no rio do Peixe, o qual encontra-se localizado no oeste do estado de São Paulo, onde as inundações limitam-se entre os meses de outubro e março (Morais, 2015).

Os maiores valores de precipitação são encontrados na região do alto rio Pirapó, e os menores valores no baixo rio Pirapó (Mioto, 2017). A bacia hidrográfica do rio Pirapó revela uma irregularidade na distribuição espacial de precipitações, devido ao fato da bacia hidrográfica estar localizada em uma área de transição climática (Terassi *et al.*, 2014). É possível observar essa dinâmica ao se analisar os estudos propostos por Baldo *et al.*, (2012) o qual realizaram uma análise da distribuição pluviométrica para toda a bacia do rio Pirapó na série histórica de 1976 a 2010. O mês de janeiro apresentou a maior média de pluviosidade para as porções sudeste e noroeste da bacia hidrográfica. Os meses de fevereiro e março indicam os maiores valores apenas para a porção sudeste da bacia hidrográfica, já os meses abril, maio e junho apresentaram os maiores valores para a montante da bacia.

Ainda, Baldo *et al.*, (2012) apontam que o mês de julho apresentou as menores médias para a região norte, e as maiores foram registradas à montante. O mês de agosto apresentou as menores médias de precipitação para toda a bacia. A partir do mês de setembro, outubro e novembro, as médias de pluviosidade aumentou e ficou mais concentrado na porção montante da bacia hidrográfica do rio Pirapó. Por fim, o mês de dezembro apresentou uma distribuição homogênea, com altos valores para toda a bacia.

Partindo do pressuposto, é possível correlacionar as análises realizadas por Baldo *et al.*, (2012) com os resultados obtidos no presente trabalho. De fato, o mês de janeiro apresentou a maior quantidade de eventos de inundação, podendo ser explicado pelas análises de Baldo *et al.*, (2012), o qual afirma que janeiro é o mês de maior acúmulo de pluviosidade por toda a bacia.

O mês de junho mostrou-se o mês com a segunda maior quantidade de eventos de inundação, no entanto, o mês não apresenta grandes valores de precipitação na bacia hidrográfica. Esses dados indicam que as inundações ocorridas neste mês são de intensas precipitações.

7.1.1 O fenômeno ENOS e as inundações do rio Pirapó

É preciso considerar que alguns eventos de inundações ocorridos no rio Pirapó possam estar associados a ocorrência de ENOS, e por esta razão, muitas inundações são influenciadas e potencializadas por esse fenômeno, associadas ao aumento dos volumes de precipitações e chuvas contínuas (Tabela 5).

O *El Niño* de 1982-1983 é considerado como um dos mais intensos, seguido pelos eventos de 1997 e 1998 (Cavalcanti, 2023). O fenômeno de 1982-1983 é responsável por influenciar as inundações com maior permanência no rio Pirapó, juntamente com o fenômeno ocorrido em 1997-1998. Nos trimestres de março-abril-maio e junho-julho-agosto do ano de 1983 apresentaram elevadas precipitações, resultando em intensos eventos de inundações (Ornelas, 1997).

Tabela 5: Fenômeno *El Niño* e as Inundações no rio Pirapó

	El Niño	
Fraco	Moderado	Forte
-	2002	1972
-	2003	1973
-	2009	1982
-	-	1983
-	-	1997
-	-	1998
-	-	2016

Fonte: INPE, 2024

Os eventos de *El Niño* ocorrem durante dois anos consecutivos, portanto, as maiores vazões se concentram nos meses de abril a julho (Borges, 2020), isso explica as fortes inundações ocorridas no mês de junho. Os eventos de *El Niño* surgem no final do primeiro ano e se intensificam no início e no meio do segundo ano (Borges, 2020). Esse fato se confirma ao analisar os eventos de inundações de 1982 e 1983, os quais se referem ao fenômeno *El Niño* de 1982-1983, apresentando inundações no final de 1982, no mês de dezembro, e sendo intensificados no meio do ano seguinte, nos meses de maio, junho e setembro.

Meurer (2003) aponta em seus estudos que o rio Ivinhema, importante tributário da margem direita do alto rio Paraná, no estado do Mato Grosso do Sul, apresenta um período de cheia entre os meses de novembro e abril, com o pico no mês de janeiro, no entanto, foi observado um pico em junho de 1983, o qual está correlacionado com o evento de *El Niño* do mesmo ano. A mesma anomalia pode ser observada nos períodos

de inundação no rio Pirapó ocorridas em meses que geralmente apresentam baixa precipitação, como os meses de maio, junho, agosto, setembro e outubro, ocasionados pelo fenômeno *El Niño*.

Já o evento de inundação do ano de 1998 ocorreu no mês de setembro e refere-se ao fenômeno *El Niño* de 1997-1998, o qual atingiu o pico em dezembro de 1997 e começou a diminuir entre os meses de fevereiro e abril de 1998 (Kayano et al., 2016). No entanto, considerou-se que estas inundações são associadas aos eventos de oscilações climáticas em razão da proximidade temporal e reconhecida defasagem temporal destes eventos (Galvani et al., 1998; Minaki e Montanher, 2019).

Os anos de inundações que coincidem com os eventos de *El Niño* forte são 1972, 1973, 1982, 1983, 1997, 1998 e 2016. Os eventos de *El Niño* forte são propícios a serem responsáveis pelas inundações ocorridas nos meses de maio, junho e julho (Borges, 2020). Os meses de maio, junho e julho, no geral, não apresentam expressividade nas precipitações na bacia hidrográfica do rio Pirapó na estação fluviométrica Vila Silva Jardim, entretanto, as inundações ocorridas em maio e junho estão correlacionadas com os eventos de *El Niño* forte, fomentando a ideia de que os eventos de *El Niño* forte ocasionam o aumento expressivo das precipitações e, conseqüentemente, influenciam nos eventos de inundação.

