



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO DE ENGENHARIA DE BIODISTEMAS**

ANDERSON MATHEUS DE ARAUJO

**DOMÍNIO DOS ESCOAMENTOS EM EVENTOS ENOS:
ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA PONTE DA BATALHA/PB**

SUMÉ - PB

2025

ANDERSON MATHEUS DE ARAUJO

**DOMÍNIO DOS ESCOAMENTOS EM EVENTOS ENOS:
ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA PONTE DA BATALHA/PB**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biossistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biossistemas.

Orientador: Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros.

SUMÉ - PB

2025



A663d Araujo, Anderson Matheus de.

Domínios dos escoamentos em eventos ENOS: Estação
Fluviométrica Ponte da Batalha/PB. / Anderson Matheus
de Araujo. - 2025.

44f.

Orientador: Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros.
Monografia - Universidade Federal de Campina Grande;
Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso
de Engenharia de Biossistemas.

1. Eventos ENOS. 2. Estação fluviométrica Ponte da
Batalha - PB. 3. Hidrograma. 4. Índice de escoamento de
base. 5. La Niña. 6. El Niño. 7. Separação de escoamentos.
8. Vazões - estação fluviométrica. 9. Hidrologia. 10.
Recursos Hídricos. 11. Meteorologia. I. Medeiros, Paulo
da Costa. II. Título.

CDU: 556(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

ANDERSON MATHEUS DE ARAUJO

**DOMÍNIO DOS ESCOAMENTOS EM EVENTOS ENOS:
ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA PONTE DA BATALHA/PB**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros
Orientador – UATEC/CDSA/UFCG**

**Professor Dr. Manoel Rivelino Gomes de Oliveira
Examinador Externo – ICTI/UFBA**

**Professor Dr. Hugo Moraes de Alcântara
Examinador Interno – UATEC/CDSA/UFCG**

**Professor Me. Fabiano da Silva Araujo
Examinador Interno – UATEC/CDSA/UFCG**

Trabalho aprovado em: 09 de maio de 2025.

SUMÉ - PB

Dedico esta monografia à minha família, em especial à minha mãe Maria Marcia Araujo, ao meu pai Sebastião Luís da Silva, à minha irmã Layla Luiza Araujo da Silva e ao meu irmão Márcio Adriano Araujo, por todo amor, apoio e incentivo. Aos meus avós Maria do Socorro, José Cinésio e Irene Venereanda, pela sabedoria e orações constantes. Dedico também, com carinho, à minha esposa Maria Sabrina, que, mesmo à distância, sempre acreditou em mim e me apoiou desde o início até a conclusão desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter guiado cada passo da minha trajetória acadêmica. Foi Ele quem me fortaleceu nos momentos de dificuldade, me deu discernimento nas decisões e me concedeu saúde, coragem e fé para seguir até o fim. Sem a Sua presença constante em minha vida, nada disso teria sido possível.

À Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, especialmente ao campus do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), deixo minha sincera gratidão por todo o conhecimento, estrutura e oportunidades que me foram oferecidas. Agradeço aos funcionários que, com amizade e companheirismo, contribuíram para tornar o ambiente mais leve e acolhedor. Em especial, destaco Andson Leite e João Batista, que, além de excelentes profissionais, se tornaram verdadeiros amigos ao longo dessa caminhada, sempre dispostos a ajudar, ouvir e apoiar nos momentos em que mais precisei.

Gostaria de deixar um agradecimento profundo a todos os professores que contribuíram diretamente ou indiretamente com minha formação. Cada aula, cada orientação, cada palavra de incentivo fez parte do alicerce que me sustentou até aqui. Agradeço com carinho aos professores Edvaldo Eloy, José George, Robson Fernandes, Ilza Brasileiro, Fabiano da Silva, Rômulo Augusto e Hugo Moraes, profissionais cuja dedicação e competência foram essenciais para meu crescimento intelectual e humano. Cada um, com seu estilo único de ensinar e conduzir, deixou uma marca que levarei para sempre. Em especial, dirijo minha mais sincera gratidão ao professor Paulo da Costa Medeiros, meu orientador, cuja paciência, compromisso e atenção foram fundamentais para a realização deste trabalho. Seu apoio foi além da orientação acadêmica: foi também um exemplo de profissionalismo e humanidade que pretendo levar comigo por toda a vida.

Aos amigos que estiveram comigo ao longo dessa jornada, minha gratidão pela parceria, pelo apoio e por todas as experiências compartilhadas. A caminhada universitária foi repleta de desafios, e a presença de pessoas especiais fez com que tudo se tornasse mais leve, mais possível e, sem dúvida, mais memorável. Agradeço a Fernanda Neves, Thyago Duarte, Ana Retrão, Leila Maria, Raphael Lessa e Guilherme Caldas por cada momento de amizade sincera, por dividirem comigo sorrisos, preocupações, conquistas e aprendizados. Levo comigo cada lembrança, cada conversa, e a certeza de que esses laços construídos ao longo do tempo são para a vida toda.

Agradeço, com profundo amor e gratidão, à minha família, que sempre esteve ao meu lado, acreditando em mim mesmo quando as circunstâncias pareciam difíceis. À minha mãe, Maria Marcia Araújo, e ao meu pai, Sebastião Luís da Silva, por todo o amor, dedicação e pelos sacrifícios feitos para que eu pudesse chegar até aqui. À minha irmã Layla Luiza Araujo da Silva e ao meu irmão Marcio Adriano Araujo, pela presença constante e apoio incondicional. Aos meus avós Maria do Socorro e José Cinésio, e

à minha avó Irene Venereanda, que sempre me cobriram com carinho, palavras de sabedoria e orações sinceras. Eles foram e continuam sendo a base da minha vida.

E, com todo o carinho e emoção, agradeço especialmente à minha esposa, Maria Sabrina. Mesmo à distância, ela esteve presente de forma essencial durante toda a minha jornada acadêmica. Seu apoio constante, suas palavras de incentivo, sua paciência e compreensão diante da minha ausência e dos desafios do curso foram fundamentais para que eu conseguisse manter o foco e seguir em frente. Desde antes da minha entrada na universidade, ela acreditou no meu potencial e nunca deixou de me lembrar da importância de perseverar. Sua confiança em mim foi combustível nos momentos de dúvida, e seu amor, um abrigo seguro diante de tantas incertezas. Essa conquista também é dela, e sou imensamente grato por tudo o que vivemos, construímos e superamos juntos ao longo desses anos.

"A verdadeira paz não está na ausência de problemas, mas na capacidade de permanecer sereno diante das tempestades da vida. A ataraxia é alcançada não quando controlamos o mundo ao nosso redor, mas quando aprendemos a controlar nossas reações a ele, aceitando o que não podemos mudar com uma mente tranquila e um coração em paz."(Epicteto)

RESUMO

O hidrograma refere-se à série temporal de vazões que registra o potencial hídrico em uma seção fluvial, resumindo o balanço de entrada e saída de água em uma bacia hidrográfica. Em rios perenes, observa-se a variação sazonal dos meses em que o caudal é efluente e influente, na relação com o aquífero ao longo do ano hidrológico. Assim sendo, técnicas de separação dos escoamentos são empregadas de maneira a estimar quantitativo de fluxo subterrâneo (ou de base) e/ou superficial em determinado período, permitindo-se também, quantificar o domínio desses aportes através de índices de escoamento, como o Índice de Escoamento de Base (IEB). No presente trabalho foram utilizados três métodos de separação do fluxo de base em hidrogramas segundo filtros digitais: Intervalo Fixo (IF), Intervalo Móvel (IM) e o Mínimo Local (ML). Utilizou-se a série temporal de vazões da estação fluviométrica Ponte da Batalha, localizada no município de Cruz do Espírito Santo, na Região do Baixo Curso do rio Paraíba/PB. A escolha dessa estação e da área de estudo deve-se à disponibilidade de uma série contínua e sem falhas no período de Jan/1970 a Dez/1985, selecionado dentro da base de dados mais ampla (Dez/1969 a Dez/2024) disponibilizada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Portal HidroWeb. Nessa série temporal considerada, foram calculados IEB nos períodos de fenômenos climatológicos ENOS: El Niño e La Niña, incluindo os períodos neutros. Em todos os métodos analisados (IF, IM e ML), a condição de maior domínio de base ocorreu nos meses de recessão do fluxo total, em especial de setembro a dezembro, e de janeiro a fevereiro. O método do mínimo local (ML) foi o que ofereceu valores maiores para a proporção do fluxo subterrâneo. A discretização dos meses de El Niño e La Niña, ofereceu visão particular quanto ao aspecto climatológico nas metodologias de separação dos escoamentos empregadas: nos períodos de La Niña, os índices médios de base foram menores, no entanto, bem próximos dos valores obtidos nos períodos de El Niño; nos períodos de neutralidade, ocorreu a condição de maior domínio de fluxo basal. Os resultados obtidos visam apoiar os instrumentos de gestão dos recursos hídricos, como a outorga e a cobrança pelo uso da água bruta, em especial sob o contexto quantitativo dos aportes delimitados, aplicados em rios de fluxo perene, discretizados nas climatologias destacadas.

Palavras-chave: Hidrograma; Separação dos escoamentos; Índice de escoamento de base.

ABSTRACT

The hydrograph refers to the time series of flows that records the water potential in a river section, summarizing the balance of water inflow and outflow in a watershed. In perennial rivers, seasonal variation is observed in the months when the stream is gaining or losing in relation to the aquifer throughout the hydrological year. Thus, flow separation techniques are employed to estimate the quantity of underground (or base) flow and/or surface runoff in a given period, also allowing the quantification of the dominance of these contributions through flow indexes (BFI – Base Flow Index). In this study, three methods of base flow separation in hydrographs were applied using digital filters: Fixed Interval (FI), Moving Interval (MI), and Local Minimum (LM). The flow time series used came from the Ponte da Batalha fluviometric station, located in the municipality of Cruz do Espírito Santo, in the Lower Course Region of the Paraíba River, in the state of Paraíba, Brazil. The choice of this station and study area was due to the availability of a continuous and gap-free data series from Jan/1970 to Dec/1985, selected from the broader database (Dec/1969 to Dec/2024) provided by the National Water and Sanitation Agency (ANA), through the HidroWeb Portal. In this selected time series, base flow indexes were calculated during the climatological ENSO events: El Niño and La Niña, including neutral periods. In all analyzed methods (FI, MI, and LM), the greatest base flow dominance occurred during the months of total flow recession, especially from September to December and from January to February. The Local Minimum (LM) method yielded the highest values for the proportion of groundwater flow. The discretization of El Niño and La Niña months offered a specific view of the climatological influence on the applied flow separation methodologies: during La Niña periods, the average base flow indexes were lower, yet very close to the values observed during El Niño periods; in neutral periods, the condition of higher base flow dominance was recorded. The results obtained aim to support water resource management instruments in the study area, such as water use permitting and raw water charging, especially in the quantitative context of flow partitioning, applied in perennial rivers, discretized according to the highlighted climatologies