Já os eventos de inundações ocorridos nos anos de 2002, 2003 e 2009 coincidem com os eventos de *El Niño* moderado. Os episódios de *El Niño* moderado não apresentam grande influência no aumento das precipitações e conseqüentemente no aumento das vazões (Borges, 2020). De fato, os anos de 2002 e 2003 apresentam somente um dia de ocorrência de inundações e o ano de 2009, apesar de apresentar dois dias de ocorrência, não consecutivos, os valores da vazão de inundação são pouco expressivos ao se comparar com o nível de margens plenas, correspondendo a 559,13 m³/s e 552,65 m³/s.

7.1.2 A maior inundação da série: ano de 2012

Observou-se que o ano de 2012 apresentou a maior vazão da série histórica, com a vazão máxima de 1.031 m³/s. No entanto, o evento de inundação extremo não coincide com nenhum evento de *El Niño*, o que suscitou a possibilidade da presença de chuvas volumosas e isoladas na bacia hidrográfica do rio Pirapó. A ocorrência de eventos de inundações sem a relação com o fenômeno de *El Niño* evidencia que esses processos podem ocorrer sem a atuação desta oscilação climática ENOS (Moraes et al., 2013).

Foi analisado os dados de precipitação de 7 dias antecedentes à inundaç o de 2012 para um melhor entendimento do caso (Tabela 6). O evento de 2012 teve 2 dias consecutivos de perman ncia o fluxo, o primeiro dia (20/06/2012) com vaz o de 556,97 m³/s e o segundo dia (21/06/2012) com 1031m²/s. Na esta o pluviom trica Vila Silva Jardim foi registrado 108,9mm de chuva no dia 20/06/2012 e 9,7mm de chuva no dia 21/06/2012.

Avaliou-se tamb m os dados de precipita o para a esta o pluviom trica Fazenda de Ubatuba, localizada pr xima a nascente do rio Pirap o no munic pio de Apucarana, os valores de precipita es foram 15mm e 0,2mm nos dias 20/06 e 21/06, respectivamente. J  as esta es pluviom tricas de Alto Alegre e S o Martinhos, localizadas no rio Bandeirantes do Norte, as precipita es chegaram a 194,6mm e 234,2mm no dia 20, respectivamente, e no dia 21/06 os valores caem bruscamente para 7,4mm e 0,8mm, respectivamente.

Tabela 6: Precipita es antecedentes   inunda o de 2012

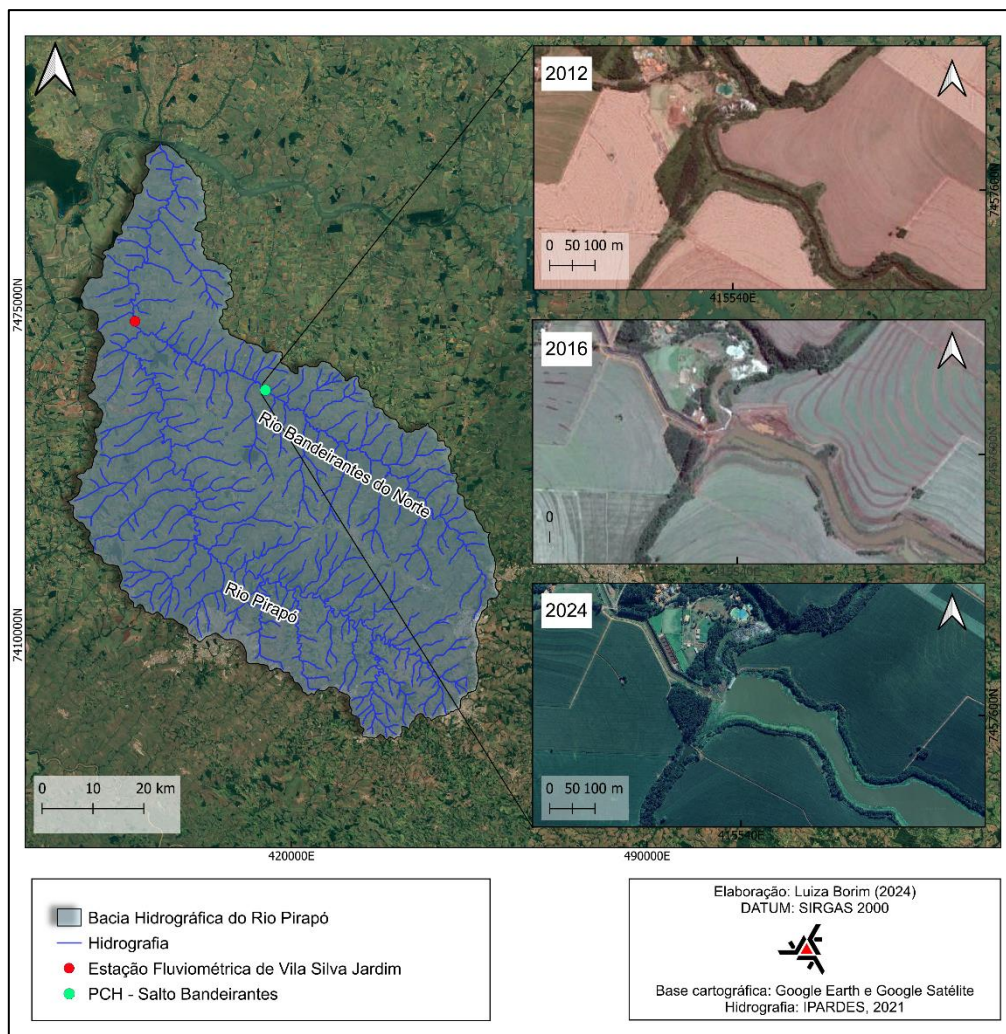
Data	Vazão	Vila Silva Jardim	Maringá	Apucarana	Alto Alegre	São Martinho
14/jun	54,05	0	0	0	0	0
15/jun	53,18	0	0	0,2	0	0
16/jun	50,61	0	0	0	0	0
17/jun	49,75	0	0	0	0	0
18/jun	55,78	61,7	0	45,4	0	0
19/jun	48,05	90,7	50,6	144,4	57,3	70,6
20/jun	556,97	108,9	130,9	15	194,6	234,2
21/jun	1.031,94	9,7	0	0,2	7,4	0,8

  poss vel observar que desde o dia 18/06 ocorreram chuvas significativas em todas as esta es, entretanto no dia 20/06 foi onde se registrou as maiores precipita es, principalmente nas esta es localizadas rio Bandeirantes do Norte. Esses dados indicam que intensas precipita es no afluente podem fomentar inunda es no canal principal, devido principalmente a proximidade da esta o fluviom trica Vila Silva Jardim com a conflu ncia dos canais. Assim, esses resultados sugerem que elevadas precipita es ocorridas de modo exclusivo na sub-bacia hidrogr fica deste afluente, fomenta a ocorr ncia de inunda es no rio Pirap o.

Partindo do pressuposto que a inunda o de 2012 foi influenciada principalmente pelas elevadas precipita es ocorridas no afluente, procurou-se avaliar outros fatores que poderiam influ ncia a vaz o. Observou-se que no rio Bandeirantes do

Norte, afluente do rio Pirapó, há uma PCH (Pequena Central Hidrelétrica) (Figura 9) instalada em 2016 próxima ao município de Alto Alegre, a aproximadamente 30 km da confluência com o rio principal. A construção de um barramento provoca impactos na quantidade e qualidade de água, assim como na sazonalidade das vazões (Vasco, *et al.*, 2017). Dessa forma, observou-se que, possivelmente, a inundação de 2012 obteve tamanha magnitude em vazão de que nesse período ainda não existia o barramento.

Figura 9: PCH Salto Bandeirantes



Os reservatórios acumulam água nos períodos de maior disponibilidade e liberam o volume quando há menor disponibilidade hídrica, reduzindo a vazão de pico (Vasco *et al.*, 2017). Estudos de impactos ambientais (EIA) elaborados pelas empresas licitadoras das PCHs, descrevem impactos gerados pela construção do barramento, sendo elas, os impactos nas rotas migratórias dos peixes, a perda de habitats e o fluxo de água que diminui a jusante (Kliemann; Delariva, 2015).

Dessa forma, no ano de 2012 não havia nenhum barramento para obstruir o grande volume de água gerada pelas intensas precipitações. Com a construção da PCH em 2016 houve o barramento da água, gerando uma acumulação contida no reservatório. Portanto, acredita-se que caso viesse a ocorrer novamente as intensas precipitações, como no ano de 2012, possivelmente não ocorreria uma inundação de tal magnitude devido ao barramento da água do afluente. O acúmulo de volume da água no reservatório pode diminuir a probabilidade de ocorrer novamente uma inundação igual a de 2012, alterando o regime fluvial.

7.1.3 Análise de frequência e tempo de retorno para as inundações do rio Pirapó

Com a elaboração da curva de permanência das vazões diárias (Figura 4) da estação fluviométrica Vila Silva Jardim identificou-se o valor de Q10. Nota-se que o valor de Q10, equivalente a 120,41 m³/s é aproximadamente 4 vezes menor que o nível de margens plenas, equivalente a 496 m³/s, e ainda, ressalta que a probabilidade de ocorrência de inundação mostrou-se abaixo de 1%. Esses dados fomentam que as vazões mais frequentes são de baixa magnitude e conforme há o aumento da magnitude, a frequência de ocorrência das vazões diminui.

As inundações do rio Pirapó apresentaram vazões entre 504,21 m³/s e 1.031,94 m³/s, na qual a grande maioria das inundações ocorreram um pouco acima do nível de margens plenas. A maior inundação observada no ano de 2012, equivalente a 1.031,94 m³/s, corresponde apenas a 2 vezes maior ao nível de margens plenas. A amplitude das inundações do rio Pirapó torna-se pouco expressiva comparada ao rio do Peixe, o qual apresenta uma variação acentuada com vazões identificadas de até 6 vezes maior que o nível de margens plenas (Morais, 2015).

As inundações de diferentes magnitudes não apresentam a mesma regularidade (Charlton, 2007). Em relação ao tempo de retorno das inundações do rio Pirapó (Tabela 4) observou-se que a maior inundação ocorrida no ano de 2012 apresentou um TR de 55 anos, enquanto a menor inundação ocorrida no ano de 1997, apresentou um TR de 2 anos. As inundações mais extremas são menos frequentes do que as inundações menores (Charlton, 2007) o que se evidencia na inundação de 2012, a qual é menos frequente que a inundação de 1997. Esses dados fomentam que a probabilidade de que ocorra a inundação de 1997 é maior que a inundação de 2012, considerando o TR referente a série histórica de 55 anos.

As vazões de inundações que variam de 504,21 a 578, 81 m³/s apresentam TR equivalente a 2 e 3 anos e representam 39,28% das inundações analisadas no TR. Conforme há o aumento das magnitudes dessas vazões, o tempo de retorno também aumenta e conseqüentemente a probabilidade de ocorrência das vazões diminuem. As inundações que atingiram as maiores vazões, as quais variaram de 706,44 a 807,24 m³/s apresentam tempo de retorno no intervalo de 7 a 28 anos, correspondendo a 25% das inundações analisadas, já a maior vazão correspondente a 1.031 m³/s apresentam um TR de 55 anos e corresponde apenas a 3% das vazões analisadas.

Estudos realizados por Destefani (2005) no rio Ivaí, mostram que mais de 60% das vazões máximas anuais são de menor magnitude e os outros 40% são de magnitudes extraordinárias, comportamento similar ao que ocorre no rio Pirapó. Douhi e Santos (2018) apontam ainda que no rio Ivaí as inundações de maior magnitude apresentam TR em 5,8 anos e em casos mais extremos podem variar de 69,2 a 200 anos. Já as áreas onde a planície de inundação é mais ativada por inundações de menor magnitude, apresentam um TR de 1,31 anos. Por outro lado, ao contrário da dinâmica do rio Pirapó, na foz do rio Ivinhema, é considerado comum o transbordamento sobre os diques marginais, com ocorrência de pelo menos 6 vezes ao ano (Meurer, 2003).