Keywords: Hydrograph; Separation of flows; Base flow index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia Hidrográfica do rio Paraíba: (a) drenagem, subdivisão; açudes principais e área sedimentar; (b) Destaque da Região do Baixo Paraíba; (c) Localização da Estação Fluviométrica Ponte da Batalha.....	21
Figura 2 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando os métodos IF (a), IM (b) e ML (c) (Adaptado de: Sloto & Crouse, 1996).	22
Figura 3 – Vazão global observada– estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).....	26
Figura 4 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método IF (Modificado de: Sloto; Crouse, 1996) – estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985), com destaque em zoom para o ano de 1971.....	27
Figura 5 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método IM (Modificado de: Sloto; Crouse, 1996) – estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985), com destaque em zoom para o ano de 1971.....	27
Figura 6 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método ML (Modificado de: Sloto; Crouse, 1996) – estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985), com destaque em zoom para o ano de 1971.....	28
Figura 7a - Índice de base diário em função do método de intervalo fixo para anos em La Niña – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	29
Figura 7b – Índice de base diário em função do método de intervalo fixo para anos em El Niño – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	29
Figura 7c – Índice de base diário em função do método de intervalo fixo nos períodos de neutralidade – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985)	30
Figura 8a – Índice de base diário em função do método de intervalo móvel para anos em La Niña – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	30
Figura 8b – Índice de base diário em função do método de intervalo móvel para anos em El Niño – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	31
Figura 8c – Índice de base diário em função do método de intervalo móvel para anos de neutralidade – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	31
Figura 9a – Índice de base mensal em função do método de mínimo local para anos em La Niña – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	31
Figura 9b – Índice de base mensal em função do método de mínimo local para anos em El Niño – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	32
Figura 9c – Índice de base mensal em função do método de mínimo local para anos de neutralidade – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação trimestral dos eventos climatológicos El Niño, La Niña e Neutro segundo a Japan Meteorological Agency (JMA)	25
Tabela 2 - Médias trimestrais do índice de base pelo método de Intervalo Fixo (IF) – Estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).....	34
Tabela 3 - Médias trimestrais do índice de base pelo método de Intervalo Móvel (IM) – Estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).	35
Tabela 4 - Médias trimestrais do índice de base pelo método do Mínimo Local (ML) – Estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da

Paraíba ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CDSA – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos ENOS – El

Niño Oscilação Sul

IEB – Índice de Escoamento de Base

IF – Intervalo Fixo

IM – Intervalo Móvel

JMA – Japan Meteorological Agency

ML – Mínimo Local

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

Q7,10 – Vazão mínima com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos

Q90 – Vazão com 90% de permanência

Q95 – Vazão com 95% de permanência

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS: CONTEXTO CLIMATOLÓGICO E DE GESTÃO DAS ÁGUAS.....	15
3.2 ÍNDICES DE ESCOAMENTO	17
3.3 OUTORGA PELO USO DA ÁGUA BRUTA	18
3.4 EVENTOS CLIMATOLÓGICOS RELACIONADO AO ENOS	19
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	20
4.2 COLETA DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS.....	21
4.3 MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS.....	22
4.3.1 Método do Intervalo Fixo (IF)	23
4.3.2 Método do Intervalo Móvel (IM).....	23
4.3.3 Método do Mínimo Local (ML).....	23
4.4 DADOS NOS EVENTOS EL NINO E LA NINA	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 CONFECÇÃO DE HIDROGRAMAS E SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS.....	26
5.2 INDICES DE ESCOAMENTO	28
6 CONCLUSÃO	38
REFERENCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A preocupação dos governantes mundiais quanto à crise ambiental, foi bem evidenciada algumas décadas após a segunda guerra mundial, diante da crescente exploração aos recursos naturais em função do aumento das atividades produtivas e do consumismo, com eventos reunindo representantes de várias nações, como: em 1972, na primeira Conferência sobre o Meio Ambiente Humano das Nações Unidas, em Estocolmo; em 1987, na divulgação do Relatório Brundtland, através da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, com a proposta do conceito de desenvolvimento sustentável; e em 1992, com a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, com lançamento da Agenda 21 global (MMA, 2025).

Fruto do histórico de debates da Questão Ambiental, a Nova Gestão das Águas no Brasil, passou a ser regida pela Lei 9.433 de 1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH), com visão de um gerenciamento hídrico por bacia hidrográfica (art. 1º -V), de forma descentralizada e participativa (art. 1º -VI), destacando a água como bem de domínio público, recurso escasso e dotado de valor econômico (art. 1º -I, II), utilizando-se de cinco instrumentos de gestão: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Devido à multiplicidade de usos e usuários, bem como a dinâmica quali-quantitativa espaço-temporal dos recursos hídricos em bacia hidrográfica, a aplicação dos instrumentos de gestão é tarefa complexa.

Um tópico fundamental aderente às crises hídricas, trata-se da variabilidade climática que impacta em escala global ou regional, com influência direta no regime de chuvas. Nesse contexto, o Nordeste Brasileiro é fortemente influenciado: pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); pelo Dipolo do Atlântico Tropical; pelos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN); e pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) - sistemas cuja variabilidade interanual está ligada às anomalias térmicas nos oceanos Atlântico e Pacífico (CARDOSO, 2019). Nessa conjuntura, destacam-se os eventos ENOS (El Niño Oscilação Sul): “fenômeno acoplado (atmosférico-oceânico) que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente)” em suas duas fases, El Niño e a La Niña (<http://enos.cptec.inpe.br/>). Aqui destaca-se a condição hidrológica do escoamento nos rios, importante no balanço hídrico em uma bacia hidrográfica, bem relacionado aos eventos de precipitação.

Este trabalho trata-se de um capítulo relacionado ao aspecto quantitativo da água em uma seção fluvial, a separação dos escoamentos subterrâneo e superficial direto, através de hidrogramas (série temporal de vazões). Essa separação permite calcular índices de escoamento

sob diferentes escalas temporais, mensurando-se o domínio do escoamento de base frente ao fluxo total do rio. No presente estudo de caso, aplicado à estação fluviométrica Ponte da Batalha, localizada na Região do Baixo Curso do rio Paraíba/PB, localizada em área sedimentar, normalmente com fluxo contínuo ao longo do ano hidrológico. Foi agregado ainda, a discretização desses índices nos períodos em El Niño, La Niña e em neutralidade, oferecendo adicional informação nessas condições climatológicas.

Espera-se com os resultados contribuir com estudos sobre os instrumentos de gestão das águas, como a outorga e a cobrança, sob o contexto quantitativo, tanto na área estudada como em regiões de características hidroclimatológicas semelhantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Calcular os índices de escoamento baseados na delimitação de hidrogramas por filtros digitais, discretizados nas ocorrências de eventos climatológicos El Niño, La Niña e normais, na estação fluviométrica Ponte da Batalha-PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir o período de dados para o estudo;
- Delimitar os escoamentos de base e superficial direto, através dos métodos: Intervalo Fixo (IF), Intervalo Móvel (IM) e o Mínimo Local (ML);
- Discretizar climatologicamente os anos/meses nos eventos ENOS e em períodos normais;
- Calcular o aporte hídrico total e subterrâneo em cada método (IF, IM e ML);
- Calcular os índices de fluxo, segundo o índice de escoamento de base (IEB), nos meses com climatologia discretizada segundo os métodos IF, IM e ML.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS: CONTEXTO CLIMATOLÓGICO E DE GESTÃO DAS ÁGUAS

O hidrograma é uma ferramenta fundamental na ciência hidrológica, pois resume o balanço de entrada e saída de água em uma seção fluvial. Seus principais componentes de vazão são o escoamento superficial direto e o fluxo de base (ou subterrâneo). O escoamento superficial refere-se à água que flui na superfície da terra em decorrência de períodos de precipitação, sendo o principal aporte na variabilidade fluvial. Por outro lado, o escoamento de base, alimentado pelo lençol freático, desempenha um papel essencial na manutenção do fluxo dos cursos d'água entre os eventos de precipitação, tornando-se foco essencial dos estudos hidrológicos e ecológicos (Thomas, Vogel e Famiglietti, 2015).

O hidrograma apresenta-se com uma série de elementos que fornecem informações detalhadas sobre a resposta hidrológica da bacia durante os eventos chuvoso e de estiagem. Entre esses elementos estão o tempo de concentração, que representa o intervalo entre o início da precipitação e a ocorrência da vazão máxima no ponto de controle da bacia; o tempo de base, que corresponde à duração total do escoamento gerado pelo evento; o tempo de retardo, que é a diferença entre o momento de maior intensidade da chuva e o pico de vazão; e a própria vazão de pico, que indica o valor máximo de descarga observado. Esses parâmetros são essenciais para a análise e a previsão de eventos extremos e para o planejamento de estruturas hidráulicas (Chow, Maidment e Mays, 1976).

Os diferentes tipos de escoamento representados no hidrograma também merecem destaque. Além do escoamento superficial e do fluxo de base, existe o escoamento subsuperficial (*interflow*). Esse tipo de escoamento ocorre lateralmente abaixo da superfície do solo e contribui com parte do volume total de água que chega ao curso d'água, situando-se entre o escoamento superficial e o fluxo de base. Esse processo é particularmente relevante em regiões com solos de alta permeabilidade ou em terrenos com maior declividade (Gelmini et al., 2022). Em linhas gerais, o escoamento direto é composto pela soma do escoamento superficial e do subsuperficial, enquanto o escoamento total compreende também o aporte do fluxo de base.

O fluxo de base, por sua vez, é mantido por reservatórios subterrâneos e apresenta comportamento de descarga lenta e contínua ao longo do tempo, mesmo na ausência de precipitações. Essa característica faz com que o fluxo de base seja determinante para a manutenção do regime fluvial em períodos secos, influenciando a qualidade e a quantidade da água disponível (Mao et al., 2022). A separação dos componentes do escoamento, distinguindo entre fluxo de base e escoamento direto, constitui uma das ferramentas mais relevantes da hidrologia para a modelagem de bacias hidrográficas e a quantificação dos aportes hídricos.

"A aplicação dessa análise estende-se também à ecologia, pois permite compreender de que forma os diferentes tipos de escoamento sustentam os habitats aquáticos e contribuem para a biodiversidade dos ecossistemas (Rolls et al., 2017). No campo da qualidade da água, essa separação auxilia na identificação das fontes de poluentes e na avaliação do transporte de contaminantes, sendo fundamental para entender os processos de diluição e autodepuração dos corpos hídricos (Deakin et al., 2010; Val et al., 2022). O comportamento dos fluxos tem influência direta no transporte de sedimentos, aspecto crucial nos estudos de erosão e deposição em ambientes fluviais (Huai et al., 2021).

No contexto hidrometeorológico, a análise da separação do fluxo base é fundamental para aprimorar previsões climáticas e a gestão eficiente dos recursos hídricos, especialmente em regiões afetadas por secas ou enchentes (Wang et al., 2024). A dinâmica do fluxo de base pode ser expressivamente influenciada por eventos climáticos como El Niño e La Niña, que afetam os padrões de precipitação e, consequentemente, a disponibilidade hídrica basal. Durante eventos El Niño, comumente observa-se uma redução da recarga de aquíferos e, consequentemente, menor contribuição do fluxo subterrâneo aos rios (Hund et al., 2021). Em contrapartida, durante eventos La Niña, é comum o aumento das chuvas, o que pode levar a uma maior recarga dos aquíferos e intensificar a contribuição do fluxo subterrâneo para os sistemas hídricos (Brito et al., 2020). No cenário das mudanças climáticas, a separação dos escoamentos permite avaliar como as alterações nos regimes de precipitação afetam a disponibilidade de água e os padrões de fluxo nos rios, impactando a gestão dos recursos hídricos e a ocorrência de eventos extremos, como secas e enchentes (Lima, Alves e Marengo, 2023). Compreender essa dinâmica é essencial também para

a implementação de políticas de gerenciamento hídrico, como a outorga (um dos instrumentos de gestão das águas - Lei 9.433/97). A outorga, que regula o uso dos recursos hídricos, visa assegurar o uso da água para diferentes modalidades de usuários, nesse sentido, o escoamento superficial e o fluxo de base devem ser geridos de forma sustentável, atendendo às necessidades humanas e ecológicas sem comprometer os ecossistemas. A correta implementação desse instrumento é fundamental para garantir que o uso da água ocorra de forma equilibrada e justa (ANA, 2023a). Ferramentas como o IEB tornam-se importantes para monitorar a dinâmica dos rios e a resposta hidrológica em diferentes condições, como períodos de seca (Mao et al., 2022)

A dinâmica dos recursos hídricos pode ser abordada com ênfase na delimitação do fluxo subterrâneo e do escoamento superficial, de maneira a apoiar o instrumento da outorga, utilizando-se do IEB (Freitas, 2020). Nesse sentido, é possível analisar as interações entre rios e aquíferos, observando como as águas de fluxo basal, que predominam em períodos de estiagem, podem ser mais “controladas” em termos de quantidade e qualidade. Além disso, esses fluxos podem ser mais valorizados, pois, durante os períodos chuvosos, normalmente ocorre o domínio do fluxo superficial. O IEB, reflete a influência dos atributos fisiográficos da bacia, como tipo de solo, cobertura vegetal e uso do solo, que modulam a recarga subterrânea e sustentam a vazão de base durante os períodos secos (Mattiuzzi et al., 2015). Essa variação é crucial para a definição de políticas de gestão sustentável da água, pois impacta diretamente a capacidade de manutenção dos fluxos ecológicos mínimos e permite um manejo integrado dos recursos hídricos, especialmente em regiões com forte dependência dos fluxos subterrâneos ou intensa exploração aquífera (Bloomfield et al., 2021).