7.2 VAZÕES MÍNIMAS

As vazões mínimas ou de estiagem correspondem como os menores valores de vazões dentro de uma série histórica (Tucci; Mendes, 2006). Para a determinação da vazão mínima de referência foi identificado o Q90 de 35,15 m³/s e constatou-se a ocorrência de 146 eventos de vazão mínima dentro da série histórica de 1967 a 2022 na estação fluviométrica Vila Silva Jardim. As no rio Pirapó ocorrem em média em intervalos de aproximadamente 1,7 anos dentro da série histórica de 55 anos.

Verificou-se que o tempo de permanência de duração das vazões mínimas do rio Pirapó chegou a 99 dias de duração, no ano de 1969, enquanto o ano de 1986 apresentou o maior número de eventos, equivalente a 17 eventos. O ano de 1969 apresenta um período prolongado de vazão mínima, indicando um período crítico de baixa disponibilidade de água, podendo resultar em grandes impactos ecológicos e de abastecimento de cidades. Já o ano de 1986 representa uma maior frequência de eventos de vazão mínima, com 17 eventos marcados por durações mais curtas, de no máximo 21 dias.

Os anos de menor valor médio de precipitação foram registrados nos anos de 1978, 1984, 1985 e 1988 (Baldo, *et al.*, 2012). De fato, os anos de 1985 e 1988 apresentam dados significativos de vazão mínima na bacia hidrográfica do rio Pirapó, com 45 dias de duração e 5 eventos ao ano em 1985, e 56 dias de duração com 3 eventos ao ano em 1988. Já o ano de 1978 representa o ano com menor ocorrência de evento, apresentando apenas 1 evento de vazão mínima com 6 dias de duração. O ano de 1984 também foi pouco significativo para as vazões mínimas do rio Pirapó, com 3 eventos ao ano e no máximo 3 dias consecutivos de duração. Ainda, identificou-se que os anos de 1989 e 2014 apresentaram apenas 2 dias consecutivos de vazões mínimas.

As vazões mínimas do rio Pirapó na estação fluviométrica Vila Silva Jardim ocorreram em todos os meses do ano e mostraram-se mais frequentes nos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro. De fato, os menores meses de precipitações na bacia hidrográfica do rio Pirapó são registrados nos meses de julho e agosto, e, a partir do mês de setembro, pode constar um ligeiro acréscimo de pluviosidade para a bacia (Baldo, *et al.*, 2012). Ao contrário do rio Pirapó, as vazões mínimas do rio do Peixe encontram-se entre os meses de abril a novembro, as quais correspondem à estiagem que ocorre na região da bacia durante o inverno (Morais, 2015), dinâmica similar ao rio Ivaí, o qual apresenta um período sazonal de abril a setembro para as vazões mínimas (Destefani, 2005).

Os estudos realizados por Baldo *et al.*, (2012) indicam que os meses de julho e agosto apresentam os menores valores de precipitações concentrados na região norte da bacia hidrográfica do rio Pirapó, enquanto os meses de setembro e outubro há um aumento na pluviosidade. O mês de agosto apresentou no total 16 eventos de vazão mínima, o mês de setembro e novembro constataram 14 eventos, enquanto os meses de julho e outubro apresentaram 12 eventos no total.

Como já mencionado anteriormente, o rio Pirapó apresenta os maiores valores de precipitação concentrados na região do alto Pirapó, enquanto o baixo Pirapó verificam as menores médias pluviométricas (Mito, 2017; Rigon; Passos 2014), apresentando em uma escala espacial, uma irregularidade na distribuição das precipitações. No entanto, a bacia hidrográfica do rio Pirapó, em uma análise de escala temporal, apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com uma maior concentração nos meses do verão e um declínio no inverno, sem caracterizar a existência de um mês seco (Rigon; Passos, 2014). Esse fato explica a concentração de eventos nos meses de julho a setembro. Já o mês de novembro apresenta altos valores

de pluviosidades, no entanto, ficam restritos a porção a montante da bacia hidrográfica do rio Pirapó, podendo explicar a falta de chuvas à jusante do rio e consequentemente a presença de eventos de vazão mínima.

7.2.1 Fenômeno ENOS e as vazões mínimas do rio Pirapó

Tanto as inundações quanto os eventos de estão associados a ocorrência do fenômeno ENOS (Tabela 7). Foram constatados 146 eventos de (Q90 com duração de dois ou mais dias), porém o que se apresentou notável é que 60,95% (89 eventos) são influenciados pelo fenômeno *El Niño* e apenas 21,91% (32 eventos) estão correlacionados com o fenômeno *La Niña*.

Tabela 7: Fenômeno ENOS e as vazões mínimas do rio Pirapó

La Niña	El Niño
1967	1968
1968	1969
1970	1970
1988	1979
1989	1986
2000	1987
2007	1988
2008	1991
2010	1992
-	1993
-	2002
-	2003
-	2006
-	2007
	2009
	2010

Fonte: INPE, 2024

Os eventos de *La Niña* indicam uma redução nos volumes anuais de chuva na região Sul do Brasil e estão concentrados em dois anos seguidos, em que o primeiro ano de cada período demonstra sempre uma diminuição considerável no regime de chuvas e no segundo ano o fenômeno tende a ser mais ameno, aproximando das médias habituais de chuva (Borges, 2020). Tal dinâmica é possível observar nos anos de vazões mínimas de 1967-1968, 1988-1989 e 2007-2008, os quais apresentam vazões mínimas significativas no primeiro ano e vazões menores no segundo ano, com exceção dos anos de 1967 e 1968.

No ano 1967-1968, com ocorrência do fenômeno de *La Niña* houve no primeiro ano 32 dias consecutivos de vazão mínima no mês de dezembro, enquanto no segundo

ano houve o aumento nas vazões, com um registro de 66 dias de vazão mínima para os meses de junho a setembro. Os demais fenômenos de 1988-1989 e 2007-2008 apresentaram o primeiro ano com 56 dias e 35 dias consecutivos de vazão mínima no segundo ano 2 dias e 26 dias, respectivamente. Os demais anos com eventos de vazões mínimas correlacionados com o fenômeno *La Niña* apresenta apenas um ano de influência nas vazões mínimas

O evento de vazão mínima do ano de 1988 apresentou 3 eventos ao longo do ano e em um único evento, ocorrido nos meses de novembro e dezembro, apresentou uma vazão mínima significativa de 56 dias consecutivos. O forte evento de *La Niña* de 1988-1989 apresentou durante a estação chuvosa de setembro a dezembro meses de chuvas acima da média, porém também apresentou meses de muita seca para a região Sul do Brasil (Marengo; Oliveira, 2005). Esse fato explica a presença de um evento de vazão mínima tão expressivo nos meses de novembro e dezembro, os quais geralmente estão associados a meses de muita chuva.

De acordo com Tucci e Mendes (2006) as vazões mínimas com duração acima de 7 dias consecutivos são mais representativas para a análise hídrica. Ao se analisar as vazões mínimas dos anos de 1989, 2000 e 2010, identificou-se que os anos não são tão representativos por apresentarem poucos eventos ao longo do ano, variando de 1 a 2 eventos. Apenas o ano de 2010 apresenta um evento com 8 dias consecutivos de vazão mínima, os outros dois anos apresentam no máximo 4 dias de vazantes.

O fenômeno *La Niña* está relacionado a redução de chuvas na região Sul do Brasil, o que pode levar à diminuição das vazões, ocasionando os eventos de vazões mínimas. No entanto, observou-se que 60,95% estão correlacionadas com os eventos de *El Niño*. Embora o fenômeno *El Niño* esteja associado a um aumento de chuvas no Sul do Brasil, a distribuição espacial e temporal das chuvas pode ser desigual. Como já mencionado anteriormente, a bacia hidrográfica do rio Pirapó apresenta uma irregularidade na distribuição espacial das precipitações (Terassi *et al.*, 2014), fator que pode explicar a presença de eventos de vazões mínimas em anos de *El Niño*.

O maior evento de vazão mínima ocorrido no ano de 1969, com 99 dias consecutivos, está correlacionado com o ano de *El Niño* de 1969-1970. O evento ocorreu durante os meses de junho, julho, agosto e setembro (23/06/1969–29/09/1969), os quais consistem nos meses de menor valor de precipitação para a bacia hidrográfica do rio Pirapó. Ao analisar os dados de precipitação da estação pluviométrica de Vila Silva Jardim, observou-se que a 6 dias antes da vazão mínima ser atingida já não havia

registro de chuvas para a região, e permaneceu sem chover por 20 dias posteriormente a vazão mínima ser alcançada. Há registro de chuva com 28 mm, porém o registro é apenas do dia 13/07/69?, e, posteriormente a região permaneceu sem chuva e com chuvas abaixo de 1mm por 53 dias consecutivos. Há registros de chuvas em dois dias no mês de setembro, porém, não representam valores significativos para o aumento da vazão do rio Pirapó. A vazão aumentou no dia 29/09/69? posteriormente a uma precipitação de 82 mm.

Após o intenso episódio de *El Niño* em 1982-1983, o fenômeno voltou a ocorrer em 1986-1987, porém em menor intensidade e foi marcado por intensas precipitações no Sul do Brasil (Cavalcanti, 2023). Por isso, procurou-se analisar também o evento de vazão mínima do ano de 1986, o qual apresentou 17 eventos ao longo do ano, representando a maior quantidade identificada na série histórica. Os meses que não apresentaram eventos no ano foi março, junho e dezembro, os demais meses constatarem pelo menos um evento, onde os meses mais representativos foram janeiro, julho, agosto, outubro e novembro. Entretanto, o maior evento observado no ano de 1986 corresponde ao mês de janeiro com 21 dias consecutivos de vazão mínima, os quais são continuidade de um evento ocorrido no ano de 1985 com 8 dias de vazão mínima, concentrados no mês de dezembro. Portanto, o evento durou 29 dias e concentrou-se em dois anos, 1985 e 1986, dando início no dia 24/12/1985 e encerrando no dia 21/01/1986.

O evento ocorrido no mês de setembro do ano de 1986 apresentou apenas 7 dias de vazão mínima e o mês de outubro apresentou 3 eventos, dois com 9 dias de vazão mínima e um evento com 6 dias de vazão mínima. Já no mês de novembro observou-se 2 eventos, um com 7 dias e outro com 18 dias consecutivos de vazão mínima. Tendo em vista que o evento de 21 dias ocorreu em janeiro de 1986 e o fenômeno do *El Niño* intensificou-se apenas em setembro de 1986 (Cavalcanti, 2023), é possível compreender que esse evento não apresentou influência do fenômeno *El Niño*. Ainda, ao avaliar as precipitações na estação pluviométrica Vila Silva Jardim, não houve registros de chuva durante 12 dias, o que explica o evento ocorrido no final do mês de outubro e início do mês de novembro.

O ano de 2016 é marcado pelo fenômeno *El Niño* de natureza fraca (Tabela 2) e foi constatado um evento de vazão mínima de 59 dias no rio Pirapó, identificados nos meses de julho, agosto e setembro. Também se observou um evento de 35 dias para os meses de outubro e novembro do mesmo ano. No entanto, os eventos podem ser

explicados pelos baixos valores pluviométricos nos respectivos meses que ocorreram no estado do Paraná devido a um intenso evento de seca, que deu início em abril de 2006 e prolongou até dezembro do mesmo ano (Rodriguez *et al.*, 2021).