3.2 ÍNDICES DE ESCOAMENTO

A proporção do escoamento delimitado em hidrogramas, mensura-se o domínio dessa delimitação ante o aporte total em uma seção fluviométrica analisada. O IEB (Baseflow Index-BFI) (Aksoy et al., 2009; Zhang et al., 2020) é calculado pela razão entre a área abaixo da curva de vazão de base (representando o volume delimitado) e a área total da curva do escoamento fluvial (indicando o volume total) durante vazão de longo período, utilizando-se da Equação 1: área (integral da vazão) configurando-se um volume, ou seja, razão entre volumes ($Q_{delimitado}$ pelo Q_{total}). O princípio do IEB é aplicável em diversos contextos, como a mensuração da variabilidade de fluxo, permitindo analisar a predominância da oscilação da vazão em diferentes intervalos de tempo, tanto durante períodos de aumento quanto de diminuição do fluxo. Os índices de escoamento, podem desempenhar papel crucial na definição de critérios para a concessão de direitos de uso da água, especialmente no que diz respeito ao fornecimento de vazão ambiental (Pires, 2018).

$$= \frac{f}{f} \quad (1)$$

Em que:

$$\frac{f}{f} = \frac{a}{a} \quad a \quad a \quad (3/)$$

3.3 OUTORGA PELO USO DA ÁGUA BRUTA

A outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos é um dos instrumentos mais importantes estabelecidos pela Lei Federal nº 9.433/97, também conhecida como a Lei das Águas. Esse mecanismo permite que o Poder Público controle o uso das águas superficiais e subterrâneas, assegurando sua distribuição equilibrada e sustentável. O objetivo da outorga é garantir que o uso dos recursos hídricos ocorra de forma planejada, evitando a escassez, prevenindo conflitos e promovendo a sustentabilidade desse recurso vital (Costa, 2009). A outorga consiste em um ato administrativo que concede ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos por prazo determinado, conforme as condições e legislações vigentes (CNRH, 2001). Esse direito de uso é essencial para garantir que a água seja utilizada de forma responsável e integrada, considerando a necessidade de proteger os mananciais e assegurar o abastecimento para as gerações futuras.

Um importante aspecto na análise das condições hidrogeológicas, que envolvem a recarga do aquífero e a qualidade da água, é essencial que a exploração de aquíferos não comprometa a disponibilidade de água para outros usuários ou para o ecossistema local. A sustentabilidade é o princípio orientador da outorga, garantindo que os mananciais sejam protegidos e preservados para uso futuro (ANA, 2019).

Quantificar a vazão outorgável denota um desafio na gestão das águas, em função dos múltiplos usuários e dinâmica espaço temporal da disponibilidade hídrica frente as demandas crescentes. Comumente são empregados métodos de cunho estatístico, como os de vazão de mínima de referência: Q90 ou Q95, vazão com 90 ou 95 por cento de garantia, respectivamente, ou a Q_{7,10}, vazão com 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos (Ribeiro et al., 2017). Outro critério na outorga, é propor uma porcentagem ao valor atribuído (referência), para garantia de atendimento às ecológicas/demandas ambientais (Santos et al., 2013). Deve-se atentar também que, nesses critérios, a outorga considera valor fixo para o ano todo, não observando a questão sazonal.

A abordagem de valor fixo para todo ano hidrológico é criticada por alguns autores, tendo em vista condicionar o uso limitado em períodos de maior abundância hídrica, fator sazonal (Ribeiro, 2018; Silva et al., 2015).

Os instrumentos de gestão das águas, são bem relacionados entre si (ANA, 2023b), a exemplo do caso da outorga e cobrança (art. 20, Lei nº 9433/97: “Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos a outorga...”). Dentre os objetivos cobrança pelo uso da água (art. 19-I, Lei nº 9433/97): “reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor”. Os modelos de cobrança predominantemente empregados no Brasil, são do tipo arrecadatórios, que consideram o preço público unitário do volume em uso (em quantidade e/ou qualidade) ponderado por um ou mais coeficientes (ANA, 2023c) segundo diferentes aspectos como: socioeconômicos, ambientais e hidroclimatológicos. Nesse sentido, o contexto de água subterrânea ter maior qualidade ante a água superficial (ABAS, 2024), pode ser considerado sob a ótica econômica, água de maior valor.

3.4 EVENTOS CLIMATOLÓGICOS RELACIONADO AO ENOS

Os fenômenos climáticos ENOS (El Niño Oscilação Sul) – El Niño e La Niña estão associados às variações na temperatura das águas do Oceano Pacífico Equatorial e exercem influência significativa sobre o clima global. Esses eventos fazem parte de um sistema de interação entre a atmosfera e o oceano que afeta padrões de precipitação, temperatura e circulação atmosférica, resultando em impactos sobre os índices de escoamento subterrâneo. A compreensão desses fenômenos é fundamental para a previsão climática e a formulação de políticas de gestão hídrica e adaptação aos seus impactos.

O El Niño é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial, resultante da diminuição dos ventos alísios, que normalmente transportam águas frias para a superfície (Lübbecke e McPhaden, 2017). Esse aquecimento impacta significativamente o regime de chuvas e temperaturas em diversas regiões do mundo. No Brasil, os efeitos são distintos entre as regiões: o Nordeste e a Amazônia enfrentam secas severas, reduzindo a recarga dos aquíferos e diminuindo os índices de escoamento subterrâneo, enquanto o Sul do país pode registrar chuvas intensas e inundações, resultando no aumento da infiltração e recarga hídrica em algumas áreas (Marengo, 2010). Além disso, a menor umidade do solo durante eventos El Niño, pode comprometer o armazenamento de água subterrânea e impactar o abastecimento hídrico em regiões dependentes de aquíferos (Hund et al., 2021).

La Niña é definida pelo resfriamento anômalo das águas do Pacífico Equatorial, causado pelo fortalecimento dos ventos alísios, que intensificam a ressurgência de águas frias (Lübbecke e McPhaden, 2017). Esse fenômeno também provoca impactos significativos no clima global. No Brasil, o evento La Niña está associado a chuvas acima da média no Norte e Nordeste, favorecendo a infiltração e a recarga dos aquíferos nessas regiões, enquanto a região Sul apresenta maior risco de estiagens prolongadas, o que pode reduzir significativamente os índices de escoamento subterrâneo (Marengo, 2008).

Os eventos El Niño e La Niña alternam-se em ciclos que variam entre dois e sete anos, influenciando setores como abastecimento de água, gestão de recursos hídricos e infraestrutura urbana. As transições entre as fases do El Niño provocam mudanças significativas na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), afetando a circulação atmosférica e a distribuição de precipitação em regiões tropicais como a Bacia do Orinoco, cuja sazonalidade hidrológica é modulada pela ZCIT e influenciada pelo ENSO (Oliveira; Albuquerque, 2023). Durante essas transições, observa-se uma alteração na velocidade do vento vertical, influenciando o transporte de umidade e a infiltração da água no solo, impactando diretamente os índices de escoamento subterrâneo em diversas regiões (BUILES-JARAMILLO et al., 2023). A previsão e o monitoramento desses fenômenos são essenciais para mitigar seus impactos, sendo que modelos climáticos avançados e redes de boias oceânicas desempenham papel fundamental na coleta de dados e previsão de sua ocorrência (McPhaden et al., 2023). Entretanto, desafios permanecem na previsão precisa desses eventos devido à complexidade dos sistemas climáticos envolvidos. A complexidade dos processos hidrológicos e a variabilidade espacial e temporal dos eventos ENSO impõem desafios à previsão precisa da recarga aquífera, ressaltando a necessidade de estratégias integradas para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos (ZHOU et al., 2025).

4 MATERIAL E MÉTODOS

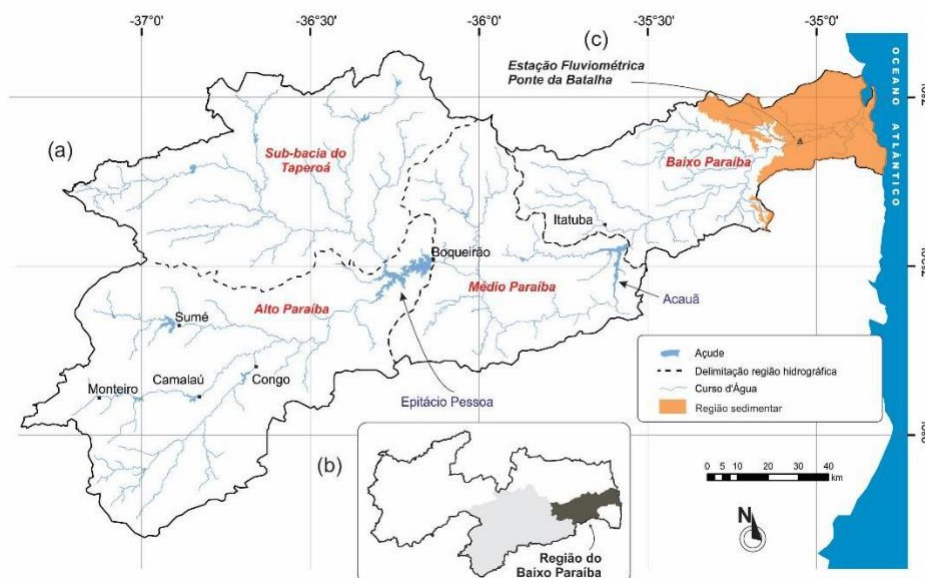
4.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Norte (BHR-PB) (Figura 2), com cerca de 20.000 km², é a maior bacia hidrográfica de domínio estadual da Paraíba, representando aproximadamente 32% da área do estado. O rio Paraíba nasce no Planalto da Borborema e se estende por cerca de 250 km, atravessando tanto regiões semiáridas quanto urbanas (AESAs, 2009a), subdividida em: sub-bacia do Taperoá e Regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do rio Paraíba. O açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) e o açude Argemiro de Figueiredo (Acauã) são os dois principais reservatórios. Essa Bacia é fundamental para o abastecimento e a irrigação, impactando diretamente a vida de milhões de habitantes. Predominantemente, a BHR-PB apresenta um clima tropical semiárido, com precipitação média anual em torno de 500 mm, concentrada em curtos períodos do ano (Lacerda, 2003).