8 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou compreender a dinâmica hidrológica das vazões extremas do rio Pirapó de acordo com os dados hidrológicos da estação fluviométrica da Vila Silva Jardim, na série histórica de 1967 a 2022. Com a realização das análises hidrológicas, identificou-se que o ano de 2012 apresentou a maior vazão, correspondendo a $1.031\text{m}^3/\text{s}$, enquanto o ano de 1969 apresentou a menor vazão equivalente a $14,65\text{m}^3/\text{s}$. Ainda, foi determinado a partir do Q90 uma vazão mínima de referência, equivalente a $35,15\text{ m}^3/\text{s}$, enquanto os eventos de inundação ocorrem superiores a $496\text{m}^3/\text{s}$, valor de vazão no nível de margens plenas.

Dentro da série histórica de 1967 a 2022 foram identificados 17 eventos de inundação, as quais ocorrem em média em intervalos de aproximadamente 3 anos. Verificou-se que o rio Pirapó apresenta curta duração das inundações, com no máximo 3 dias de duração. O ano de 1983 foi o que registrou a maior quantidade de inundações, com 3 eventos ao longo do ano.

Alguns eventos de inundações do rio Pirapó estão associados a ocorrência do fenômeno ENOS, em especial os eventos de *El Niño*. As inundações podem ser influenciadas e potencializadas por esses fenômenos e encontrou-se que 76,47% das inundações do rio Pirapó estão interligadas com os eventos de *El Niño*. O maior evento de inundação registrado no ano de 2012 não apresenta correlação com o fenômeno.

A inundação ocorrida no ano de 2012 foi o maior evento registrado dentro da série histórica e não coincidiu com o fenômeno *El Niño*, os dados de precipitação deste ano demonstra grande influência das intensas precipitações na sub-bacia hidrográfica do rio Bandeirantes do Norte. Ainda, foi possível observar a presença de uma PCH instalada em 2016 no mesmo afluente e acredita-se que, eventos como a inundação de 2012 podem não ocorrer novamente com a mesma magnitude em razão do barramento.

As vazões mínimas foram determinadas pela identificação do Q90 e constatou-se 146 eventos de vazão mínima dentro da série histórica, as quais ocorreram em média em intervalos de 1,7 anos. Avaliou-se que as vazões mínimas do rio Pirapó chegaram a 99 dias consecutivos de duração no ano de 1969 e o ano de 1986 apresentou o maior número de eventos, equivalente a 17 vazantes ao longo do ano.

Assim como os eventos de inundação, as vazões mínimas do rio Pirapó apresentaram correlação com os fenômenos ENOS. Identificou-se que 21,91% das vazões mínimas do rio Pirapó estão correlacionadas com o fenômeno *La Niña* e 60,95% como fenômeno *El Niño*. De fato, o evento de *La Niña* indica uma redução nos volumes de chuva, diminuindo conseqüentemente as vazões fluviais, porém os eventos de *El Niño* surpreendentemente demonstraram maior influência na ocorrência das vazões mínimas

Para explicar a grande quantidade de vazão mínima associadas ao *El Niño* avaliou-se os dados de precipitação dos eventos mais significativos. Verificou-se que a bacia hidrográfica do rio Pirapó apresenta uma irregularidade na distribuição espacial das precipitações, fator que explica a presença de eventos de vazão mínima no rio Pirapó em anos de *El Niño*. Portanto, a análise do regime hidrológico e das vazões extremas de inundação e vazão mínima no rio Pirapó mostrou-se importante para a compreensão da dinâmica e dos padrões fluviais do rio Pirapó.

9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 15 ago 2023.

ANDRADE, A.R de. **Variabilidade da precipitação pluviométrica na Bacia hidrográfica do Ivaí – Paraná**. Ano? Fls.? Dissertação de mestrado programa??. Maringá: UEM, 2003. 99p.

ARAÚJO, Rosimeire Gonzalez *et al.* A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 469-480, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672013000400009>.

ARAÚJO, Fernanda Cristina. **Regionalização de vazões na bacia hidrográfica do rio Piquiri**. 2015. 53 f. Dissertação (Mestrado) – colocar o programa da pós Curso de Engenharia Agrícola, Unioeste, Cascavel, 2015.

ARAÚJO, Alex Paulo de. **Dinâmica Fluvial e Regime Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema**. 2011. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

MINEROPAR. **Atlas Comentado da Geologia e dos Recursos Minerais do Estado do Paraná / Minerais do Paraná**, Curitiba, 2001.

Atlas geomorfológico do Estado do Paraná Escala 1:250.000 modelos reduzidos base, 1:500.00 / Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

BALDO, Maria Cleide *et al.* Variabilidade da Pluviosidade Temporal e Espacial na Bacia do Rio Pirapó. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 1159-1172, fev. 2012.

BARBOSA, S. E.; *et al.* **Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 10 , n 1,– Campo Grande/MS: CBESA, 64-71 p., 2005.

BITTENCOURT, Maria Mercedes, AMADIO, Sidinéia Aparecida. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, 2007.

BORGES, Anderson. **Caracterização Espaço-Temporal dos Regimes Pluviométricos e Hidrológicos do Baixo Rio Iguaçu (1976-2016)**. 2020. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.

BRIERLEY, Gary J.; FRYIRS, Kirstie A.. **Geomorphology and river management: application of the river styles framework**. Blackwellpublishing, 2005. 412 p.

CALDANA, Nathan Felipe da Silva *et al.* Ocorrências De Alagamentos, Enxurradas E Inundações E A Variabilidade Pluviométrica Na Bacia Hidrográfica Do Rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l], v. 23, n. 14, dez. 2018.

CAPOZZOLI, Caluan Rodrigues *et al.* Padrões de Variabilidade de Vazão de Rios nas Principais Bacias Brasileiras e Associação com Índices Climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 243-254, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO).

CARLOS, Felipe Ferrari Reis. **Análise temporal de inundações no baixo curso do rio Pirapó**, Paraná. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá.

CAVALCANTI, Iracema F. A. **Episódios El Niño / Oscilação Sul Durante a Década de 1986 a 1996 e suas Influências sobre o Brasil**. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), 2023.

CHARLTON., Ro. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. New York: Taylor & Francis Ltd, 2007.

CHAVES, Henrique Marinho Leite *et al.* Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informação Geográfica. **Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Sp, v. 7, n. 3, p. 43-51, ago. 2002.

CHRISTOFOLETTI, Antônio, 1936. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 2 edição, 1980.

COSTA, Rauwnier da Silva. **Influência Dos Fenômenos El Niño E La Niña Na Região Da Tríplice Fronteira: Argentina, Brasil E Paraguai, 1997-2013**. 2015. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade da Integração Latino-Americana - (Unila), Foz do Iguaçu, 2015.

CUNHA, Márcia Cristina da *et al.* Análise Temporal do Balanço Hídrico na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava, PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 1013-1028, dez. 2011.

CUNHA, Christian Santana *et al.* Influência Dos Fenômenos Climáticos El Niño E La Niña Sobre As Vazões Mínimas Do Rio Santa Maria-Rs. In: XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 20, 2013, Bento Gonçalves - Rs: Anais do **XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos** Abrh, 2013.

CRUZ, J.C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [on-line], v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

DA SILVA, Rayane Vendrame *et al.* Adequação do modelo de Gumbel para série histórica de vazões mínimas do rio Pirapó. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, [S.I.], v. 34, n. esp., p. 11-19, set. 2018. ISSN 2596-2809.

DESTEFANI, Edilaine Valéria. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí -PR**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

DOUHI, Nelson; SANTOS, Manoel Luiz dos. Cartografia das Inundações na Planície Aluvial do Rio Ivaí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 01, p. 223-236, fev. 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Sistema Brasileiro de classificação de solos Brasília: Serviço de produção de informação, 1999.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Carta de solos do Estado do Paraná**. Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Paraná. Escala 1:250.000, 2008.

ECKARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ELY, D. F., DEBREUIL, V. Análise Das Tendências Espaço-Temporais Das Precipitações Anuais Para O Estado Do Paraná – Brasil. **Revista Brasileira De Climatologia**, 21, 2017 [https:// doi.org/ 10.5380 /abclima. V21i0.48643](https://doi.org/10.5380/abclima.V21i0.48643)

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Relação Entre Precipitação E Vazão De Nascentes No Município De Lagoa Santa-Mg. In: Xx Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 10., 2013, Bento Gonçalves - Rs. **Anais do XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos**. p. 1-8, 2013.

FRYIRS, Kirstie A.; BRIERLEY, Gary J.. **Geomorphic Analysis of River Systems**. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2013. 360 p.

GALVANI, Emerson *et al.* Relações entre o índice de oscilação sul (IOS Relações entre o índice de oscilação sul (IOS) e o total mensal de) e o total mensal de chuva em Maringá- chuva em Maringá-Pr. **Researchgate**, Maringá, v. 20, n. 4, p. 531-535, 1998.

GASQUES, Ana Carla Fernandes *et al.* REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS: BREVE REVISÃO TEÓRICA. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s. l], v. 14, n. 2, p. 60-70, jul. 2018.

HAYAKAWA, Ericson Hideki *et al.* O Índice De Gradiente Como Indicador De Anomalias No Perfil Longitudinal Do Rio Pirapó. In: V Simpósio Nacional De Geomorfologia E I Encontro Sul-Americano De Geomorfologia, 5., 2004, Rio Grande do Sul. **Anais. Rio Grande do Sul. Anais do V Simpósio Nacional De Geomorfologia E I Encontro Sul-Americano De Geomorfologia**, 2004. p. 1-23.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Ocorrência do El Niño**. Disponível em: enos.cptec.inpe.br. Acesso em: set. 2023

KAYANO, Mary & Andreoli, Rita & Souza, Rodrigo & Garcia, Sâmia & Calheiros, Alan. (2016). El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. **Revista Climanálise**. Acesso em: set. 2023

KIM, Ilya S.; VISSOTTO, Sandro. Relações entre variações das vazões nas bacias hidrográficas do Brasil e os fenômenos El Niño e La Niña. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, fev. 2003.

KOPPEN, Wladimir. *Klassifikation der klimate nach Temperatur*, Niederschlag und Jahreslauf. Pet. Mitt., v. 64, 1918.

KUREK, Roberta Karinne Mocva. **Avalização do tempo de retorno dos níveis das inundações no vale do Taquaris/RS**. 2012. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

LIMA, J. E. F. W.; MONTENEGRO, S.; DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A.; KOIDE, S. Comparative hydrology: relationships among physical characteristics, hydrological behavior, and results of the SWAT model in different regions of Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1187-1195, 2015.

LINDNER, Elfride Anrain. **Estudo de eventos hidrológicos extremos na Bacia do Rio do Peixe-SC com aplicação de índice de umidade desenvolvido a partir do Tank Model**. Universidade do Oeste de Santa Catarina (Brazil), 2007.

MANNING, John C. *Applied Principles of Hydrology*. Marky Manning, 1997.

MARCATTO, Francieli Sant'ana. **Os principais sistemas pedológicos derivados das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina na Bacia Hidrográfica do Pirapó – PR: os efeitos do uso e manejo do cultivo da cana-de-açúcar**. 2020. 208 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.

MARENGO, Jose A.; OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. **Impactos do fenômeno la niña no tempo e clima do brasil: desenvolvimento e intensificação do la niña 1998/99**. Cachoeira Paulista, CPTEC, INPE, 2005. 4 p.

MARENGO, Jose A.; OLIVEIRA, Gilvan Sampaio (1998). Impactos do Fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: Desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/99. In **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Vol. 10, Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: o perfil longitudinal**. 96 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

MEURER, Maurício. Análise dos Regimes de Cheias dos Rios Paraná e Ivinhema, na Região de Porto Rico / PR. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 2, p. 185-195, ago. 2003. MIOTO, Silvia; SILVEIRA, Hélio. Análise sazonal da intensidade pluviométrica no Alto Curso do Rio Pirapó PR a partir de dados de precipitação diária. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-Mg, v. 20, n. 69, p. 484-501, mar. 2019.