O regime pluviométrico da Paraíba é caracterizado pela irregularidade das chuvas, com concentrações pluviométricas mais altas no inverno (março a julho) e longos períodos de seca, especialmente nas regiões do Sertão e Cariri (Souza et al., 2015). Em áreas mais urbanizadas e no Agreste, as chuvas podem atingir valores mais elevados, mas ainda assim com grande variabilidade anual. Devido a esse regime, o rio Paraíba se torna intermitente em grande parte de

seu percurso, o que levou à construção de açudes e barragens. A capacidade de armazenamento hídrico na bacia é superior a 1 bilhão de m³, o que é crucial para a gestão da água na região (AESAs, 2009a). A parte do rio Paraíba em condição perene, confere a partir

Figura 1: Bacia Hidrográfica do rio Paraíba: (a) drenagem, subdivisão; açudes principais e área sedimentar; (b) Destaque da Região do Baixo Paraíba; (c) Localização da Estação Fluviométrica Ponte da Batalha



Fonte: Adaptado de AESA (2009b)

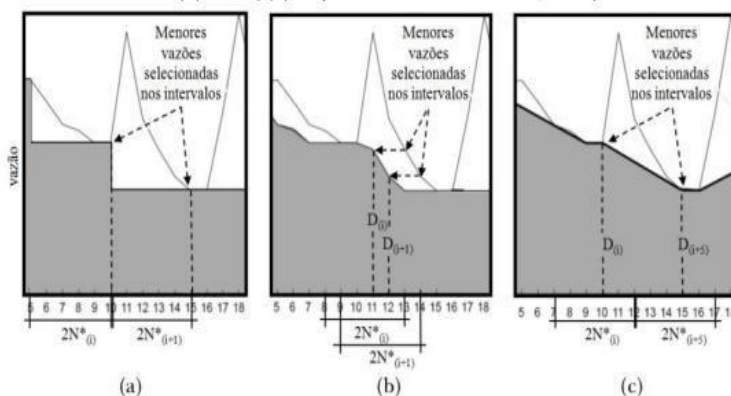
4.2 COLETA DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Foram coletados dados fluviométricos diários de séries históricas da BHR-PB pelo HidroWeb, disponíveis pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Cada estação fluviométrica possui um código numérico exclusivo atribuído pela Agência, utilizado para identificá-la nos bancos de dados e facilitar a organização e o tratamento das informações. A BHR-PB conta com mais de 31 estações distribuídas por toda a sua extensão, abrangendo diferentes municípios, dentre elas: Boqueirão (38855001), Poções (38801000), Acauã (38870000), São José II (38800300), Caraúbas (38830000), Boqueirão de Cabeceiras (38855300), Bodocongo (38860000), Barra de Santana (38860001), Picadas (38868000), Aroeiras (38868001), Guarita (38880000), Itabaiana (38880002), Pilar (38885000), Engenho Santana (38888000), Bayeux (38896000), Camalaú – Montante (38800500). O Posto Ponte da Batalha (38895000), localizado no município de Cruz do Espírito Santo (Figura 2c), próximo à capital paraibana João Pessoa, destaca-se como a estação que possui o maior acervo de dados fluviométricos (1970 a 2023), situado em área de bacia sedimentar (AESAs, 2004), configura-se com escoamento perene, assim sendo integrando aporte superficial e subterrâneo no deflúvio.

4.3 MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS

Os métodos empregados para separar o escoamento superficial do escoamento subterrâneo foram baseados nas propostas de Pettyjohn e Henning (1979), abrangendo o Método do Intervalo Fixo (IF), o Método do Intervalo Móvel (IM) e o Método do Mínimo Local (ML) (Figura 2). Essas técnicas de separação, implementadas como filtros digitais, se destacam por sua aplicação prática e econômica, superando algumas limitações associadas a outros métodos. É relevante observar que os resultados obtidos por esses métodos apresentam uma boa concordância com aqueles provenientes de procedimentos manuais de separação (Sloto e Crouse, 1996) e do método dos traçadores (Litt et al., 2015).

Figura 2 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando os métodos IF (a), IM (b) e ML (c) (Adaptado de: Sloto & Crouse, 1996).



Fonte: Miranda et al. (2014)

A aplicação dos métodos IF, IM e ML envolve um intervalo de $2N^*$ dias, sendo o valor de $2N^*$ determinado pelo número inteiro imediatamente superior ao dobro de N (Pettyjohn e Henning, 1979). O “ N ” no contexto hidrológico, refere-se ao tempo entre o pico do hidrograma ao início da recessão. A estimativa de N , conforme Equação 2 empírica amplamente aceita (Linsley et al., 1982), contribui para uma adequada aplicação desses métodos de separação. Essa abordagem se destaca pela sua eficácia na obtenção de resultados confiáveis, consolidando-se como uma ferramenta valiosa na análise do comportamento hidrológico.

$$= 0.827 \cdot 0,2 \quad (2)$$

Em que:

- A = área de drenagem (km^2)

4.3.1 Método do Intervalo Fixo (IF)

No método IF é selecionado a menor vazão dentro do intervalo de $2N^*$. Então essa vazão é considerada como a de aporte subterrâneo, sendo mantida constante durante todo o intervalo de $2N^*$ dias. Nesse método, foi implementado filtro corretivo, quando da transição (intervalo fixo) do valor de vazão delimitado, estiver superior ao valor escoado, considerando para tal, esse último, como sendo a vazão de base.

4.3.2 Método do Intervalo Móvel (IM)

No método IM o menor valor é selecionado no intervalo $2N^*$ dias e esse valor será considerado como o escoamento subterrâneo do dia (D) dentro do mesmo intervalo. O critério de seleção do dia D dentro do intervalo de $2N^*$ dias será estimado pela Equação 3:

$$D = \begin{cases} 0,5(2N^* - 1) \rightarrow 2N^* \text{ é um número ímpar} \\ \rightarrow 2 \rightarrow \text{é um número par} \end{cases} \quad (3)$$

Em que:

- (D) é o dia selecionado dentro do intervalo $2N^*$ dias.

O intervalo de $2N^*$ dias é deslocado para o próximo dia da série de vazões em que é selecionado um valor mínimo que será adotado como o escoamento subterrâneo.

4.3.3 Método do Mínimo Local (ML)

No método ML é analisado se a vazão do $D(D)$ (como sendo a vazão central no intervalo $2N^*$) na (Equação 3) é o menor valor dentro desse de $2N^*$ dias. Se atender as condições este se torna o mínimo local. A análise passa então sequencialmente para o próximo intervalo (deslocamento de $2N^*$) verificando-se a ocorrência de dia central como valor mínimo, caso positivo, o ponto é marcado, caso contrário, o ponto (valor central) continuará a ser o identificado no deslocamento anterior. A delimitação é definida com a interligação desses pontos “mínimos centrais” definidos (interligados por funções lineares – equação da reta). Uma atenção, quando da ocorrência de alguns valores de vazões do hidrograma (*vazão total ou fluvial*) estarem abaixo de parte do traçado que interligam os pontos definidos. Nesses casos a correção é feita, considerando-se o valor da delimitação como sendo o valor da vazão fluvial.

4.4 DADOS NOS EVENTOS EL NIÑO E LA NIÑA

Para a caracterização dos eventos climáticos associados ao fenômeno El Niño, foram utilizados dados disponibilizados pela Japan Meteorological Agency (JMA), uma das principais instituições meteorológicas reconhecidas internacionalmente no monitoramento e classificação desses eventos. A JMA classifica os episódios com base na anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) na região equatorial do oceano Pacífico, especificamente no setor compreendido entre 5°N–5°S e 150°W–90°W, considerando um limiar de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ como referência para a identificação dos eventos El Niño e La Niña. A forma de apresentação adotada pela JMA organiza os dados em trimestres móveis, sendo cada trimestre composto por três meses consecutivos, agrupados da seguinte forma: DJF (dezembro, janeiro e fevereiro – verão no hemisfério sul), MAM (março, abril e maio – outono), JJA (junho, julho e agosto – inverno) e SON (setembro, outubro e novembro – primavera). Essa estrutura trimestral visa capturar a persistência das anomalias oceânicas e atmosféricas, critério essencial para a caracterização de um episódio como pertencente ao El Niño ou à La Niña, visto que variações sazonais de curta duração não configuram, por si só, a ocorrência do fenômeno.

Na presente pesquisa, os dados foram reorganizados para facilitar a compreensão sob a perspectiva das estações do ano no hemisfério sul, mantendo-se, contudo, a lógica trimestral de análise conforme a padronização internacional. Foram identificadas e descritas as condições predominantes para cada estação entre os anos de 1970 e 1985, resultando em uma tabela de eventos El Niño segmentada por trimestres e associada às respectivas estações do ano e meses correspondentes no Brasil.

Tabela 1 - Classificação trimestral dos eventos climatológicos El Niño, La Niña e Neutro segundo a Japan Meteorological Agency (JMA)

Ano	D-J-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
1970	Neutro	Neutro	El Niño	El Niño
1971	El Niño	El Niño	La Niña	La Niña
1972	La Niña	La Niña	El Niño	El Niño
1973	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1974	El Niño	Neutro	La Niña	La Niña
1975	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
1976	La Niña	Neutro	El Niño	El Niño
1977	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1978	El Niño	El Niño	Neutro	Neutro
1979	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1980	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1981	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1982	Neutro	Neutro	El Niño	El Niño
1983	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1984	Neutro	Neutro	La Niña	La Niña
1985	La Niña	La Niña	La Niña	Neutro

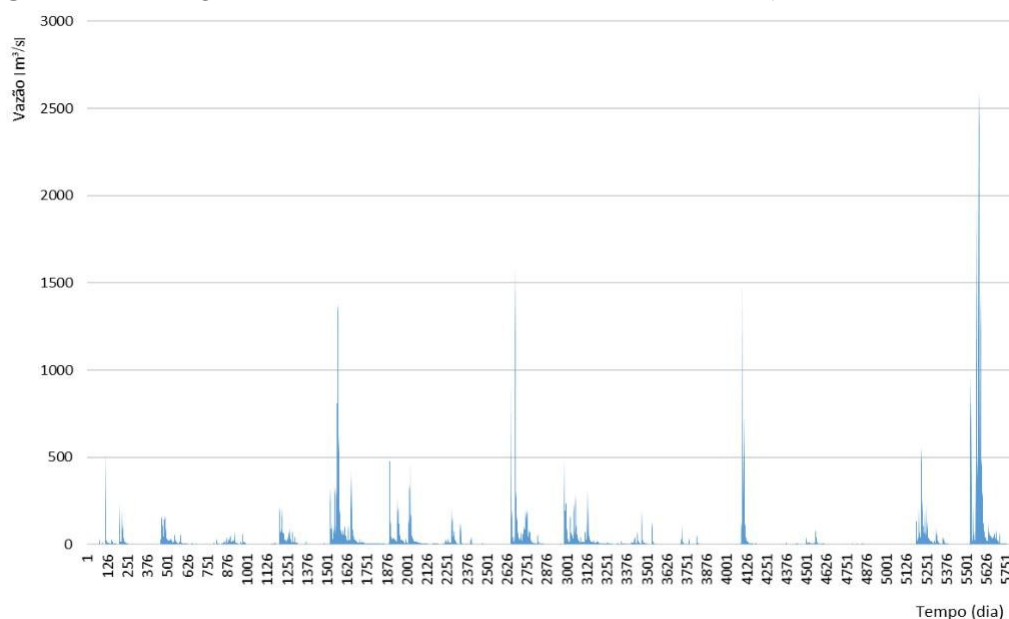
Fonte: Adaptado do Japan Meteorological Agency (JMA)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONFEÇÃO DE HIDROGRAMAS E SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS.

Na Figura 3 apresenta-se a série de dados de vazão global (dados diários da estação Ponte de Batalha/PB no período de 01/01/1970 a 31/12/1985). Esta vazão corresponde ao escoamento total do rio, englobando tanto a contribuição do escoamento superficial direto quanto do escoamento subterrâneo, antes da aplicação de qualquer método de separação. Ressalta-se que, nesta etapa, não há distinção entre as componentes do escoamento, sendo essa a série utilizada como base para as metodologias de separação analisadas posteriormente.

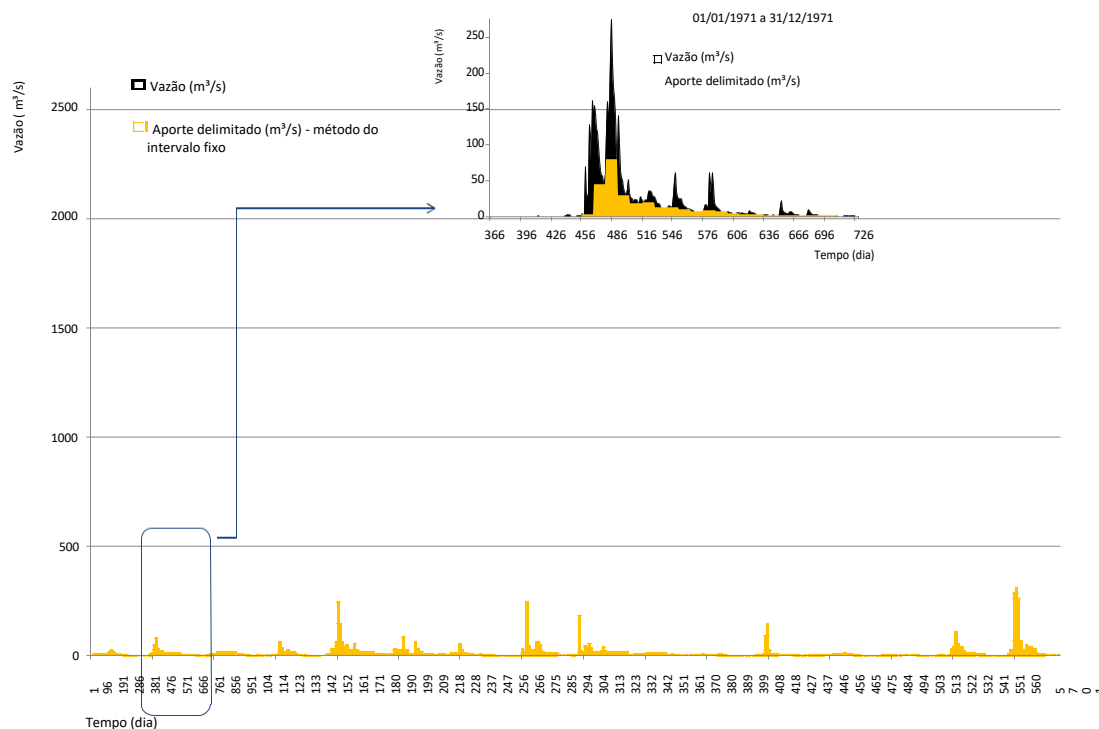
Figura 3 – Vazão global observada– estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

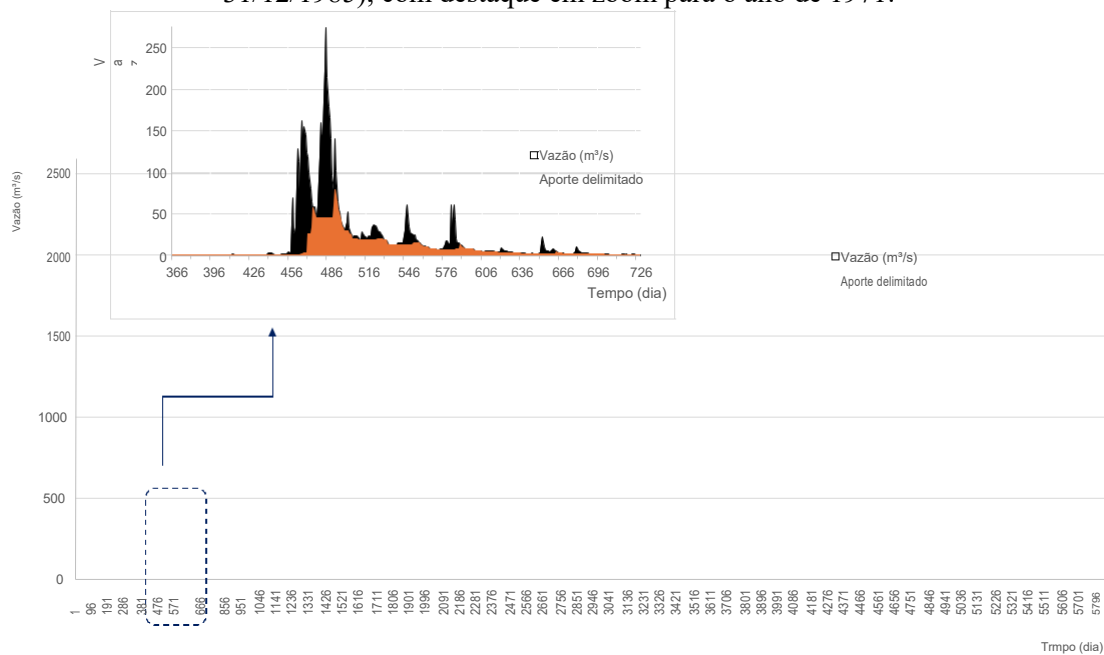
Nas Figuras 4, 5 e 6, observam-se as separações dos escoamentos - superficial direto do escoamento subterrâneo (dados diários da estação Ponte de Batalha/PB no período de 01/01/1970 a 31/12/1985), utilizando-se das três metodologias supracitadas: IF, IM e ML, respectivamente. Em cada uma dessas Figuras, é destacado o ano de 1971, como forma a visualização em melhor escala, destacando a caracterização da delimitação na metodologia empregada, em virtude da série temporal contemplar 5844 dados.

Figura 4 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método IF (Modificado de: Sloto; Crouse, 1996) – estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985), com destaque em zoom para o ano de 1971



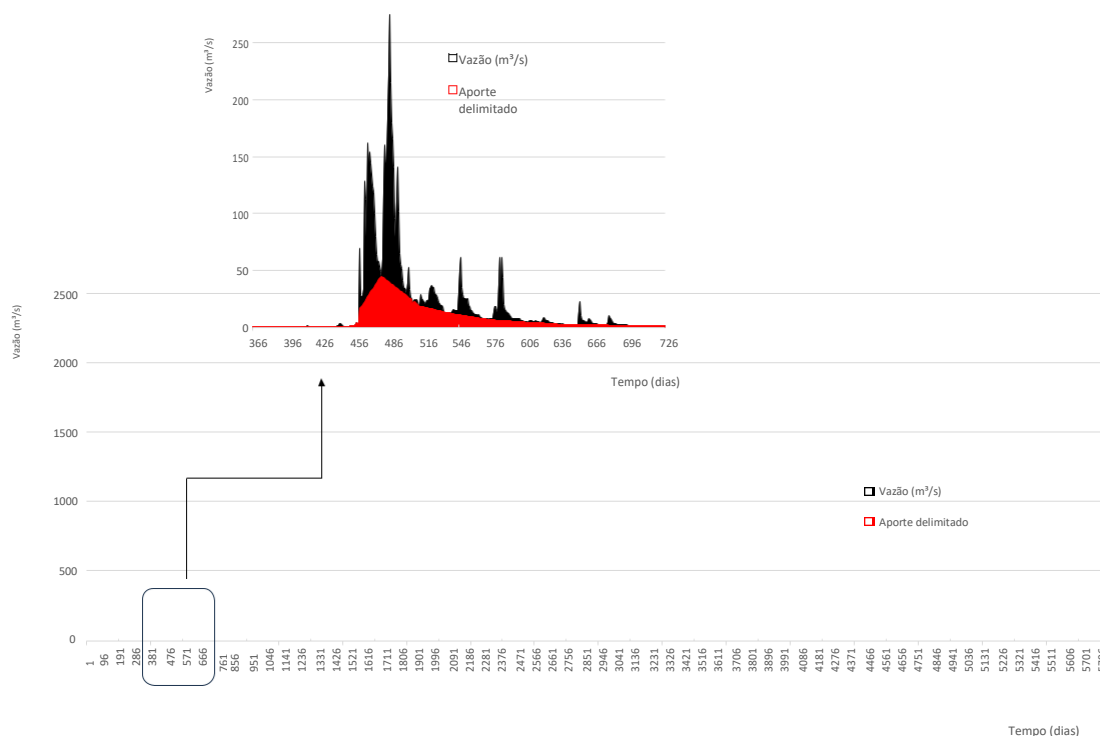
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 5 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método IM (Modificado de: Sloto; Crouse, 1996) – estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985), com destaque em zoom para o ano de 1971.



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 6 - Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método ML (Modificado de: Sloto; Crouse, 1996) – estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985), com destaque em zoom para o ano de 1971.



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

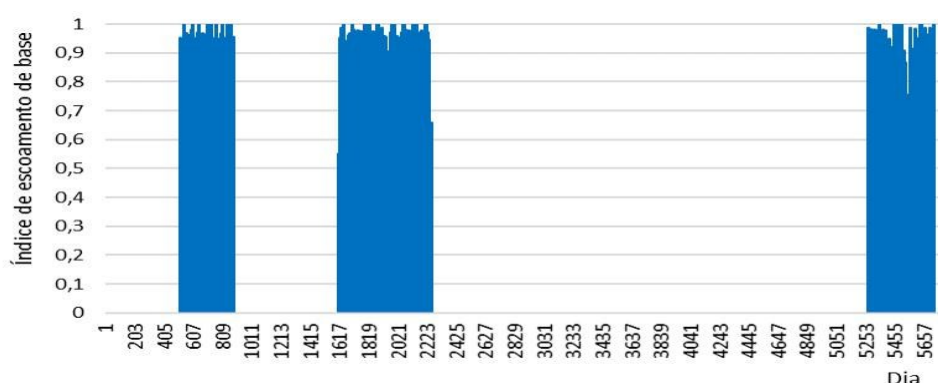
Apesar de haver semelhanças nos momentos de pico observados nas diferentes metodologias, é possível notar distinções claras entre elas. No método (IF), por exemplo, as retas utilizadas para delimitar o escoamento de base proporcionam uma abordagem mais rígida e linear. Em contraste, os métodos (IM) e (ML) apresentam uma delimitação do escoamento de base com aparência mais fluida e próxima da realidade observada em ambientes naturais. No método IM, a flexibilidade na definição dos limites permite ajustar de maneira mais intuitiva às variações do terreno, enquanto no método ML, a consideração dos valores mínimos locais oferece uma aproximação mais detalhada do escoamento de base, o que o torna uma opção vantajosa em análises de bacias hidrográficas com grande variabilidade nos fluxos. Adicionalmente, destaca-se que essas metodologias se mostram especialmente adequadas para a caracterização hidrológica de regiões hidrográficas com aporte sedimentar significativo e presença de rios perenes, cuja dinâmica de fluxo contínuo exige maior precisão na separação das componentes do escoamento

5.2 INDICES DE ESCOAMENTO

Nas Figuras 7a, 7b e 7c, observam-se os resultados da aplicação do método IF para diferentes condições climáticas, sendo (a) correspondente aos anos em eventos La Niña, (b) em

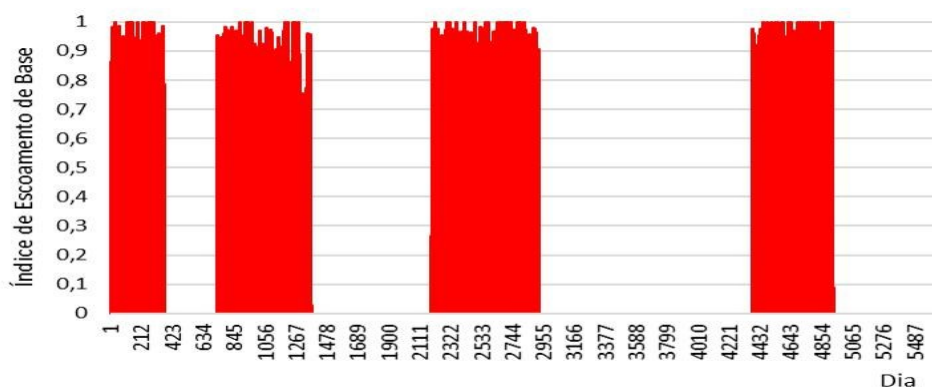
eventos El Niño e (c) aos anos de neutralidade. De forma semelhante, nas Figuras 8a, 8b e 8c são apresentados os resultados obtidos pelo método IM, e nas Figuras 9a, 9b e 9c, pelo método ML. A partir desses conjuntos de Figuras, é possível analisar a variação do comportamento do escoamento em função das condições climáticas, evidenciando como os períodos La Niña, El Niño e de neutralidade influenciam a dinâmica entre escoamento superficial direto e escoamento de base.

Figura 7a - Índice de base diário em função do método de intervalo fixo para anos em La Niña – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



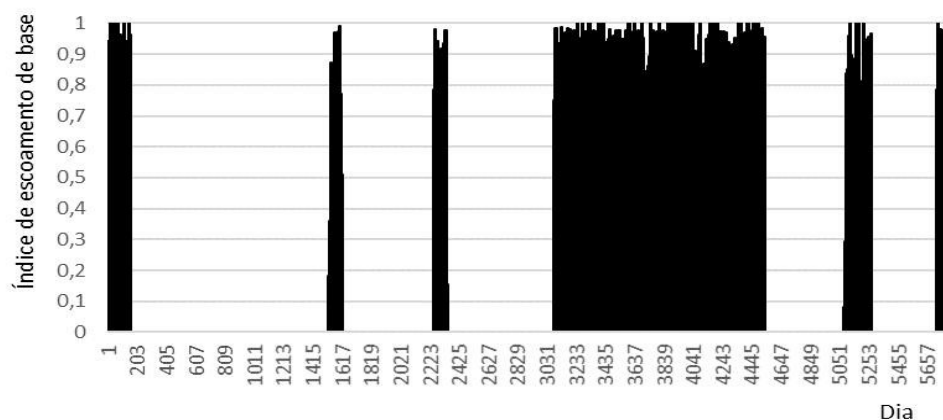
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 7b – Índice de base diário em função do método de intervalo fixo para anos em El Niño – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



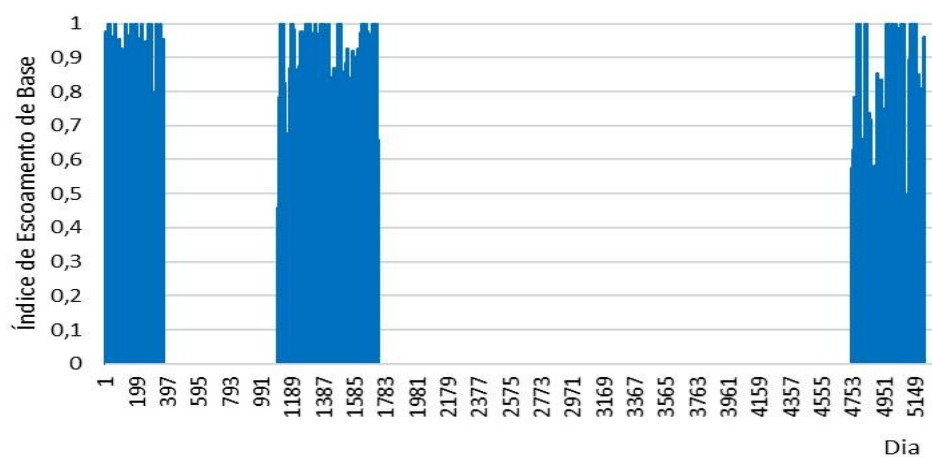
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 7c – Índice de base diário em função do método de intervalo fixo nos períodos de neutralidade – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985)



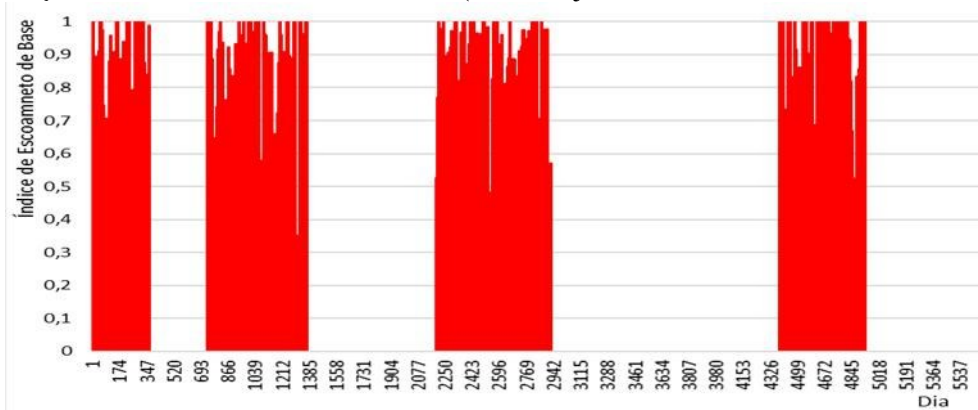
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 8a – Índice de base diário em função do método de intervalo móvel para anos em La Niña – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



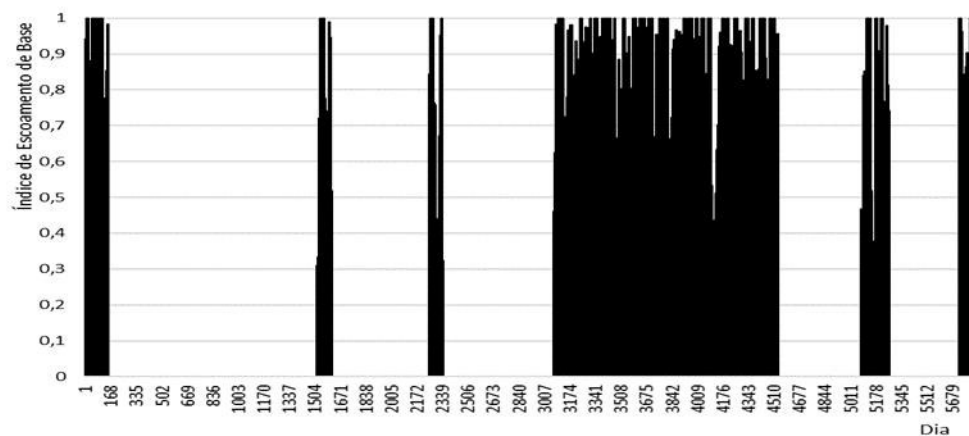
Fonte: construído com os dados da pesquisa.

Figura 8b – Índice de base diário em função do método de intervalo móvel para anos em El Niño – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



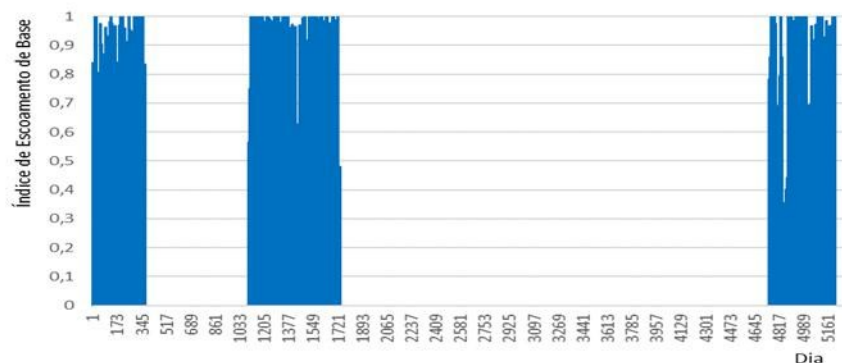
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 8c – Índice de base diário em função do método de intervalo móvel para anos de neutralidade – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



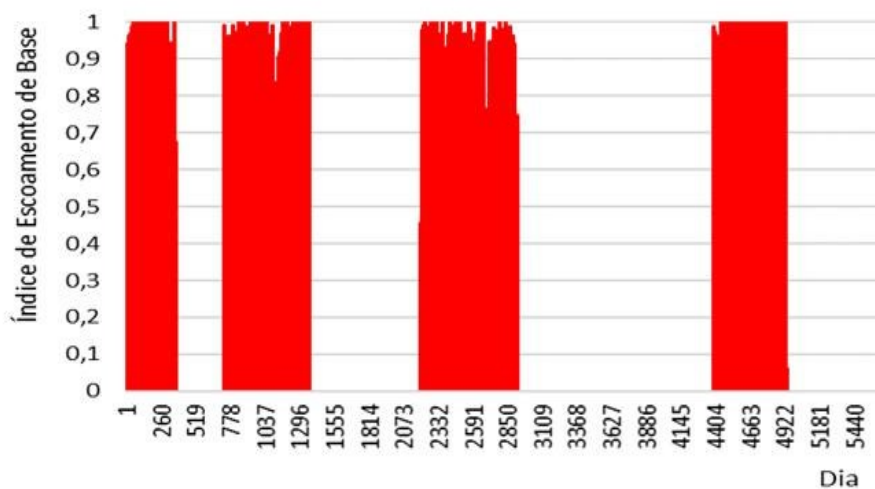
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 9a – Índice de base mensal em função do método de mínimo local para anos em La Niña – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



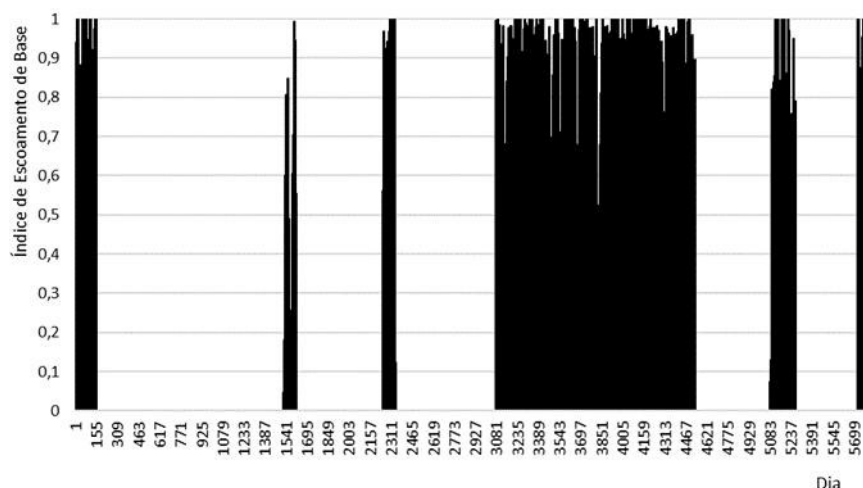
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 9b – Índice de base mensal em função do método de mínimo local para anos em El Niño – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Figura 9c – Índice de base mensal em função do método de mínimo local para anos de neutralidade – estação fluviométrica Ponte de Batalha (Período: janeiro de 1970 a dezembro de 1985).



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Em relação aos eventos climáticos, durante o período analisado (Jan/1970–Dez/1985), em conformidade com a Tabela 1 (trimestral), ocorreram: três eventos La Niña (de Jun/1970 a Mai/1972, de Jun/1973 a Fev/1976 e Jun/1984 a Ago/1985); quatro eventos El Niño (de Jun/1970 a Mai/1971, de Jun/1976 a Mai/1978 e de Jun/1982 a Nov/1983); e demais trimestres em períodos classificados como de neutralidade, em especial a sequência de 16 tríades (48 meses), entre Jun/1978 a Mai/1982.

Essa distribuição temporal também influenciou os comportamentos médios observados. Em especial, o método de Mínimo Local apresentou não apenas os maiores índices de base, mas também uma resposta mais consistente entre os diferentes eventos climáticos, evidenciando seu

potencial para melhor caracterizar o aporte de base em bacias hidrográficas sob diferentes condições de variabilidade climática. De maneira geral, ao analisar os diferentes métodos de separação do escoamento de base, observa-se variações importantes nos índices médios em função dos diferentes regimes climáticos. Pelo método de Intervalo Fixo (IF), as médias foram de 0,6881 para anos em eventos La Niña, 0,6914 para anos em El Niño e 0,6954 para anos em neutralidade. Utilizando o método de Intervalo Móvel (IM), os valores médios foram de 0,6627 (La Niña), 0,6726 (El Niño) e 0,6875 (neutralidade). Já pelo método de Mínimo Local (ML), registraram-se os maiores índices médios: 0,7092 para La Niña, 0,7158 para El Niño e 0,7044 para neutralidade, demonstrando a maior sensibilidade deste método em capturar a contribuição do escoamento de base à vazão total.

Na Tabela 2, observam-se as médias trimestrais do índice de base pelo método de Intervalo Fixo (IF) – Estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985), nos períodos: Dez-Jan-Fev (D-J-F); Mar-Abr-Mai (M-A-M); Jun-Jul-Ago (J-J-A); e Set-Out-Nov (S-O-N). Ainda nessa Tabela, em vermelho evento El Niño, em azul evento LaNiña, em preto, neutralidade. De forma semelhante observa-se na Tabela 3, para o método de Intervalo Móvel (IM) e na Tabela 4, para o Método do Mínimo Local (ML).

Os trimestres D-J-F (Tabelas 2 a 4), representam a média entre os valores dos coeficientes de base de dezembro do ano anterior com os dos meses de janeiro e fevereiro do ano considerado. Ressalta-se que a série temporal de vazões fornecida pela ANA (Figura 3), não contemplava dados do mês de dezembro de 1969, assim sendo o índice médio dessa Tríade (D-J-F) em 1970, só considerou valores de janeiro e fevereiro.

Tabela 2 - Médias trimestrais do índice de base pelo método de Intervalo Fixo (IF) – Estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).

Ano	D-J-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
1970	0,7816	0,6930	0,6416	0,8624
1971	0,7767	0,7152	0,7157	0,7309
1972	0,8212	0,5383	0,6869	0,7526
1973	0,7239	0,5225	0,5682	0,6685
1974	0,4296	0,5391	0,6796	0,8440
1975	0,8479	0,6122	0,6199	0,9026
1976	0,7331	0,5391	0,6712	0,8383
1977	0,7809	0,6108	0,6302	0,7959
1978	0,8758	0,5314	0,6271	0,8145
1979	0,8282	0,7350	0,6760	0,7118
1980	0,8047	0,5831	0,7268	0,8355
1981	0,6753	0,5981	0,8464	0,7349
1982	0,6656	0,6688	0,6333	0,8238
1983	0,6679	0,6933	0,8273	0,7193
1984	0,5384	0,5058	0,6808	0,5997
1985	0,4766	0,4815	0,7297	0,8959

Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Observando-se os valores médios dos índices de escoamento de base pelo método de Intervalo Fixo (IF) (Tabela 2)) pode-se verificar que: conferiu os maiores domínios de fluxo subterrâneo nos períodos de S-O-N, com média de 0,7831 e D-J-F, com média de 0,7142; entre Mar-Mai, ocorreu em média, o menor domínio de base (0,5979) bem semelhante ao método de IF, sendo menor valor em 1985, com índice de base de 0,4815; o índice médio nas tríades em El Niño foi de 0,6923; nas tríades em La Niña foi de 0,6795; e nos trimestres em neutralidade, foi de 0,7102; entre Dez-Fev, o fluxo de base foi aproximadamente semelhante nas três condições climatológicas (em El Niño = 0,7091; em La Niña = 0,7196; e em neutralidade = 0,7156); no trimestre M-A-M, o domínio basal médio foi mais forte em El Niño, com 0,6146; em J-J-A, o fluxo de base médio foi maior em período neutro, com valor de 0,7191; entre S-O-N, os maiores valores médios do índice de base, sendo bem semelhantes entre as condições climatológicas (El Niño = 0,7801; La Niña = 0,7693; neutro = 0,7985).

Tabela 3 - Médias trimestrais do índice de base pelo método de Intervalo Móvel (IM) – Estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).

Ano	D-J-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
1970	0,7832	0,6537	0,6024	0,6024
1971	0,7428	0,6756	0,6803	0,6837
1972	0,8283	0,5647	0,6168	0,6635
1973	0,7181	0,5799	0,5019	0,6253
1974	0,5426	0,5332	0,6243	0,8168
1975	0,8458	0,5891	0,5891	0,8645
1976	0,7952	0,5304	0,6328	0,7807
1977	0,8062	0,5885	0,6023	0,7137
1978	0,8513	0,5032	0,6248	0,7927
1979	0,8243	0,7352	0,6186	0,6884
1980	0,8567	0,5937	0,6456	0,7838
1981	0,6749	0,5327	0,8214	0,7754
1982	0,7173	0,6636	0,6298	0,7828
1983	0,7136	0,7316	0,8269	0,6276
1984	0,5204	0,5629	0,6219	0,4698
1985	0,5049	0,4496	0,6821	0,8433

Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Em atenção aos valores médios dos índices de escoamento pelo método de Intervalo Móvel (IM) (Tabela 3) pode-se constatar que o índice médio: conferiu os maiores domínios de fluxo subterrâneo nos períodos de D-J-F, com média de 0,7328 e S-O-N, com média de 0,7196, meses caracteristicamente de estiagem; em M-A-M, ocorreu em média, o menor domínio de base (0,5929), em virtude do forte escoamento superficial direto; o índice médio nas tríades em El Niño foi de 0,6651; nas tríades em La Niña foi de 0,6565; e nos trimestres em neutralidade, foi de 0,6961, de maneira geral mais expressivos; em D-J-F, o fluxo de base foi mais evidente nos eventos La Niña (média de 0,7435); entre os meses de M-A-M, o domínio de base foi maior em eventos El Niño, com índice médio de 0,6157; nas tríades J-J-A e S-O-N; o índice de base foi, em média mais expressivo nos eventos de neutralidade, 0,6776 e 0,7767, respectivamente.

Tabela 4 - Médias trimestrais do índice de base pelo método do Mínimo Local (ML) – Estação Ponte de Batalha/PB (01/01/1970 a 31/12/1985).

Ano	D-J-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
1970	0,7876	0,6604	0,6716	0,9465
1971	0,8018	0,6486	0,6533	0,6993
1972	0,8335	0,5646	0,6694	0,8641
1973	0,7591	0,6187	0,6043	0,6997
1974	0,5435	0,3701	0,8005	0,8909
1975	0,8537	0,5125	0,7129	0,9607
1976	0,7826	0,6794	0,6035	0,7785
1977	0,7920	0,5052	0,6723	0,7188
1978	0,8480	0,3725	0,6232	0,8356
1979	0,8336	0,7091	0,6459	0,7121
1980	0,8013	0,5989	0,6545	0,8220
1981	0,6687	0,8083	0,8433	0,7495
1982	0,7499	0,6357	0,6465	0,9257
1983	0,8114	0,7421	0,8396	0,8268
1984	0,5553	0,5180	0,6600	0,6073
1985	0,6267	0,5027	0,6944	0,9104

Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Quanto aos valores médios dos índices de escoamento de base pelo método do Mínimo Local (ML) (Tabela 4) pode-se constatar que: em média geral por trimestre, o período com maior domínio de fluxo subterrâneo ocorreu em S-O-N (média de 0,8092, maior valor em 1975 em evento de La Niña, com 0,9607) e em D-J-F, com média de 0,7530; no trimestre M-A-M, ocorreu o menor domínio de base (em média 0,5904, com menor valor global de 0,3701, em 1974, ou seja, um domínio do escoamento superficial direto com 62,99% do fluxo total); o índice médio nas tríades em El Niño foi de 0,7080; nas tríades em La Niña foi de 0,6986; e nos trimestres em neutralidade, foi de 0,7132; entre S-O-N, o fluxo de base foi, em média, mais evidente nos eventos El Niño (média de 0,8229); entre os meses de D-J-F e J-J-A, em média, o fluxo de base foi mais forte em eventos La Niña, com valores médios de 0,7741 e 0,70422, respectivamente; e entre M-A-M, mais forte em eventos de neutralidade, com índice basal médio de 0,6225.

Ao analisar os índices de escoamento de base obtidos pelos métodos de Intervalo Fixo (IF), Intervalo Móvel (IM) e Mínimo Local (ML) para a estação Ponte de Batalha/PB no período de 1970 a 1985, foram observadas diferenças consistentes tanto na magnitude dos valores quanto na sensibilidade à sazonalidade climática. De maneira geral, o método de Mínimo Local (ML) apresentou os maiores valores médios de escoamento de base ao longo do período, enquanto os métodos de Intervalo Fixo (IF) e Intervalo Móvel (IM) resultaram em índices levemente

inferiores, mas próximos entre si. Essa diferença reflete a maior capacidade do método ML em captar a contribuição do escoamento de base mesmo em períodos de maior recarga. Cabe destacar que a seleção da estação fluviométrica Ponte da Batalha favoreceu a aplicação das metodologias, uma vez que a região em que se localiza apresenta características sedimentares, o que contribui para a infiltração e armazenamento subterrâneo, intensificando o sinal do fluxo de base nos registros de vazão.

Ocorreu domínio de base (índice de escoamento médio do trimestre maior que 0,5) em mais de 95% dos resultados em cada método. Esse índice foi superior a 0,7 (fluxo basal acima de 70% da vazão total) na metade dos valores pelo método ML, no método IF foi menos expressivo, em 39,06% dos resultados, no IM, em 48,44% dos resultados).

Durante os meses tradicionalmente associados ao período chuvoso na região (de março a julho, correspondendo aos trimestres M-A-M e J-J-A), observa-se que os índices tenderam a ser menores, especialmente pelo método de Intervalo Fixo (IF), onde, por exemplo, em anos como 1973 e 1983, os valores médios trimestrais foram inferiores a 0,60. Essa queda nos índices indica uma maior influência do escoamento superficial, reduzindo proporcionalmente a contribuição do escoamento de base. O método de Intervalo Móvel (IM) também capta essa diminuição, mas de forma ligeiramente mais atenuada. Em contraste, o método de Mínimo Local (ML) mantém valores relativamente mais elevados mesmo nos meses chuvosos, como observado em 1973 (M-A-M = 0,6187 e J-J-A = 0,6043) e em 1983 (M-A-M = 0,7421 e J-J-A = 0,8396), evidenciando uma menor sensibilidade ao aumento do escoamento superficial. Nos períodos de menor precipitação (agosto a fevereiro, envolvendo os trimestres S-O-N e D-J-F), todos os métodos mostram um aumento nos índices de base, indicando uma predominância do escoamento subterrâneo. Em particular, o método ML registra valores significativamente elevados nesses meses, como em 1975 (S-O-N = 0,9607) e 1985 (S-O-N = 0,9104), evidenciando a forte contribuição do escoamento de base quando a recarga direta de precipitação é reduzida.

Ressalta-se a importância de estudos futuros com série contínua de dados mais atuais em quantidade, de maneira a aproximar a realidade de balanço hídrico na Bacia Hidrográfica em estudo.

6 CONCLUSÃO

A metodologia empregada nesta pesquisa oferece suporte aos instrumentos de gestão das águas sob o aspecto quantitativo, em especial: ao instrumento de outorga, na delimitação dos aportes de água subterrânea e consequentemente o aporte superficial direto, na escolha de metodologias mais restritivas quanto às demandas nos diferentes usos; e no instrumento de cobrança, tendo em vista que visa apoiar a elaboração de coeficientes em modelos arrecadatórios no aporte de águas de maior valor, domínio de base, conforme sazonalidade do ano hidrológico. Dentre os métodos analisados (IF, IM e ML), o método do mínimo local (ML) foi o que ofereceu valores maiores do domínio de base. A discretização dos meses de El Niño e La Niña, ofereceu visão particular quanto ao aspecto climatológico nas metodologias de separação dos escoamentos empregadas, sendo: períodos de neutralidade em média geral, a condição de maior domínio de base juntamente com os meses de recessão do fluxo total, em especial nos meses de setembro a dezembro e janeiro a fevereiro.

REFERENCIAS

ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **O que são águas subterrâneas?** 2024. Disponível em: <www.abas.org/educacao/o-que-sao-aguas-subterraneas>.

AESA Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Proposta de instituição do comitê da bacia hidrográfica do rio paraíba**. Março de 2004. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2017/06/Proposta-de-Criação-doComitê-do-Rio-Paraíba.pdf>>.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba Relatório de Gestão de Recursos Hídricos da Paraíba. João Pessoa: **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**, 2009a.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Geoportal: bacias hidrográficas do Estado da Paraíba**. João Pessoa, 2009b.

AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. **Journal of Hydrology**, v. 372, p. 94–101, 2009. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169409002194>

ANA. Agência Nacional de Águas. **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/ana_encarte_outorga_conjuntura2019.pdf>

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Outorga de direitos de uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2023a. Disponível em: <www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/outorga>.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Evolução da Implementação da Gestão de Recursos Hídricos nas UGRHs**. Brasília: ANA, 2023b. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/47920b03-317a-4d3b-b3b8-4a18b2c31988/attachments/Screen%20Shot%202002-01-23%20at%2003.57%20PM.PNG>>.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Orientações gerais para a implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos em bacias hidrográficas**. 2. ed. Brasília: ANA, 2023c. Disponível em: <www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca/arquivos-cobranca/documentos-relacionados/guia-de-orientacoes-gerais-cobranca.pdf>.

BLOOMFIELD, J. P.; GONG, M.; MARCHANT, B. P.; COXON, G.; ADDOR, N. How is Baseflow Index (BFI) impacted by water resource management practices? **Hydrology and Earth System Sciences**, [S.l.], v. 25, n. 19, p. 5013–5032, 2021. Disponível em <<https://hess.copernicus.org/articles/25/5355/2021/>>

BRITO, A. P. de; TOMASELLA, J.; WAHNFRIED, I. D.; CANDIDO, L. A.; MONTEIRO, M. T.; FILGUEIRAS, S. J. F. Relação entre precipitação e recarga de águas subterrâneas na Amazônia Central. **Águas Subterrâneas**, [S.l.], v. 34, n. 1, p. 39–49, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29616>.

BUILES-JARAMILLO, A.; VALENCIA, J.; SALAS, H. D. **The influence of the El Niño-Southern Oscillation phase transitions over the northern South America hydroclimate**.

Atmospheric Research, v. 292, p. 106786, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106786>>.

CARDOSO, LETÍCIA KARYNE DA SILVA. **Aspectos climáticos das posições da zona de convergência intertropical e dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul e do Pacífico Sul: relações com regimes de chuva no nordeste do Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/11276>>.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

CNRH. Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <www.cnrh.gov.br>.

COSTA, M. L. M. **Estabelecimento de critérios de outorga de direito de uso para águas subterrâneas**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, 2009.

DEAKIN J, B BM, MURPHY A, DOWLING M, FLYNN R. Investigating water flow and contaminant pathways to rivers using chemical hydrograph separation, In: **Proceeding of Irish National Hydrology Conference**, 16th November, Athlone: 43–55. 2010.

FREITAS, C. E. D. **O instrumento de outorga e os limites ambientais para a exploração da água nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: uma investigação à luz da Economia Ecológica..** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100136/tde-14022020-174142/pt-br.php>>.

GELMINI, Y., ZUECCO, G., ZARAMELLA, M., PENNA, D., & BORGA, M. Hysteresis in streamflow-water table relation provides a new classification system of rainfall-runoff events. **Hydrological Processes**, v. 36, n. 5, e14467, 2022. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hyp.14685>>

HUAI, W. X., LI, S., KATUL, G. G., LIU, M. Y., & YANG, Z. H. Flow dynamics and sediment transport in vegetated rivers: A review. **Journal of Hydrodynamics**, 33(3), 400-420. 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s42241-021-0043-7>>.

HUND, S. V.; GROSSMANN, I.; STEYN, D. G.; ALLEN, D. M.; JOHNSON, M. S. Changing water resources under El Niño, climate change, and growing water demands in seasonally dry tropical watersheds. **Water Resources Research**, [S.l.], v. 57, n. 11, nov. 2021. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020WR028535>>.

JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY. **Historical El Niño and La Niña Events**. Tokyo: JMA, 2025.

LACERDA, F. P. **Climatologia e regimes pluviométricos no semiárido paraibano**. Campina Grande: Editora UFCG, 2003.

LIMA, J. W. M.; ALVES, L. M.; MARENGO, J. A. **Análise do impacto das mudanças climáticas globais sobre as bacias hidrográficas e o regime hidrológico no Brasil e projeções futuras**. Relatório técnico. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2023. Disponível em: <<https://climainfo.org.br/wp-content/uploads/2023/05/Analise-do->

impacto-das-mudancas-climaticas-globais-sobre-as-bacias-hidrograficas-e-o-regime-hidrologico-no-Brasil-e-projecoes-futuras.pdf>.

LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. **Hydrology for engineers**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1982. 508 p.

LITT, G. F.; GARDNER, C.B.; OGDEN, F. L.; LYONS, W. B. Hydrologic tracers and thresholds: A comparison of geochemical techniques for event-based stream hydrograph separation and flowpath interpretation across multiple land covers in the Panama Canal Watershed, *Applied Geochemistry*, v. 63, 507-518p., 2015, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.04.003>>.

LÜBBECKE, J. F.; MCPHADEN, M. J. Symmetry of the Atlantic Niño mode. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 2, p. 965–973, 2017. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016GL071829>>.

MCPHADEN, M. J.; CONNELL, K. J.; FOLTZ, G. R.; PEREZ, R. C.; GRISSOM, K. Tropical Ocean Observations for Weather and Climate: A Decadal Overview of the Global Tropical Moored Buoy Array. **Oceanography**, v. 36, n. 2-3, p. 32-43, 2023. Disponível em: <<https://archimer.ifremer.fr/doc/00860/97187/106073.pdf>>.

MAO, BOYANG; WANG, XIHUA; JIA, SHUNQING; LIU, ZEJUN. Multi-methods to investigate the baseflow: Insight from watershed scale spatiotemporal variety perspective **Ecological Indicators**, [S.l.], v. 158, 111573, jan. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X2400030X>.

MATTIUZI, C. D. P.; KIRCHHEIM, R.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Estimativa de recarga a partir da separação de escoamento de base em duas sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí/RS. XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28334>

MARENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos do Brasil**. Relatório técnico. São José dos Campos: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2008/Marengo_x1a.pdf.

MMA. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **A educação ambiental no âmbito internacional**. Brasília: MMA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/secex/dea/educacao-ambiental-internacional>

MIRANDA, A. C. R.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Métodos de separação dos escoamentos superficial direto e subterrâneo: estudo de caso para a bacia do Rio das Velhas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 169-181, 2014. Disponível em: <www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=165&SUMARIO=4766>.

OLIVEIRA, M. F.; ALBUQUERQUE, V. S. Caracterização da variabilidade sazonal do regime hidrológico do rio Orinoco por meio de dados altimétricos do satélite Jason-2. *Innovate: Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2023. Disponível em: <<https://atenaeditora.com.br/index.php/catalogo/download-post/76756>>.

PIRES, J. J. B. **Índice de variabilidade do escoamento nas escalas semanal e mensal: Estação Fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE**. 2018. 63 f. (Monografia) – Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, 2018. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4466>>

PETTYJOHN, W. A.; HENNING, R. **Preliminary estimate of ground-water recharge rates**. Ohio State University. Water Resources Center Project Completion, Report N° 552. Ohio, 1979. 323 p. Disponível em: <<https://ojs.library.okstate.edu/osu/index.php/OWRC/article/view/347/330>>

RIBEIRO, T. B. **Estimativa e Regionalização das vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Branco-RR, como suporte à gestão dos recursos hídricos**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.

ROLLS, R. J.; LEIGH, C.; SHELDON, F. Scaling biodiversity responses to hydrological regimes. **Biological Reviews**, [S.l.], v. 93, n. 3, p. 971–995, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/brv.12381>>.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA, A. D. Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: Perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 81–95, 2013. Disponível em: <www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=109&SUMARIO=1616>.

SILVA, B. M. B. D.; SILVA, D. D. D.; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 623–634, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/X9J8rNxTkb8TSjkQddWSR7d/abstract/?lang=pt>>.

SLOTO, R. A.; CROUSE, M. Y. HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. Lemoyne, Pennsylvania: U.S. Geological Survey, 1996. **Water-Resources Investigations Report 96-4040**. 46 p. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/wri/1996/4040/wri19964040.pdf>>

SOUZA, F. L., BRAGA, C. C., SANTOS, G. E., RIBEIRO, P. E. R.; AVILA, R. L. P. Sazonalidade da Vegetação em Função do Regime Pluviométrico no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 905–914, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233408>>.

THOMAS, B. F.; VOGEL, R. M.; FAMIGLIETTI, J. S. Objective hydrograph baseflow recession analysis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 525, p. 102–112, jun. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.028>>.

VAL, A.L.; BICUDO, A. E. M.; BICUDO, D. C.; PUJONI, D. G. F.; SPILKI, F. R.; NOGUEIRA, I. S.; HESPAÑHOL, I.; CIRILO, J. A.; TUNDISI, J. G.; VAL, P.; HIRATA, AZEVEDO, R.; S. M. F. O.; CRESTANA, S.; CIMINELLI, V. S.T. Water quality in Brazil. ROLDÁN, Gabriel (Org.). **Water quality in the Americas: risks and opportunities**. 1ed. México: IANAS, 2019, v. 12019. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/80027>>.

WANG, S.; WANG, W.; ZHAO, G.. A novel deep learning rainfall–runoff model based on Transformer combined with base flow separation. **Hydrology Research**, [S.l.], v. 55, n. 5, p. 576–594, 2024. Disponível em: <<https://iwaponline.com/hr/article/55/5/576/102130/A-novel-deep-learning-rainfall-runoff-model-based>>.

ZHANG, J.; ZHANG, Y.; SONG, J.; CHENG, L.; PAUL, P. K.; GAN, R.; SHI, X.; LUO, Z. ZHAO, P., J. Large-scale baseflow index prediction using hydrological modelling, linear and multilevel regression approaches. **Journal of Hydrology**, v. 585, 2020. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169420302407>.

ZHOU, X.; HE, S.; SANG, H. GE.W. Response of groundwater levels to ENSO under the influence of mining: A wavelet analysis. **Frontiers in Earth Science**, v. 13, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/feart.2025.1542367>>