MIOTO, Silvia. **Estudo da intensidade pluviométrica no alto curso do rio Pirapó - PR: uma comparação entre duas propostas metodológicas**. 2017. 138 f. Dissertação (mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, 2017, Maringá, PR

MIOTO, Silvia; SILVEIRA, Hélio. Tendência de Precipitação Anual e a Ocorrência de Eventos Extremos na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó-PR entre 1980 a 2017. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 23, n. 86, p. 298-316, 1 abr. 2022.

MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. (2021). Variáveis Climáticas e os Registros de Incêncios em Maringá-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, 27, 518–538. <https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.74403>

MONTANHER, O. C., MINAKI, C. (2020). Precipitação em Maringá-PR: estatísticas descritivas, tendência de longo prazo e probabilidade de eventos extremos diários. **Revista do Departamento de Geografia**, 39, 138-153. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.164209>

MORAIS, Eduardo Souza de. **Formas, Processos e Evolução no Padrão de Canal Meandrante em Diferentes Escalas Geomorfológicas: o Rio do Peixe, SP**. 2015. 212 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

MORAIS, Eduardo Souza de; ROCHA, Paulo Cesar. Formas e Processos Fluviais Associados ao Padrão de Canal Meandrante: O baixo Rio do Peixe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 431-449, 2016.

MORAES, Sofia Royer *et al.* Relação do Fenômeno ENOS com a Ocorrência de Inundações do Município de Lajeado/RS. In: XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 20., 2013, Bento Gonçalves - Rs. **Anais do XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos** ABrh, 2013.

NAGHETTINI, Mauro. **Introdução à Hidrologia Aplicada**. 2012. 268 f. TCC (Graduação) - Curso de Aquacultura, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Eeufmg, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

NITSCHKE, P. R. *et al.* **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina-PR: Instituto Agrônômico do Paraná-IAPAR, 2019. 210 p.

OLIVEIRA, Gilvan S. O El Niño e Você: O Fenômeno Climático. São José dos Campos: **Transtec Editorial**, 1999. 116 p.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; CAMPOS, Daniel Carlos de. A Ocupação Das Várzeas No Alto Tietê E A Reprodução Deste Modelo Urbano Na Bacia Do Rio Baquirivu Guaçu, Guarulhos E Arujá -SP. **Geosp –Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 198-213, fev. 2012.

ORNELAS, Senador Waldeck. **Comissão “El Niño”**. Brasília: Senado Federal, 1997. POFF, N. LeRoy *et al.* (sem itálico) *The Natural Flow Regime*. **BioScience**, v. 47, n. 11, p. 769-784, 1997.

- PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008.
- PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; Silva, D. D. Escoamento superficial. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 87 p
- PRUSKI, F. F.; PRUSKI, P. L. Tecnologia e inovação frente a gestão de recurso hídricos. Campina Grande: **INSA**, 2011. p.27-58
- ROGERSON, Peter A.; **Métodos Estatísticos para Geografia**: um guia para iniciantes; tradução técnica: CARAVLHO, Paulo Fernando Braga; RIGOTTI, José Irineu Rangel. - 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- RIGON, Osmar; PASSOS, Messias Modesto dos. Estudo Fisiográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó-PR. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 35-56, 2014.
- ROCHA, Paulo Cesar. Indicadores De Alteração Hidrológica No Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas E Implicações Na Dinâmica Do Ambiente Fluvial. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 191-211, abr. 2010.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation, **Monthly Weather Review.**, v. 115, n. 11, p. 1606-1626, 1987.
- ROSA, Dryelli Alexia Zatta da. **Avaliação Das Curvas De Permanência De Longo Período E Anual, Para A Estimativa Das Vazões De Referência Na Bacia Hidrográfica Do Rio Iguaçu**. 2022. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Unioeste, Cascavel, 2022.
- SANTOS, Edvânia Pereira dos *et al.* **Variabilidade espaço-temporal de chuvas extremas na bacia hidrográfica do rio São Francisco: uma aplicação conjunta do índice RAI (Rainfall Anomaly Index) e ondaletas**. Tese (Doutorado) – Curso de Meteorologia, UFCG, Campina Grande, 2016.
- SMAKHTIN, V.U. Low flow hydrology: a review. **Journal of Hydrology**. v.240, 147-186. 2001.
- TERASSI, Paulo Miguel De Bodas; *et al.* Distribuição espaço-temporal pluviométrica e a erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Formação (Online)**, v. 2, n. 21, 2014.
- TUCCI, Carlos E. M. Água no meio urbano. **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, v. 2, p. 475-508, 1997.
- TUCCI, Carlos E. M. **Regionalização de vazões**. Rio Grande do Sul; Ed. Universidade/UFRGS, 2002.
- TUCCI, Carlos E. M.; MENDES, Carlos André. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. 2. ed. Brasília, 2006. 302 p.

TUCCI, E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: **Editora da UFRGS/ABRH**, 2009.

VASCO, Anderson Nascimento do *et al.* Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 39-49, dez. 2017. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH).
<http://dx.doi.org/10.5894/rh38n2-cti1>.

VILLELA, M. Swami; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, LTDA, 1975, p. 214

WHEATON, Joseph M. et al. *Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms*. **Geomorphology**, v. 248, p. 273-295, 2015.

WOHL, Ellen. Time and the rivers flowing: Fluvial geomorphology since 1960, *Geomorphology*. **Elsevier**, v. 216, p. 263-282, jul. 2014.

ZANDONADI, Leandro. CHUVAS EXTREMAS E O INTENSO EL NIÑO DE 2015/2016. **Brazilian Geographical Journal**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 38-69, 30 jul. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia.