



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

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



## Comportamento histórico de chuvas e vazões na bacia hidrográfica do rio Cachoeira e suas implicações na ocorrência de eventos de inundações na cidade de Itabuna-BA

Emilly da Silva Farias<sup>1</sup>, Ronaldo Lima Gomes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, Salobrinho, CEP 45662-900, Ilhéus, Bahia. emillyfarias10@hotmail.com (autor correspondente). <sup>2</sup> Dr. em Geotecnia, Professor Pleno, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz, Salobrinho, CEP 45662-900, Ilhéus, Bahia. rlgomes@uesc.br

Artigo recebido em 26/09/2022 e aceito em 23/02/2023

### RESUMO

Os eventos de inundação ocorrem muitas vezes devido as alterações ambientais e intervenções antrópicas, que podem interferir diretamente no ciclo hidrológico. Dessa forma, tem-se como consequências impactos significativos no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. Portanto, este trabalho tem como objetivo compreender o comportamento hidrológico da bacia do rio Cachoeira, com a finalidade de entender a ocorrência de eventos extremos e suas relações com as inundações no município de Itabuna-BA. Para tanto, procedeu-se com a análise de séries históricas de 11 estações pluviométricas, tendo sido obtida a precipitação média anual e mensal, precipitação no trimestre mais seco e no trimestre mais chuvoso; e 6 fluviométricas, obtendo vazão média, máxima e mínima, mensais e anuais, e as vazões de permanência. Realizou-se o cálculo das vazões máximas de cheia, verificando as cotas atingidas por cheias com o tempo de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Os resultados encontrados apontam para a existência de uma influência da maritimidade e da continentalidade no comportamento pluviométrico e uma tendência de decréscimo temporal do volume médio precipitado na bacia. Da mesma forma, as vazões demonstraram uma tendência de diminuição de seu fluxo médio, mínimo e máximo ao longo do tempo. Nas estações que estão mais próximas do núcleo urbano do município de Itabuna foram identificados picos de vazões máximas em anos correspondentes aos que ocorreram inundações no município, sendo identificado que a partir de uma vazão de  $2.430,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ocorre o extravasamento do leito do rio e inundação da parte comercial do município.

Palavras-chave: inundações urbanas, hidrologia, cheias, eventos extremos.

## Historical behavior of rainfall and flows in the Cachoeira river basin and its implications for the occurrence of flood events in the city of Itabuna-BA

### ABSTRACT

Flooding events occur due to environmental changes and human interventions, which can directly interfere with the hydrological cycle. Thus, the consequences are significant impacts on the hydrological behavior of the hydrographic basin. Therefore, this work aims to understand the hydrological behavior of the Cachoeira river basin, in order to understand the occurrence of extreme events and their relationship with floods in the municipality of Itabuna-BA. For that, we proceeded with the analysis of historical series of 11 rainfall stations, having obtained the annual and monthly average precipitation, precipitation in the driest quarter and in the wettest quarter; and 6 fluviometric, obtaining average, maximum and minimum, monthly and annual flows, and the permanence flows. The maximum flood flows were calculated, verifying the levels reached by floods with the return time of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years. The results found point to the existence of an influence of maritime and continentality in the pluviometric behavior and a tendency of decrease in the average volume of precipitation in the basin. Likewise, the flows showed a tendency to decrease their average, minimum and maximum flow over time. In the stations that are closer to the urban core of the municipality of Itabuna, peaks of maximum flow were identified in years corresponding to those in which floods occurred in the municipality, and it was identified that from a flow of  $2,430.19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , the overflow of water occurs. river bed and flooding of the commercial part of the municipality.

Keywords: urban floods, hydrology, floods, extreme events.

## Introdução

A demanda por água tem se intensificado nas últimas décadas em decorrência do grande desenvolvimento urbano e adensamento populacional. Assim, a manutenção desta em termos quantitativos e qualitativos tem sido considerada um desafio para a sociedade em geral, uma vez que a falta de planejamento e gestão ainda são um dos principais problemas quando se trata dos recursos hídricos (Araújo, 2019). Diante disso, foi instituída em 1997 a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), sob a Lei n. 9.433, cujo objetivo é consolidar a gestão destes no país, assegurando às gerações atuais e às futuras o acesso à água em conformidade com os padrões de qualidade (Brasil, 1997).

Por meio desta Lei, o controle dos recursos hídricos passou a ser mais criterioso visto que foi estabelecida a necessidade de monitoramento e determinação das variáveis hidrológicas. E, por meio da criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), as bacias hidrográficas passaram a ser consideradas como unidades territoriais de gestão dos recursos hídricos (Brasil, 1997; Silva Júnior, 2003; Rocha e Santos, 2018). Além deste, instituiu-se o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), sendo caracterizado como um sistema amplo de coleta, tratamento e armazenamento de dados acerca dos recursos hídricos, como por exemplo, informações sobre as estações pluviométricas e fluviométricas (Souza et al., 2017).

Assim, estas informações passaram a ser consideradas como básicas para a tomada de decisão em diferentes áreas do conhecimento, principalmente as que estão relacionadas com o planejamento ambiental e com os recursos hídricos no âmbito de bacias hidrográficas (Rocha e Santos, 2018). Tal fato ocorre, pois são variáveis que permitem que seja realizada a caracterização do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, sendo que, por meio desta pode-se determinar a disponibilidade hídrica atual e futura e assim, fazer com que o uso de suas águas seja mais otimizado. Além disso, é possível identificar locais em déficit hídrico ou que sejam suscetíveis a enchentes e inundações (Arai et al., 2012).

Devido a maior concentração populacional nas áreas urbanas, é previsto que a maior parte dos problemas e crises a serem resolvidos estejam relacionados e tenham a sua origem nas áreas mais urbanizadas. Tais áreas são acometidas principalmente por desastres naturais e, entre eles, destacam-se as inundações e alagamentos

(Almeida, 2011). Sendo assim, são as cidades os espaços mais vulneráveis a passarem por consequências danosas em virtude de eventos de inundações.

Em relação às inundações, objeto deste estudo, a ocorrência destas aumentou de forma considerável nas últimas décadas, se configurando como o principal desastre natural que acomete o país (Silveira et al., 2009). Entre os anos de 1990 e 2015, o Brasil configurou-se entre os países do mundo mais afetados pelas inundações, sendo que as ocorrências, independente de sua natureza, corresponderam a 25% dos desastres naturais registrados (Silva Júnior et al., 2022).

Em estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em conjunto com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), constatou-se que aproximadamente 8,2 milhões de habitantes vivem em área de risco a eventos de inundação ou enchente. Além disso, o Ministério da Ciência e Tecnologia estimou o gasto de 1 bilhão de dólares por ano em consequência da ocupação de leito de inundações e impermeabilização dos solos (Dias et al., 2018).

De forma geral, a inundação se dá quando as águas dos rios ocupam proporções maiores que o seu leito de escoamento devido à ocorrência de eventos de precipitação intensa que, ao entrar em contato com o solo altamente impermeabilizado encontra dificuldade de infiltração e retenção da água. Portanto, esse evento se dá quando o escoamento superficial se torna maior do que a capacidade de escoamento dos corpos hídricos que drenam o meio. É importante ressaltar que, apenas se caracteriza como inundação quando ocorre o extravasamento do canal, ou seja, quando o curso hídrico se desloca do leito menor para o leito maior e transborda (Barros, 2005). Ressalta-se ainda que esse tipo de evento é resultado de processos naturais do ciclo hidrológico, podendo ocorrer tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais (Farias e Mendonça, 2022).

Os eventos de inundação são potencializados em decorrência de alterações ambientais e intervenções antrópicas, que podem interferir diretamente no ciclo hidrológico, favorecendo o aumento do escoamento superficial e consequentemente elevando as vazões máximas e médias dos cursos hídricos (Santos Júnior e Santos, 2013; Mendes et al., 2022). Portanto, a urbanização ocorrida sem planejamento, causa impactos significativos no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (Genz e Tucci, 1995; Tucci,

2007; Mota, 2008), podendo ser destacados: aumento em até 7 vezes das vazões máximas, devido ao aumento de áreas impermeáveis que favorecem o escoamento; aumento da produção de sedimentos; e redução da qualidade da água (Tucci, 2010). Além desses, Leopold (1968) constatou que o aumento da vazão média de cheia pode chegar a valores 6 vezes maiores quando comparados ao das condições naturais.

A vazão é uma das principais variáveis que caracteriza um curso hídrico, podendo ser definida como a quantidade de água que passa por um ponto num determinado período de tempo (ANA, 2012). De acordo com Tucci (2002, p. 527), “a vazão máxima de um rio é entendida como sendo o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado”. O autor cita que esta é a variável utilizada na previsão de enchentes e em projetos de obras hidráulicas, tais como bueiros, canais, condutos, entre outras. É necessária para o controle ou diminuição dos impactos das cheias em um determinado local, para o dimensionamento de obras hidráulicas sejam elas para a drenagem urbana, irrigação, entre outros. Já a vazão média, ainda de acordo com Tucci (2002), permite caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia, seu potencial energético, além de ser a maior vazão passível de ser regularizada em um curso de água, influenciando diretamente no dimensionamento de reservatórios.

A vazão mínima, por sua vez, é considerada um dos limitantes para concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos, pois permite caracterizar a disponibilidade hídrica natural de um curso de água (Uliana et al., 2016). Sendo assim, esta é a vazão que assegura a quantidade e a qualidade de água necessária para manter as funções, componentes, e os processos dos ecossistemas aquáticos. São representadas, geralmente, pela vazão mínima com sete dias de duração associado a um período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) ou pelas vazões associadas a um certo nível de permanência no tempo, como é o caso das vazões associadas a permanência de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) do tempo (Calegario, 2014).

A variável climática mais utilizada em estudos do comportamento hidrológico em bacias hidrográficas é a precipitação, sendo que para a estimativa das vazões máximas as precipitações de uso mais frequente são: máxima diária anual, semestre mais chuvoso, trimestre mais chuvoso e mês mais chuvoso. Para a estimativa das vazões médias de longa duração, as precipitações de uso mais frequente são as precipitações médias dos totais anuais, enquanto para a estimativa das vazões

mínimas as precipitações mais utilizadas são: média do total anual, média do semestre mais seco e média do trimestre mais seco (Rodriguez, 2008).

A precipitação média de uma bacia hidrográfica é comumente utilizada em estudos que abordam taxas de evaporação e infiltração, e escoamento superficial e subterrâneo, sendo que, é imprescindível que os valores encontrados retratem da forma mais fidedigna a realidade do local estudado. Apesar de tal fato ser imprescindível, Marciano et al. (2018) ressalta que é difícil conseguir o valor exato de chuva para a bacia hidrográfica como um todo, visto que para tal, envolve-se diferentes variáveis de tempo e de espaço, porém, esta é uma variável indispensável nos estudos hidrológicos.

A precipitação tem influência direta no comportamento da vazão de um corpo hídrico, tanto das vazões extremas (máximas e mínimas) quanto da própria vazão média de longo período (Araújo, 2008). A ocorrência de chuvas intensas está, na maioria dos casos, associada à ocorrência de fenômenos naturais extremos, como as inundações. Tal fato torna-se mais provável, quando as precipitações intensas são atreladas aos problemas ambientais das cidades, sendo assim, passível de gerar alagamentos e inundações devido ao aumento da vazão máxima e consequente sobrecarga dos sistemas de drenagem (Monteiro, 1991; Collischon, 2009; Farias, 2019).

Do exposto, o município de Itabuna, localizado no Sul da Bahia, tem sido cenário de constantes inundações ao longo do tempo, que causaram prejuízos ao comércio e afetaram um número significativo de famílias que ficaram desabrigadas ou em situação de risco (Hora, 2009; Hora e Gomes, 2009). É notável que tais desastres tenham suas consequências potencializadas devido a uma maior concentração populacional em área de vulnerabilidade socioeconômica, como ocorre no município (Gomes et al., 2012; Santos et al., 2012; Silva et al., 2023).

A primeira grande inundação da cidade de Itabuna ocorreu em 1914, seguida pela inundação de 1920. Nos anos de 1947 e 1957 têm-se relatos de ocorrência de inundações nos bairros situados às margens do rio Cachoeira, sendo eles: Mangabinha, Burundanga, Bananeira, Berilo e outros bairros ribeirinhos. Em 1964 e 1965 a inundação chegou ao centro urbano do município, que se formou na margem esquerda do rio Cachoeira. Já em 1967 ocorreu a inundação mais intensa que atingiu a principal avenida comercial do município e deixou cerca de vinte mil desabrigados, três mil casas destruídas e causou

grandes prejuízos para o comércio (Andrade e Rocha, 2005). Em dezembro de 2021, a cidade foi novamente atingida por um evento significativo de inundação, em que o rio Cachoeira subiu cerca de 9m acima do seu nível normal, deixou cerca de seiscentas famílias desabrigadas e dois mortos.

Diante desse cenário, torna-se perceptível a necessidade de estudos hidrológicos que tragam uma visão integrada da bacia hidrográfica, analisando seu comportamento hidrológico como um todo e não somente por partes. Portanto, este trabalho tem como objetivo compreender o comportamento hidrológico da bacia do rio Cachoeira, mais precisamente os referentes às precipitações pluviométricas e vazões, utilizando dados provenientes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, com a finalidade de entender a ocorrência de eventos extremos e suas relações com as inundações no município de Itabuna-BA.

## Material e métodos

### A área em estudo

A área em estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Cachoeira (BHRC) que está localizada na região sul do estado da Bahia e ocupa uma área total de aproximadamente 4.200 km<sup>2</sup> e um perímetro de 447,9 km, abrangendo parcial ou completamente 13 municípios baianos, sendo eles: Barro Preto, Buerarema, Firmino Alves, Floresta Azul, Itabuna, Ibicaraí, Ilhéus, Itapé, Itapetinga,

Itajú do Colônia, Itororó, Jussari e Santa Cruz da Vitória (Figura 1), correspondendo a aproximadamente 565.729 habitantes (IBGE, 2010). Muitos destes municípios possuem suas áreas urbanas dispostas às margens dos principais cursos de água da bacia, interagindo em seus regimes de cheias e secas e nas características de qualidade das águas.

A BHRC está limitada ao sul pelas bacias do rio Una e do rio Pardo, ao norte pelas bacias do rio Almada e do rio Contas, e a oeste pela bacia do rio Pardo (Ceplac, 1976; Engelbrecht et al., 2019). Suas nascentes encontram-se na serra do Ouricana, município de Itororó, a aproximadamente 720 m de altitude, vindo a desaguar na cidade de Ilhéus-BA.

A BHRC se forma a partir da confluência de duas de suas principais sub-bacias: a do rio Salgado, localizada ao norte, e a do rio Colônia, ao sul. Seus principais afluentes são os ribeirões Água Preta, Fartura, riacho do Ourinho, Caracol, Rio do Meio, rio Engorda Velho, rio Jacaré, Ribeirão Grande e o ribeirão Piabanha.

De acordo com a classificação climática de Köppen (1936), o clima na bacia hidrográfica do rio Cachoeira varia de clima tropical úmido, a clima de monção e clima tropical com estação seca de inverno, no sentido leste a oeste. Possui formações florestais do bioma Mata Atlântica com precipitação anual superior a 1.000 mm e temperatura média de 24 °C (Cetra et al., 2011; INEMA, 2020).

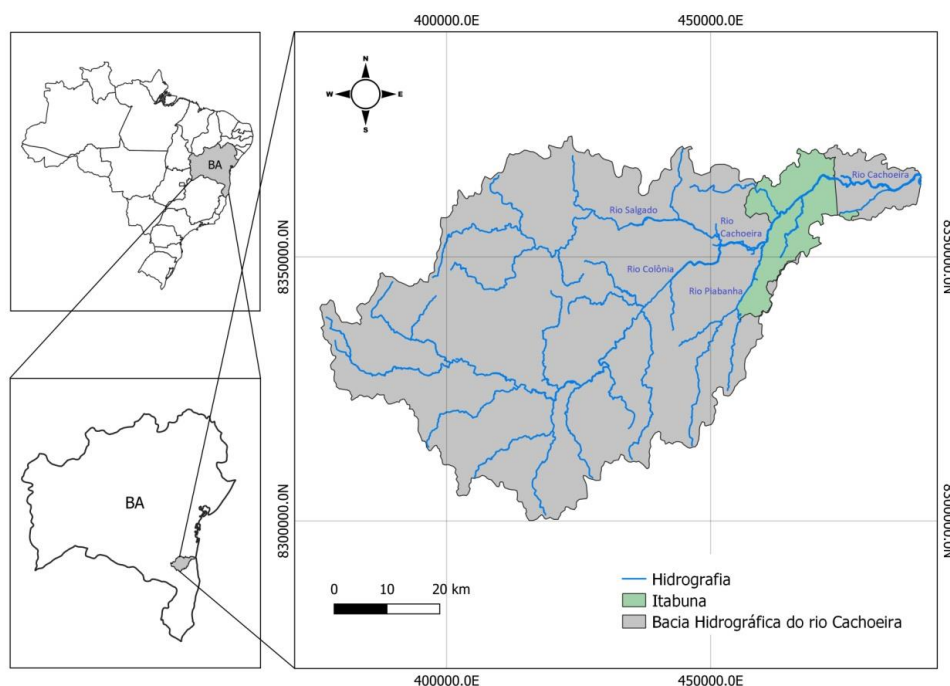


Figura 1. Área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, Bahia.

### O método adotado

Para se atingir os objetivos traçados, o método adotado foi subdividido em 3 etapas principais. A primeira se refere à obtenção, organização e consolidação dos dados pluviométricos e fluviométricos. Na segunda etapa ocorrem as análises temporais e espaciais dos dados, bem como a realização de verificação de tendência de variação dos dados pluviométricos e fluviométricos na área da BHRC, tendo em vista avaliar possível ocorrência de mudanças significativas no comportamento hidrológico, tanto para as séries de vazão quanto para as séries de precipitação. Por fim a terceira etapa tem o objetivo de analisar as séries históricas para cálculo da vazão média mensal, vazão média anual, vazão máxima média mensal, vazão máxima anual, vazão mínima média mensal, vazão mínima anual e as vazões associadas às curvas de permanência. Em seguida, serão calculadas as vazões máximas de cheias da área de estudo, sendo obtidos os valores de cotas atingidas por cheias com o tempo de retorno de 2 anos, 5 anos, 10 anos, 20 anos, 50 anos e 100 anos.

Na primeira etapa, as informações de séries históricas das estações pluviométricas e fluviométricas foram importadas do sítio eletrônico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, através do portal HidroWeb (ANA, 2020). Para as estações fluviométricas, foram selecionadas as que estão alocadas no interior da bacia hidrográfica em estudo e que possuíam série de dados maior que 25 anos. Exclusivamente para as estações pluviométricas foram selecionadas também, além das localizadas no interior da bacia, as que estavam localizadas em sua área de influência, compreendida em trecho até 25 km de distância dos divisores de águas, resultando em 89 estações. Destas 89 estações pluviométricas, apenas onze foram selecionadas em virtude de sua influência na área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, obtida a partir da aplicação do método dos polígonos de Thiessen, e/ou exclusão das séries que não possuíam um período superior a 25 anos de dados acumulados. As informações dos postos pluviométricos estudados e a sua distribuição espacial podem ser visualizados na Tabela 1 e na Figura 2.

As séries históricas de dados pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) são passíveis de falhas e inconsistências dos dados,

ocorridas devido a anormalidades na estação, como a mudança de local da mesma, problemas no aparelho de medição, ou até mesmo alteração no método de observação. Frente a isso, antes de manipular e apresentar tais dados é importante que a homogeneidade dos mesmos seja confirmada por meio da análise de sua tendência linear (Mendes e Zukowski Jr., 2019). Nesse sentido, inicialmente procedeu-se com o preenchimento das falhas e disparidades encontradas nas séries históricas utilizadas.

As falhas mensais encontradas nas séries históricas da pluviometria, nestas 11 estações pré-selecionadas, foram preenchidas de acordo com o método da regressão linear múltipla (Oliveira et al., 2010; Bertoni e Tucci, 2013; Mello et al., 2017; Brubacher et al., 2020).

Exclusivamente para as estações Buerarema e Fazenda Liberdade realizou-se tal regressão para o preenchimento anual, devido à ausência de dados para o preenchimento mensal.

Para os meses: julho de 2006, maio de 2009 e novembro de 2018, das estações Fazenda Manaus, São José, Santa Cruz da Vitória, Floresta Azul, Lomanto Júnior e Itajú do Colônia não foi possível realizar o preenchimento utilizando o método mencionado, portanto, para esses meses foram adotadas a média histórica de cada mês.

Em seguida plotou-se a curva das duplas massas, onde está a equação de tendência linear das precipitações anuais e sua correlação. Neste caso pode-se garantir a consistência do preenchimento dos dados e consequentemente da série histórica utilizada por meio do coeficiente de determinação próximo de 1. Portanto, para verificação da homogeneidade das séries preenchidas, realizou-se a análise de consistência para cada estação por meio do método de duplas massas (Searcy e Hardison, 1960; Bertoni e Tucci, 2013).

Então, os dados foram submetidos ao *software* Hidro 1.4 (ANA, 2001) para obtenção dos totais mensais precipitados. Por meio de planilhas eletrônicas, obteve-se: precipitação média anual em toda a série, as médias das máximas mensais, o total precipitado no trimestre mais seco e o total precipitado no trimestre mais chuvoso. Para obtenção da precipitação média anual na área de drenagem foi utilizado o método dos polígonos de Thiessen com o auxílio do *software* QGIS 3.22 (QGIS, 2022).

Tabela 1. Estações pluviométricas pertencentes à bacia do rio Cachoeira e a sua área de influência selecionadas para o estudo.

| Código   | Nome                  | Início da Série<br>(mês/ano) | Fim da Série<br>(mês/ano) | Duração<br>(anos) | Latitude | Longitude |
|----------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|----------|-----------|
| 01439001 | Lomanto Junior        | Nov/69                       | Mar/21                    | 52                | -14,8103 | -39,4714  |
| 01439002 | Floresta Azul         | Nov/69                       | Mar/21                    | 52                | -14,8597 | -39,6583  |
| 01439044 | Santa Cruz da Vitória | Nov/69                       | Mar/21                    | 52                | -14,9589 | -39,8075  |
| 01539016 | Fazenda Manaus        | Dez/69                       | Mar/21                    | 52                | -15,1544 | -39,7692  |
| 01539008 | Itajú do Colônia      | Jan/63                       | Mar/21                    | 44                | -15,1389 | -39,7242  |
| 01539002 | São José              | Nov/69                       | Ago/21                    | 52                | -15,0922 | -39,3456  |
| 01539009 | Firmino Alves         | Out/63                       | Out/89                    | 26                | -14,9886 | -39,9222  |
| 01540006 | Itororó               | Out/63                       | Nov/89                    | 26                | -15,1167 | -40,1167  |
| 01439026 | Buerarema (Macuco)    | Mai/64                       | Nov/98                    | 34                | -14,9500 | -39,3000  |
| 01539015 | Fazenda Liberdade     | Nov/63                       | Mar/94                    | 31                | -15,1894 | -39,4361  |
| 01440015 | Itajaí (Tapirama)     | Nov/63                       | Dez/91                    | 28                | -14,9517 | -40,0975  |

Já os dados das séries de vazões diárias obtidas das estações fluviométricas foram submetidos ao *software* SisCAH 1.0 para a realização das análises hidrológicas (Sousa et al., 2009), onde inicialmente foram submetidos a pré-processamento, sendo definido o descarte dos dados que apresentaram falha superior a 25% de registros de dados mensais (Natividade et al., 2017). Desta maneira foi possível definir 6 estações localizadas na BHRC (Figura 2 e Tabela 2) para a realização de análise fluviométrica a partir de dados como a vazão máxima anual e mensal, vazão média anual e mensal, vazão mínima com duração de 7 dias ( $Q_{7,10}$ ) e as vazões de permanência de 50% ( $Q_{50}$ ), 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) ao ano. Para a obtenção da vazão média específica de cada estação, fez-se a divisão das vazões obtidas pela área de drenagem a montante das mesmas.

Em uma segunda etapa, o método adotado objetivou a realização de análise de tendência de variação dos dados pluviométricos e fluviométricos na área da BHRC, tendo em vista verificar possível ocorrência de mudanças significativas no comportamento hidrológico, tanto para as séries de vazão quanto para as séries de precipitação. Para tanto, utilizou-se o teste de Mann-Kendall e o estimador de inclinação de Sen (Grosso, 2005, Alves et al., 2015, Gomes et al., 2015, Natividade et al., 2017), sendo que o

primeiro permite identificar tendências no comportamento dos dados ao longo do tempo; já o segundo, permite identificar a magnitude da série ao reconhecer se a inclinação da mesma é estatisticamente significativa (Alves et al., 2015).

É importante ressaltar que tais testes têm sido muito utilizados para a detecção da presença de tendências em séries históricas meteorológicas por não ser preciso que as mesmas apresentem distribuição normal, como é o caso de séries pluviométricas e fluviométricas. Além disso, são pouco influenciados por *outliers*, tornando-se mais rigorosos que outros métodos convencionais (Mann, 1945; Kendall, 1975; Kendall e Gibbons, 1990; Santos et al., 2016).

Dessa forma, propôs-se como hipótese nula ( $H_0$ ) que os dados são independentes e igualmente distribuídos e, como hipótese alternativa ( $H_a$ ) que os dados seguem uma tendência invariável no tempo. Assim, realizou-se a análise da estacionariedade: das vazões médias, mínimas e máximas anuais, de modo a ser analisada a disponibilidade hídrica das estações fluviométricas ao longo do tempo; e da precipitação anual em cada estação e média na bacia, com o objetivo de analisar a tendência temporal do comportamento pluviométrico ao longo do tempo na região estudada.

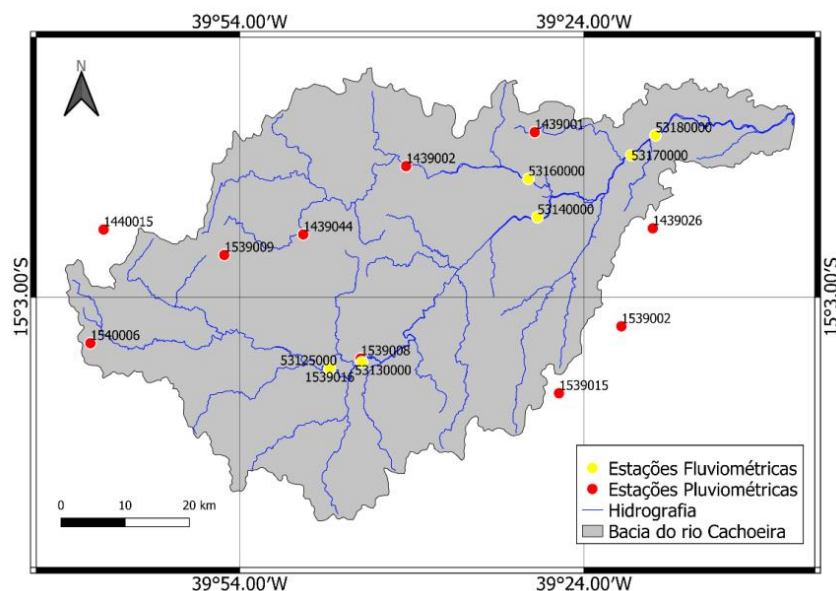


Figura 2. Estações pluviométricas e fluviométricas selecionadas para estudo.

Tabela 2. Estações fluviométricas pertencentes à bacia do rio Cachoeira.

| Código   | Nome                 | Início da série<br>(mês/ano) | Fim da série<br>(mês/ano) | Duração<br>(anos) | Lat.     | Long.    |
|----------|----------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|----------|----------|
| 53125000 | Fazenda Manaus       | dez/69                       | fev/10                    | 40                | -15,1531 | -39,7692 |
| 53130000 | Itajú do Colônia     | fev/65                       | mar/21                    | 56                | -15,1444 | -39,7225 |
| 53140000 | Estiva de Baixo      | fev/69                       | mar/21                    | 52                | -14,9339 | -39,4675 |
| 53160000 | Cajueiro do Ibicarai | nov/65                       | abr/19                    | 54                | -14,8781 | -39,4806 |
| 53170000 | Ferradas             | dez/65                       | set/20                    | 54                | -14,8439 | -39,3311 |
| 53180000 | Contorno da BR-101   | ago/70                       | abr/19                    | 48                | -14,8150 | -39,2961 |

Por fim a terceira etapa metodológica tem o objetivo de analisar as séries históricas para cálculo da vazão média mensal, vazão média anual, vazão máxima média mensal, vazão máxima anual, vazão mínima média mensal, vazão mínima anual e as vazões associadas as curvas de permanência. Para tanto foram selecionadas apenas as estações Ferradas e Contorno da BR-101, visto que estão localizadas mais próximas e a montante do centro urbano do município de Itabuna e assim, podem refletir de forma mais real o comportamento das inundações na cidade.

Primeiramente, fez-se o preenchimento dos anos: 2015 para a estação Ferradas, e 1967-1972 e 2019 para a estação Contorno da BR-101, por meio do método de regressão linear simples, onde estima-se a vazão de uma estação tendo como base o comportamento do posto fluviométrico mais próximo. Em seguida, calculou-se as vazões máximas de cheias da área das estações em questão, sendo obtidos os valores de cotas atingidas por cheias com o tempo de retorno de 2 anos, 5

anos, 10 anos, 20 anos, 50 anos e 100 anos (TR2, TR5, TR10, TR20, TR50, TR100). Para tanto, utilizou-se o método de Gumbel, que é considerado a distribuição mais adequada para extrapolar dados de precipitação máxima diária e anual para períodos de retorno longos (Sansigolo, 2008; Wanderley et al., 2018).

Para análise da correlação entre as estações obteve-se a linha de tendência dos dados e o correspondente  $R^2$ , e o R múltiplo que, quanto mais próximos de 1, maior correlação existente. Posteriormente, para análise das cotas atingidas por cada vazão encontrada nos períodos de retorno calculados, realizou-se a plotagem da curva de descarga, onde, por meio desta foram obtidas as cotas em função da vazão ocorrida.

Por fim, realizou-se a plotagem do perfil transversal do rio por meio do *software* Hidro 1.4 (ANA, 2001), onde foram identificadas todas as cotas atingidas e o ponto onde extravasa o canal, causando inundações extremas.

## Resultados e discussão

Quanto ao comportamento das precipitações na área da BHRC

A Tabela 3 apresenta os dados sintetizados de precipitação média anual, precipitação média do trimestre mais seco e precipitação do trimestre mais chuvoso, obtidas das 11 estações pluviométricas estudadas. Depreende-se que a precipitação média anual das estações analisadas é de 1.088,72 mm, variando de 759,9 mm na estação Itororó, localizada a oeste, a 1.461,29 mm na estação Fazenda Liberdade, localizada na porção leste. Tal padrão de comportamento pluviométrico foi similar ao encontrado por Souza e Nascimento (2020) ao estudarem a Região Hidrográfica do Recôncavo Sul da Bahia, com chuvas crescentes no

sentido oeste-leste. A variabilidade espacial da precipitação na Bahia foi algo estudado por Braga et al. (1998), que indicaram volumes superiores a 1.200 mm nas áreas localizadas a leste, enquanto nas áreas mais localizadas a oeste o volume precipitado ficava em torno de 600 mm. A Figura 3 ilustra a distribuição das isoietas na área da BHRC.

De acordo com a variabilidade espacial das estações percebeu-se que as que estão localizadas na porção oeste da bacia possuem períodos secos e chuvosos mais acentuados, enquanto as mais litorâneas, a leste, não possuem uma diferença tão marcante entre esses períodos, apresentando totais precipitados similares entre ambos (Figura 3).

Tabela 3. Precipitação média anual, precipitação média do trimestre mais seco e precipitação do trimestre mais chuvoso, ocorridas na área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

| Estação pluviométrica | Precipitação média anual (mm) | Desvio Padrão (mm) | Precipitação média trimestre seco (mm) | Precipitação média trimestre chuvoso (mm) |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Lomanto Junior        | 1.419,66                      | 385,05             | 315,22                                 | 385,45                                    |
| Floresta Azul         | 1.035,40                      | 235,91             | 199,04                                 | 315,71                                    |
| Santa Cruz da Vitória | 948,26                        | 281,75             | 151,15                                 | 319,91                                    |
| Fazenda Manaus        | 788,95                        | 252,49             | 85,82                                  | 303,29                                    |
| Itajú do Colônia      | 798,05                        | 221,88             | 94,26                                  | 300,43                                    |
| São José              | 1.420,83                      | 256,54             | 273,83                                 | 421,40                                    |
| Firmino Alves         | 975,51                        | 319,31             | 132,96                                 | 362,79                                    |
| Itororó               | 759,90                        | 295,53             | 98,14                                  | 320,79                                    |
| Buerarema (Macuco)    | 1.311,06                      | 318,36             | 243,00                                 | 386,40                                    |
| Fazenda Liberdade     | 1.461,29                      | 299,04             | 301,40                                 | 422,80                                    |
| Itajaí (Tapirama)     | 1.057,00                      | 233,14             | 180,04                                 | 347,79                                    |
| BHRC                  | 1.088,72                      | 281,73             | 188,62                                 | 353,34                                    |

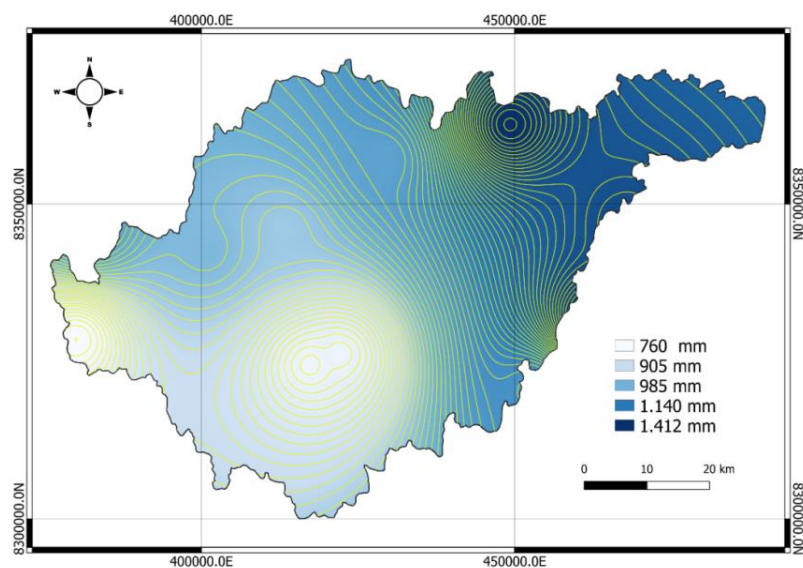


Figura 3. Mapa de isoietas para a área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

Tendo em vista a avaliação da parcela de precipitação medida nas estações pluviométricas e sua influência na área da bacia, fez-se uso do método dos polígonos de Thiessen (Figura 4 e Tabela 4). De acordo com este método, a estação Floresta Azul apresentou a maior contribuição média (152,51 mm) com a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, seguida pelas estações Lomanto Júnior com 142,14 mm e Buerarema com 135,68 mm. Explica-se tal ocorrido por meio da análise da

distribuição espacial dessas estações, visto que elas estão localizadas mais próximas ao litoral (leste) e são estas que exercem maior influência na precipitação média da bacia em questão. O contrário pode ser observado com as estações que estão localizadas mais a oeste da bacia, que exercem menor influência na precipitação, como as estações Itajaí e Itororó com 15,46 mm e 45,65 mm, respectivamente.

Tabela 4. Contribuição da precipitação de cada estação pluviométrica para a bacia do rio Cachoeira.

| Estação pluviométrica | Área (km <sup>2</sup> ) | Área na bacia (%) | Total Anual (mm) | Contribuição (mm) |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Itajú do Colônia      | 510,82                  | 12,1%             | 798,05           | 96,46             |
| Fazenda Manaus        | 635,53                  | 15,0%             | 788,95           | 118,64            |
| Firmino Alves         | 379,12                  | 9,0%              | 975,51           | 87,51             |
| Santa Cruz da Vitória | 439,21                  | 10,4%             | 948,26           | 98,54             |
| Itororó               | 253,87                  | 6,0%              | 759,90           | 45,65             |
| Floresta Azul         | 622,52                  | 14,7%             | 1.035,40         | 152,51            |
| Fazenda Liberdade     | 306,84                  | 7,3%              | 1.461,29         | 106,09            |
| São José              | 156,12                  | 3,7%              | 1.420,83         | 52,48             |
| Lomanto Junior        | 423,14                  | 10,0%             | 1.419,66         | 142,14            |
| Itajaí (Tapirama)     | 61,82                   | 1,5%              | 1.057,00         | 15,46             |
| Buerarema (Macuco)    | 437,37                  | 10,3%             | 1.311,06         | 135,68            |
| TOTAL                 | 4.226,37                | 100%              | 1.088,72         | 1.051,15          |

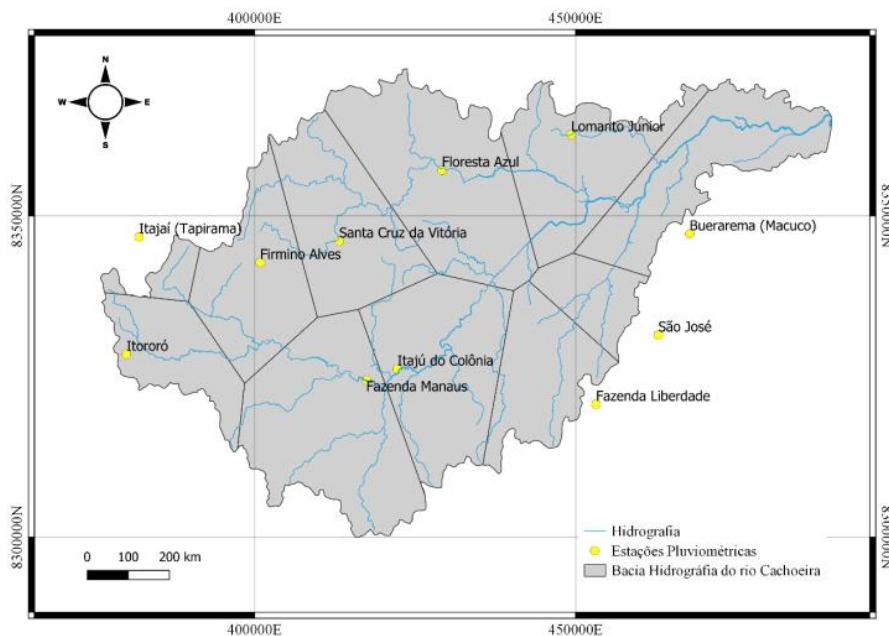


Figura 4. Polígonos de Thiessen para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

Destaca-se que, obter a precipitação média na bacia hidrográfica é um método usado com frequência para avaliação de potenciais de escoamentos superficiais, evaporação e infiltração

da água no solo, parâmetros importantes quando se investiga as inundações urbanas. Portanto, é essencial que a estimativa desse valor seja o mais fidedigna possível da realidade estudada. No

entanto, devido a grande quantidade de variáveis que influenciam no comportamento pluviométrico de uma bacia hidrográfica, torna-se difícil conhecer o volume exato precipitado em toda a bacia, visto que a variação espacial pode mudar rapidamente em virtude das modificações dos núcleos de chuvas (Marciano et al., 2018).

A variabilidade sazonal das precipitações é um elemento de grande importância para a caracterização dos regimes pluviométricos de bacias hidrográficas a partir da identificação de períodos secos e chuvosos. Nesse cenário, a Tabela 5 e o gráfico da Figura 5, apresentam os valores das médias de precipitação mensal nas estações pertencentes e inclusas na área da bacia hidrográfica do rio Cachoeira. Observa-se que os menores volumes precipitados ocorrem entre os meses de agosto e setembro. Em seguida, há um aumento do volume precipitado, caracterizando um pico no mês de novembro, que marca o início do ano hidrológico na bacia. O período de chuva se estende até o mês de abril, apresentando grande variação entre as estações em estudo, podendo ocorrer devido à localização espacial de cada uma.

A partir da análise da variação mensal das precipitações, confirma-se o padrão de comportamento mais chuvoso na estação Lomanto Júnior, localizada a leste, que apresentou precipitações entre 83 mm e 140 mm, nos meses de setembro e março, respectivamente. Já a estação Itororó, localizada a oeste, a menor precipitação ocorreu em agosto, correspondendo a 17 mm, média bastante inferior quando comparada com a estação mais chuvosa da bacia em questão.

Assim como encontrado por Correia e Galvani (2017) e Souza e Nascimento (2020), a estação da primavera tem sido a mais chuvosa e a estação do inverno a menos chuvosa. No estudo desenvolvido por Chaves (1999) verificou-se que na região Nordeste do Brasil o comportamento pluviométrico é mais uniforme em localizações próximas ao litoral (leste), possuindo chuvas mais bem distribuídas durante o ano, ocorrendo devido à influência da atividade convectiva da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Tabela 5. Precipitação média mensal nas estações da bacia do rio Cachoeira.

| Estação Pluviométrica | Jan           | Fev          | Mar           | Abr          | Mai          | Jun          | Jul          | Ago          | Set          | Out          | Nov           | Dez           | Anual           |
|-----------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| Fazenda Manaus        | 79,83         | 77,76        | 88,46         | 78,15        | 46,58        | 39,89        | 34,68        | 23,43        | 27,71        | 65,06        | 110,99        | 112,49        | 788,95          |
| Santa Cruz da Vitória | 93,50         | 80,80        | 106,16        | 90,64        | 62,12        | 67,45        | 63,60        | 45,06        | 42,50        | 70,02        | 118,99        | 107,42        | 948,26          |
| Floresta Azul         | 93,24         | 90,78        | 108,72        | 97,09        | 66,76        | 76,49        | 82,67        | 64,60        | 51,78        | 79,88        | 120,59        | 101,88        | 1035,40         |
| Lomanto Júnior        | 117,77        | 130,33       | 140,24        | 123,84       | 106,85       | 108,92       | 122,62       | 109,08       | 83,52        | 108,80       | 136,45        | 131,25        | 1419,66         |
| Itajú do Colônia      | 82,33         | 73,19        | 93,68         | 83,36        | 47,25        | 43,25        | 39,58        | 27,58        | 27,10        | 62,63        | 106,84        | 111,27        | 798,05          |
| Itororó               | 82,59         | 59,63        | 67,16         | 63,00        | 37,99        | 36,96        | 39,84        | 17,59        | 40,71        | 66,78        | 114,23        | 123,98        | 759,90          |
| Firmino Alves         | 109,08        | 114,07       | 88,77         | 88,98        | 52,27        | 60,18        | 48,10        | 30,61        | 54,27        | 75,47        | 137,42        | 116,31        | 975,51          |
| Fazenda Liberdade     | 120,09        | 125,72       | 143,10        | 127,66       | 98,13        | 114,41       | 123,29       | 86,10        | 93,54        | 121,66       | 155,08        | 156,83        | 1.461,29        |
| São José              | 136,02        | 135,63       | 146,66        | 122,81       | 97,13        | 105,40       | 117,96       | 85,76        | 78,32        | 109,76       | 148,16        | 137,22        | 1.420,83        |
| Buerarema             | 106,47        | 119,68       | 143,86        | 112,87       | 82,40        | 78,31        | 85,09        | 79,62        | 73,98        | 113,44       | 133,02        | 140,01        | 1.311,06        |
| Itajaí                | 95,72         | 91,78        | 120,74        | 97,31        | 67,49        | 69,76        | 72,16        | 51,89        | 55,99        | 82,07        | 133,32        | 118,75        | 1.057,00        |
| <b>Média</b>          | <b>101,51</b> | <b>99,94</b> | <b>113,41</b> | <b>98,70</b> | <b>69,54</b> | <b>72,82</b> | <b>75,42</b> | <b>56,48</b> | <b>57,22</b> | <b>86,87</b> | <b>128,64</b> | <b>123,40</b> | <b>1.088,72</b> |

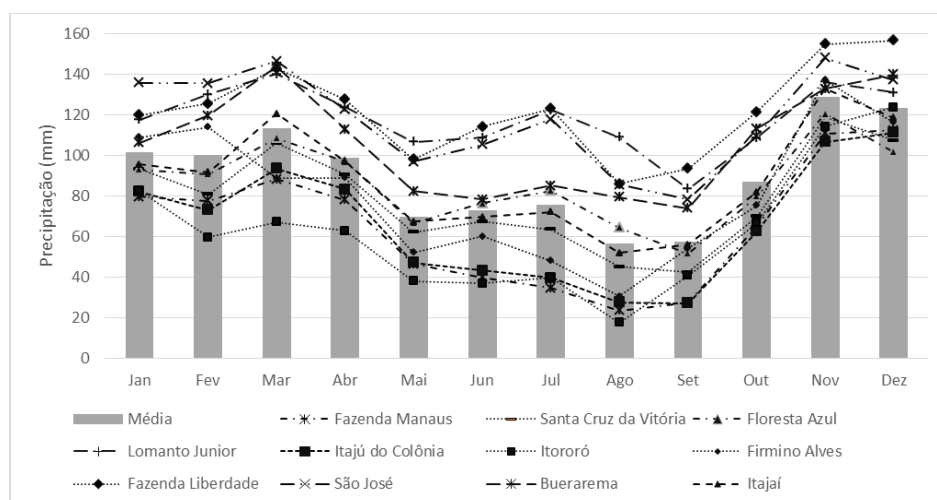


Figura 5. Variabilidade mensal da precipitação nas estações pertencentes a bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

Ao observar a série de dados de precipitação referente à variação das médias anuais durante o período analisado observa-se que a década de 80 corresponde a cerca de 55% dos anos mais chuvosos da série, isso porque 6 estações apresentaram seu ano mais chuvoso nesse período, com destaque para o ano de 1985 que foi o mais chuvoso em 4 destas, sendo elas: Fazenda Manaus (1983), Lomanto Júnior (1980), Itajú do Colônia (1985), Buerarema (1985), Itororó (1985) e Fazenda Liberdade (1985). É possível observar que, das estações que apresentaram o maior volume precipitado em 1985, apenas a estação Lomanto Júnior está mais localizada a leste, enquanto as outras se encontram a oeste, mostrando que tal precipitação ocorreu em nível regional, não somente local. Já a década de 70 apresentou cerca de 28% dos anos mais chuvosos, tendo sido nesse período que ocorreram as maiores precipitações nas estações Floresta Azul (1970), Itajaí (1974) e Firmino Alves (1978).

Na estação Lomanto Junior, que está localizada mais próxima do núcleo urbano do município de Itabuna, estão entre os anos mais chuvosos: 2007, 2005, 2002 e 2018. De acordo com o Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2ID), nestes anos ocorreram eventos de inundação no município de Itabuna, mostrando que um volume de precipitação de 1.592,15 mm já é o suficiente para que estes eventos ocorram.

Os anos mais secos apresentaram 3 ocorrências nos anos 2000, nas estações Santa Cruz da Vitória e Itajú do Colônia em 2015 e Floresta Azul em 2019, 3 ocorrências na década de 90, sendo Itajaí (1990), Fazenda Manaus (1996) e São José (1996), e 3 ocorrências na década de 80, sendo Firmino Alves e Fazenda Liberdade em 1982, e Itororó 1989, e por fim, 2 ocorrências na década de 70, nas estações Lomanto Júnior e Buerarema, em 1971.

A Figura 6 apresenta uma maneira simples de avaliação do comportamento da média móvel

com período de 5 anos dos valores de média da precipitação anual das estações estudadas. Observa-se ao longo do tempo períodos de precipitações médias anuais mais elevadas, a exemplo dos intervalos de 1976-1982, 1990-1992, 2002, 2006-2012 e 2020, seguidas por períodos de menor valor nos intervalos de 1984-1988, 1994-1996, 2004 e 2014-2018.

Por outro lado, métodos estatísticos mais sofisticados podem ser utilizados para a avaliação das tendências temporais. Nesse contexto, os dados de média anual de precipitação nas estações estudadas foram avaliados quanto a sua variação temporal. Os resultados da tendência da precipitação anual obtidas pelo teste de Mann-Kendall (Z) e pelo estimador de inclinação Sen (S) podem ser observados na tabela 6.

Conforme exposto, as estações Lomanto Júnior, Itororó, São José, Itajaí e Buerarema apresentaram tendência positiva, ou seja, de crescimento da precipitação ao longo do período analisado. Já as estações Fazenda Manaus, Santa Cruz da Vitória, Floresta Azul, Itajú do Colônia, Firmino Alves e Fazenda Liberdade apresentaram tendência negativa das precipitações, sendo que nas estações Santa Cruz Vitória e Itajú do Colônia esse decréscimo foi significativo.

O fato de mais de 50% das estações analisadas terem apresentado tendência negativa, ainda que não significativas estatisticamente, pode indicar um decréscimo no volume precipitado ao longo do período analisado. No entanto, o fato não exclui a ocorrência dos eventos extremos de precipitação. Ou seja, apesar da diminuição do volume de chuvas, têm-se ocorrido eventos intensos de precipitação. Pode-se ter como exemplo, as fortes chuvas que ocorreram no Sul da Bahia em dezembro de 2021 e resultaram em fortes inundações em diferentes cidades da bacia do rio Cachoeira.

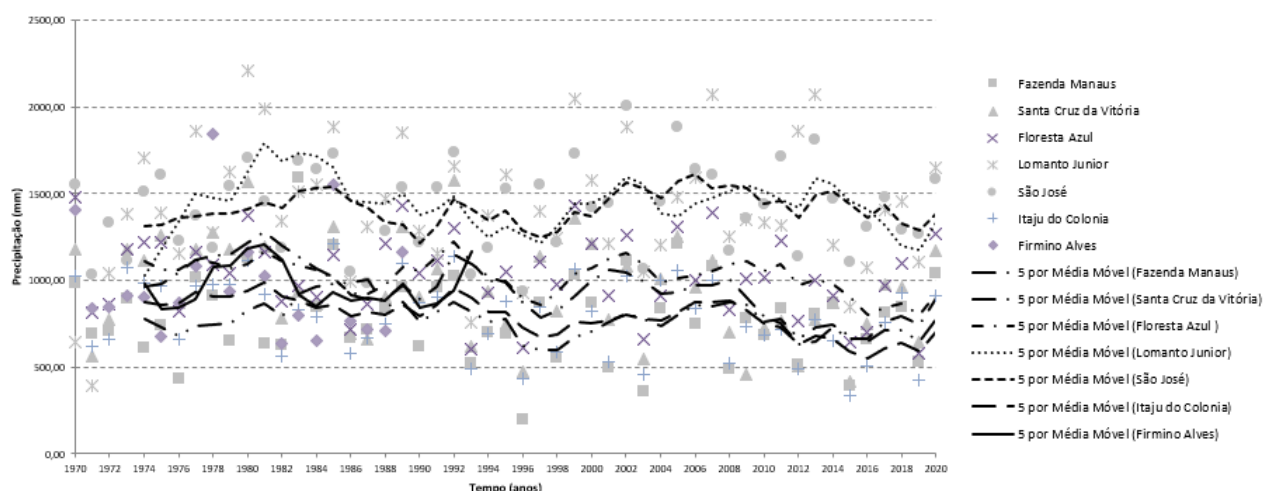


Figura 6. Média móvel de 5 anos de período dos valores de precipitação média anual de 1970 a 2020.

Tabela 6. Tendência da precipitação anual obtida pelo teste de Mann-Kendall (Z) e no estimador de inclinação Sen (S) para as estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

| Estação pluviométrica | Z      | S      | p-value      | Tendência    |
|-----------------------|--------|--------|--------------|--------------|
| Fazenda Manaus        | -0,053 | -1,236 | 0,592        | Decrescente  |
| Lomanto Junior        | 0,031  | 1,160  | 0,758        | Crescente    |
| Santa Cruz da Vitória | -0,213 | -5,692 | <b>0,028</b> | Decrescente* |
| Floresta Azul         | -0,107 | -3,028 | 0,269        | Decrescente  |
| Itaju do Colônia      | -0,215 | -5,336 | <b>0,027</b> | Decrescente* |
| Itororó               | 0,053  | 5,597  | 0,770        | Crescente    |
| Firmino Alves         | -0,105 | -8,688 | 0,538        | Decrescente  |
| São José              | 0,049  | 1,567  | 0,615        | Crescente    |
| Itajaí                | 0,084  | 3,354  | 0,626        | Crescente    |
| Buerarema             | 0,076  | 4,067  | 0,568        | Crescente    |
| Fazenda Liberdade     | -0,027 | -1,767 | 0,870        | Decrescente  |

Em que: Z-teste de Mann Kendall; S-estimador de inclinação Sen; \*-significativo a  $P < 0,05$ .

De acordo com o *site* MetSul Meteorologia o governo do Estado da Bahia caracterizou tais chuvas como o maior volume acumulado de chuva dos últimos 32 anos para o mês de dezembro, e, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia, o mês de dezembro de 2021 apresentou o maior volume de chuvas dos últimos 60 anos. Estima-se que até 28 de dezembro, o volume acumulado de chuva foi correspondente a 410,4 mm, enquanto a média histórica para o mês de dezembro é de 145,0 mm (INMET) e a encontrada nos dados analisados foi de 133,1 mm. Como consequência, as inundações que ocorreram ao longo da bacia do rio Cachoeira foram de grande proporção, como na cidade de Itabuna, onde o nível do rio Cachoeira subiu cerca de 9 m, deixando mais de 600 famílias desabrigadas e 2 mortos.

Ao observar a série de dados de precipitação referente a variação das máximas anuais durante o período analisado, observa-se que o maior valor de precipitação máxima anual ocorreu no ano de 2007 na estação Lomanto Júnior. Como já mencionado, esta é a estação mais próxima do núcleo urbano de Itabuna e este foi um ano que ocorreu inundações no município. Apesar

da década de 80 ter correspondido aos anos mais chuvosos das séries, as maiores precipitações máximas ocorreram na década de 70, nas estações: São José (1976), Itajaí (1975), Firmino Alves (1973) e Itororó (1977). Na década de 80 houve duas ocorrências de precipitações máximas de destaque, nas estações Fazenda Liberdade (1988) e Buerarema (1983), correspondentes a 124,2 mm e 112,0 mm. Na década de 90 as precipitações máximas ocorreram nas estações Santa Cruz da Vitória (1990), Floresta Azul (1998) e Itaju do Colônia (1990). E nos anos 2000, ocorreram as precipitações máximas na estação Lomanto Júnior (2007) e Fazenda Manaus (2005).

A Figura 7 apresenta a avaliação do comportamento da média móvel com período de 5 anos dos valores de máxima da precipitação diária das estações estudadas. Observa-se que somente nas estações Lomanto Júnior, Santa Cruz da Vitória, Buerarema, Itaju do Colônia e Fazenda Manaus apresentaram média móvel para as precipitações máximas diárias maiores que 100 mm, com o maior pico ocorrendo na estação Lomanto Júnior entre os anos de 2005 e 2010. Em contrapartida, os menores valores da média móvel

das precipitações máximas diárias ocorreram nas estações Itajaí, Lomanto Júnior, Buerarema, Itajú do Colônia e Floresta Azul, com o menor valor ocorrendo na estação Itajaí, entre os anos de 1975 e 1980.

Os dados de máximas diárias de precipitação nas estações estudadas foram avaliados quanto a sua variação temporal. Os resultados da tendência da precipitação máxima diárias obtidas pelo teste de Mann-Kendall (Z) e pelo estimador de inclinação Sen (S) podem ser observados na tabela 7.

Conforme exposto, as estações Fazenda Manaus, Lomanto Júnior, Itajú do Colônia, São José, Itajaí, Buerarema e Fazenda Liberdade apresentaram tendência positiva, ou seja, de

crescimento da precipitação máxima diária ao longo do período analisado. Já as estações Santa Cruz da Vitória, Floresta Azul, Itororó e Firmino Alves apresentaram tendência negativa das precipitações máximas diárias. No entanto, em nenhuma das estações analisadas houve tendência significativa ( $P < 0,05$ ). Assim como já fora mencionado, a BHRC tem passado por cenários recentes de inundações oriundas de eventos extremos de precipitação e, o fato de 7 das 11 estações analisadas apresentarem tendência de crescimento das precipitações máximas ao longo do tempo corrobora o que tem ocorrido no cenário real dos municípios integrantes da bacia hidrográfica em questão.

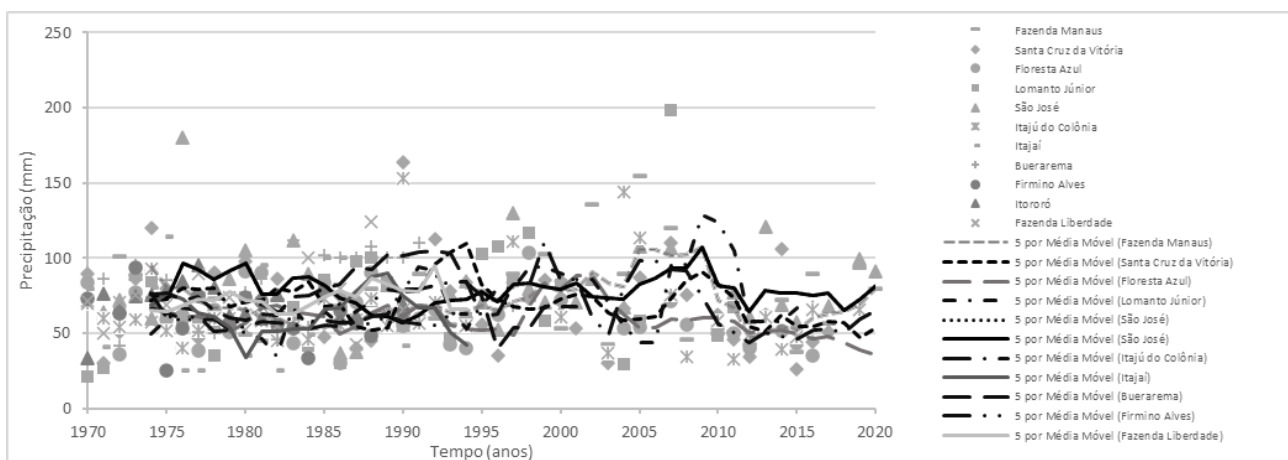


Figura 7. Média móvel de 5 anos de período dos valores de precipitação máxima anual de 1970 a 2020.

Tabela 7. Tendência da precipitação máxima anual obtida pelo teste de Mann-Kendall (Z) e no estimador de inclinação Sen (S) para as estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

| Estação pluviométrica | Z      | S      | p-value | Tendência   |
|-----------------------|--------|--------|---------|-------------|
| Fazenda Manaus        | 0,004  | 0,000  | 0,981   | Crescente   |
| Lomanto Junior        | 0,233  | 0,990  | 0,086   | Crescente   |
| Santa Cruz da Vitória | -0,144 | -0,357 | 0,177   | Decrescente |
| Floresta Azul         | -0,152 | -0,281 | 0,183   | Decrescente |
| Itajú do Colônia      | 0,003  | 0,015  | 0,990   | Crescente   |
| Itororó               | -0,133 | -0,358 | 0,499   | Decrescente |
| Firmino Alves         | -0,155 | -0,797 | 0,410   | Decrescente |
| São José              | 0,025  | 0,048  | 0,816   | Crescente   |
| Itajaí                | 0,099  | 0,670  | 0,595   | Crescente   |
| Buerarema             | 0,192  | 0,931  | 0,197   | Crescente   |
| Fazenda Liberdade     | 0,067  | 0,447  | 0,753   | Crescente   |

Em que: Z-teste de Mann Kendall; S-estimador de inclinação Sen; \*-significativo a  $P < 0,05$ .

Quanto ao comportamento das vazões na área da BHRC

A Tabela 8 apresenta os valores de vazão média anual, vazão máxima média anual e vazão mínima média anual, além das vazões associadas às curvas de permanência, das seis estações fluviométricas estudadas. Depreende-se da Tabela que as estações Fazenda Manaus e Itajú do Colônia possuem os menores valores de vazões médias

anuais em virtude de estarem localizadas a montante, na porção oeste da sub-bacia do rio Colônia. Já as estações Estiva de Baixo e Cajueiro do Ibicaraí, localizam-se, cada uma delas, na porção média da área, nas proximidades do exutório das sub-bacias do rio Salgado e do rio Colônia, que contribuem juntas para a formação da

bacia do rio Cachoeira. De acordo com os dados apresentados, a vazão média anual do Rio Colônia ( $8,58 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) contribui com cerca de 45% da vazão média anual medida na estação Ferradas ( $18,98 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), localizada após a confluência entre os rios Salgado e Colônia. Neste mesmo raciocínio, a vazão do rio Salgado ( $5,76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) contribui com cerca de 30%. Este fato pode colaborar para a avaliação da distribuição das chuvas na bacia e a sua influência nas vazões contribuintes para eventos de inundação na área urbana do município, registrados e associados aos dados da estação Contorno da BR-101 (vazão média anual de  $21,13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) localizada a jusante das demais estações e a montante da área urbana do município de Itabuna.

Já a média anual das vazões mínimas permite que seja caracterizada a disponibilidade hídrica natural de um curso de água, podendo assim, ser considerada um dos limitantes para concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos (Uliana et al., 2016). Entre as estações analisadas, as estações Itajú do Colônia e Estiva de Baixo apresentaram as menores médias de vazões mínimas, correspondendo a  $0,212 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e  $0,215 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , indicando uma menor disponibilidade hídrica em momentos de seca nas áreas de drenagem destas estações.

Por sua vez, quando se trata das médias de vazões máximas, a estação Contorno da BR-101 apresentou o maior valor, correspondendo a  $772,32 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Tal fato é esperado, visto que esta estação está localizada a jusante das demais estações da bacia hidrográfica do rio Cachoeira e assim, recebe todo o fluxo hídrico.

Ao apresentar um alto valor para média da vazão máxima, compreende-se que a área de drenagem dessa estação está mais suscetível a sofrer os efeitos de cheias. Ao analisar a localização dessa estação, é possível que tal afirmação seja corroborada, uma vez que, esta se localiza a montante da área urbana de Itabuna, cidade que sofre com inúmeros eventos de inundação das mais variadas intensidades. No entanto, é importante ressaltar que, quando se trata

de fenômenos de inundação, os componentes fisiográficos da área de drenagem também devem ser levados em consideração.

Na tabela 9 estão apresentadas as vazões específicas para cada estação fluviométrica pertencente à área de estudo. Essas vazões tornam possível que seja caracterizada a produtividade hídrica na área de drenagem de cada estação fluviométrica. Dessa forma, podem-se definir as estações Cajueiro do Ibicarai e Fazenda Manaus como as que possuem uma maior produtividade hídrica, visto que apresentaram os maiores valores para vazão máxima, vazão média, vazão mínima e para as vazões de permanência. Em contrapartida, as estações Estiva de Baixo e Itajú do Colônia podem ser caracterizadas como as com menor produtividade hídrica, por apresentarem os menores valores de vazão máxima, mínima, média e de permanência, corroborando assim, com o que já havia sido encontrando na análise da tabela 4. Tal fato pode estar associado ao grau de degradação da bacia a montante de cada estação, visto que quando ocorre a diminuição das áreas de vegetação nativa em detrimento do crescimento de áreas mal manejadas ou áreas extensas de monocultura, a infiltração de água no solo é prejudicada, influenciando diretamente na quantidade e na qualidade da água disponível (Rebouças et al., 1999; Tucci, 2002; Latuf, 2008).

Com relação à variabilidade sazonal fluviométrica, assim como ocorre com a precipitação, na bacia hidrográfica do rio Cachoeira tem-se os menores volumes fluviométricos entre os meses de agosto e setembro (Figura 8 e Tabela 10). Em seguida, há um aumento gradual desse volume, ocorrendo um pico no mês de dezembro. Como o período de chuvas se estende até o mês de abril, é nesse intervalo em que ocorrem os maiores volumes fluviométricos, apresentando uma variação entre as estações em estudo, que pode ocorrer em virtude do volume precipitado em cada uma, e o seu posicionamento na bacia.

Tabela 8. Vazões máxima, mínima, média e de referência das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira em  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ .

| Estação fluviométrica | Vazões |        |       |       |       |       |
|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                       | Qmax   | Qmed   | Qmin  | Q95   | Q90   | Q50   |
| Fazenda Manaus        | 183,51 | 4,174  | 0,310 | 0,104 | 0,215 | 1,128 |
| Itajú do Colônia      | 298,78 | 5,256  | 0,212 | 0,010 | 0,015 | 1,003 |
| Estiva de Baixo       | 360,92 | 8,583  | 0,215 | 0,010 | 0,086 | 1,340 |
| Cajueiro do Ibicarai  | 248,84 | 5,761  | 0,383 | 0,070 | 0,180 | 1,698 |
| Ferradas              | 566,21 | 18,984 | 0,720 | 0,038 | 0,284 | 3,592 |
| Contorno da BR-101    | 772,32 | 21,134 | 0,648 | 0,100 | 0,495 | 3,788 |

Tabela 9. Vazões específicas máxima, mínima, média e de referência das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ .

| Estação fluviométrica | Vazões  |         |         |         |         |         |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | qmax    | qmed    | qmin    | q95     | q90     | q50     |
| Fazenda Manaus        | 0,22190 | 0,00505 | 0,00037 | 0,00013 | 0,00026 | 0,00136 |
| Itajú do Colônia      | 0,21969 | 0,00386 | 0,00016 | 0,00001 | 0,00001 | 0,00074 |
| Estiva de Baixo       | 0,15970 | 0,00380 | 0,00010 | 0,00004 | 0,00004 | 0,00059 |
| Cajueiro do Ibicaí    | 0,24959 | 0,00578 | 0,00038 | 0,00007 | 0,00018 | 0,00170 |
| Ferradas              | 0,14707 | 0,00493 | 0,00019 | 0,00001 | 0,00007 | 0,00093 |
| Contorno da BR-101    | 0,19552 | 0,00535 | 0,00016 | 0,00003 | 0,00013 | 0,00096 |

Ao fazer uma média histórica das vazões médias ocorridas na bacia do rio cachoeira percebe-se uma diminuição do volume fluviométrico entre os meses de maio a outubro, podendo ser caracterizado como um período seco. Em contrapartida, ocorre um aumento do volume de vazões no intervalo chuvoso, que compreende os meses de novembro a abril, com um pico maior no mês de dezembro, correspondendo a uma vazão

média de  $28,72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . É importante ressaltar que, apesar de não ocorrer um pico de precipitação especificamente no mês de dezembro, como ocorre com as vazões, este é o mês em que ocorreram as maiores cheias históricas da bacia em estudo, podendo ser um comportamento característico local que esse pico de vazão em dezembro seja causador de eventos extremos de inundação.

Tabela 10. Vazões médias mensais nas estações fluviométricas estudadas.

| Estação fluviométrica | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago  | Set  | Out   | Nov   | Dez   |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Fazenda Manaus        | 5,52  | 6,12  | 7,42  | 5,18  | 2,53  | 2,14  | 1,83  | 1,59 | 1,46 | 2,06  | 6,65  | 10,54 |
| Itajú do Colônia      | 8,22  | 8,15  | 8,55  | 6,27  | 2,16  | 1,99  | 2,04  | 1,40 | 1,12 | 1,81  | 9,89  | 17,06 |
| Estiva de Baixo       | 12,37 | 13,71 | 14,25 | 9,82  | 4,17  | 3,19  | 3,59  | 2,41 | 1,79 | 3,24  | 13,28 | 23,64 |
| Cajueiro do Ibicaí    | 6,94  | 8,15  | 8,53  | 5,39  | 3,95  | 3,58  | 4,36  | 3,47 | 2,40 | 3,39  | 9,16  | 16,88 |
| Ferradas              | 22,83 | 27,72 | 25,96 | 18,18 | 9,74  | 7,96  | 9,79  | 6,47 | 5,15 | 10,69 | 36,46 | 52,34 |
| Contorno da BR-101    | 27,40 | 35,47 | 32,43 | 22,58 | 11,84 | 10,45 | 10,37 | 7,84 | 5,39 | 10,22 | 29,75 | 51,89 |

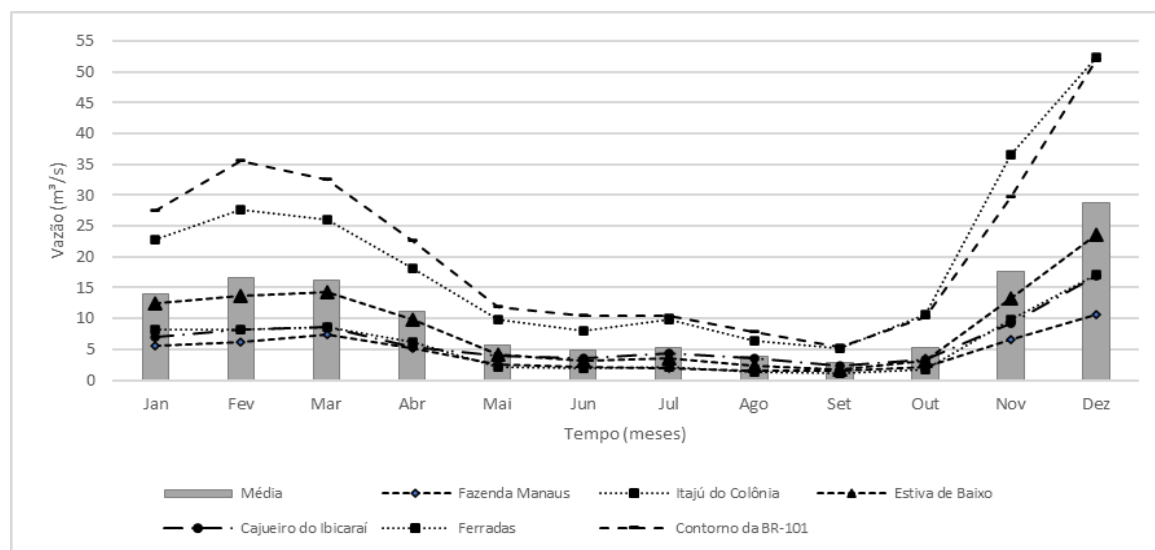


Figura 8. Variabilidade sazonal da média mensal fluviométrica do período de 1970 a 2020 da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

Ao observar a série de dados de vazão referente à variação das médias anuais durante o período analisado observa-se que para as estações Cajueiro do Ibicaí e Ferradas, a maior vazão média anual ocorreu no ano de 1967. Neste ano

ocorreu uma cheia histórica no município de Itabuna, que, segundo registros inundou todo o centro da cidade causando grandes prejuízos ao comércio (Hora e Gomes, 2009). Nas outras estações as maiores médias ocorreram em 1992 na

estação Fazenda Manaus, 1970 na estação Itajú do Colônia, 1985 na estação Estiva de Baixo e 1989 na estação Contorno da BR-101. Destas, a ocorrência em Itajú do Colônia coincide com ocorrência de inundação no município de Itabuna.

Em contrapartida, os anos com as menores médias anuais foram: 1996 nas estações Estiva de Baixo, Ferradas e Contorno da BR-101, todas localizadas ao leste e próximas ao município de Itabuna; 2019 nas estações Itajú do Colônia e Cajueiro do Ibicarai; e 1989 na estação Fazenda Manaus.

A Figura 9 apresenta a avaliação do comportamento da média móvel com período de 5 anos dos valores vazão média anual das estações estudadas. Observa-se que somente as estações Ferradas e Contorno da BR-101 apresentaram a média móvel para as vazões médias maiores que  $40\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , para a estação Ferradas no período entre 1965 e 1970, e para a estação Contorno da BR-101 no período entre 1975 e 1985. Durante todo o período de avaliação, estas estações foram as que apresentaram os maiores valores. Esse comportamento hídrico é esperado, uma vez que, tais estações, se localizam a jusante da BHRC e recebem todo o fluxo.

As demais estações apresentaram a média móvel abaixo de  $20\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , sendo que, as estações Cajueiro do Ibicarai e Itajú do Colônia apresentaram comportamento bem similar, com períodos de altas entre 1975-1985, 1990-1995, 2000 e 2005-2010, e com períodos de baixas entre 1970-1975, 1985-1990, 1995-2000 e 2015-2020. Já as estações Estiva de Baixo e Fazenda Manaus apresentaram os menores valores em relação as outras estações, ficando abaixo de  $10\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  em todo o período. Assim como ocorreu com as vazões médias, as maiores vazões máximas se deram no ano de 1967 nas estações Cajueiro do Ibicarai e Ferradas. Como já mencionado, esse ano foi marcado pela ocorrência de uma cheia de grandes proporções no município de Itabuna. As demais estações apresentaram as maiores vazões máximas nos anos de 1970 na estação Itajú do Colônia, 1981 na estação Contorno da BR-101, 1989 na estação Estiva de Baixo e 1992 na Estação Fazenda Manaus. O maior valor encontrado em toda a série

ocorreu no ano de 1981, na estação Contorno da BR-101. É também nesta estação que estão encontrados os maiores valores médios da vazão máxima anual, visto que, é a estação localizada mais a jusante.

Em relação aos menores valores, estes ocorreram em 4 das 6 estações analisadas no ano de 2019, sendo elas: Itajú do Colônia, Estiva de Baixo, Cajueiro do Ibicarai e Ferradas. As demais estações apresentaram os menores valores nos anos de 2001, na estação Fazenda Manaus, e em 1996 na estação Contorno da BR-101.

A partir da análise da Figura 10, observa-se que apenas a estação Contorno da BR-101 apresentou valores superiores a  $1.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , sendo que os maiores picos ocorreram nos períodos entre 1980-1985 e 1990-1995. No entanto, essa mesma estação apresentou uma quebra brusca no período de 2010-2020, obtendo média móvel inferior a  $500\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ . As estações Ferradas e Estiva de Baixo apresentaram seus maiores valores entre  $500\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  a  $1.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , apresentando picos similares aos que ocorreram na estação Contorno da BR-101, e período de baixa após o ano de 2010. As demais estações obtiveram média móvel abaixo de  $500\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  com períodos de alta similares aos já mencionados, assim como o período de menores valores

Com relação à análise da tendência fluviométrica, os resultados da tendência da vazão média anual obtidos pelo teste de Mann-Kendall (Z) e pelo estimador de inclinação Sen (S) podem ser observados na tabela 11. Todas as estações analisadas apresentaram tendência negativa, ou seja, de decréscimo da vazão média ao longo do período analisado, sendo que somente na estação Fazenda Manaus esse comportamento não foi significativo. Assim como as vazões médias, todas as estações apresentaram tendência negativa para as vazões mínimas (Tabela 12), sendo significativo nas estações Itajú do Colônia, Estiva de Baixo, Cajueiro do Ibicarai e Ferradas. Já para as vazões máximas (Tabela 13), a estação Fazenda Manaus apresentou tendência positiva não significativa, e as outras estações apresentaram tendência negativa, sendo significativa nas estações Itajú do Colônia, Estiva de Baixo e Contorno da BR-101..

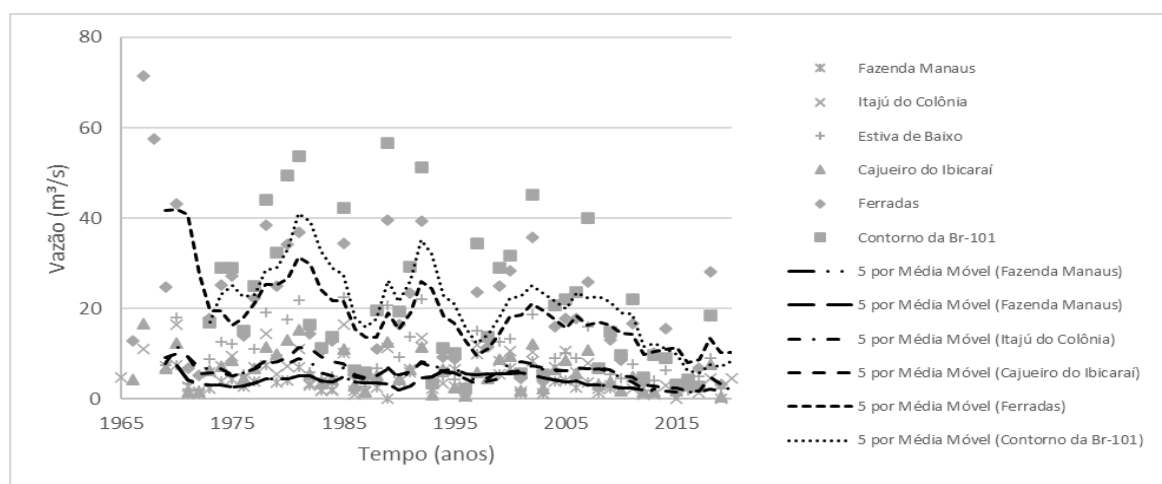


Figura 9. Média móvel de 5 anos de período dos valores de vazão média anual de 1965 a 2020.

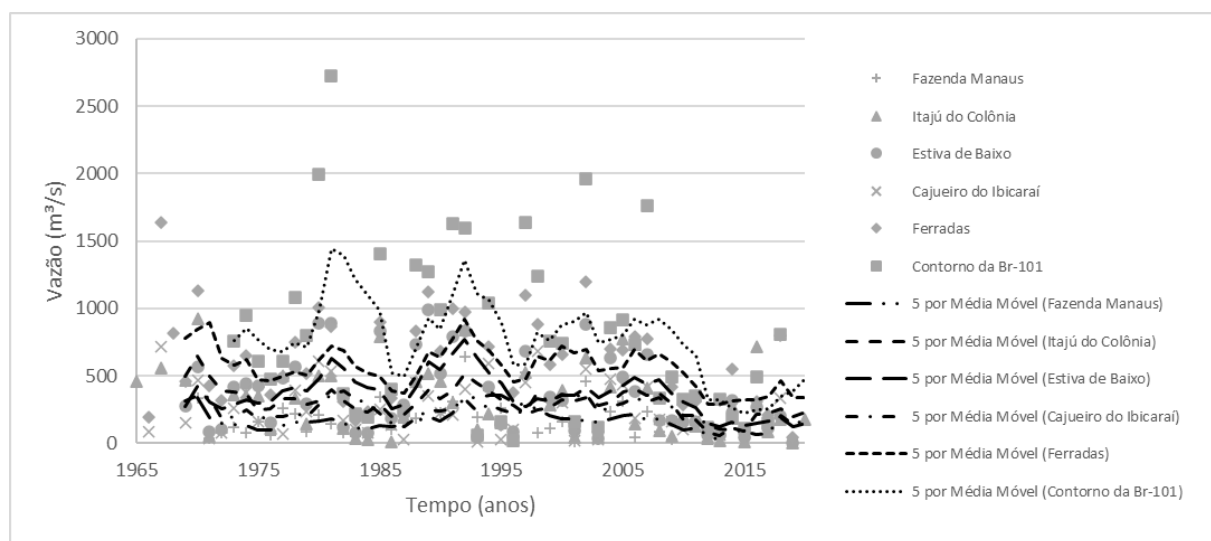


Figura 10. Média móvel de 5 anos de período dos valores de vazão máxima anual de 1965 a 2020

Tabela 11. Tendência da vazão média obtida pelo teste de Mann-Kendall (Z) e no estimador de inclinação Sen (S) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

| Estação fluviométrica | Z      | S      | p-value      | Tendência    |
|-----------------------|--------|--------|--------------|--------------|
| Fazenda Manaus        | -0,008 | -0,003 | 0,954        | Decrescente  |
| Itajú do Colônia      | -0,194 | -0,069 | <b>0,036</b> | Decrescente* |
| Estiva de Baixo       | -0,207 | -0,116 | <b>0,033</b> | Decrescente* |
| Cajueiro do Ibicaí    | -0,255 | -0,099 | <b>0,007</b> | Decrescente* |
| Ferradas              | -0,287 | -0,330 | <b>0,002</b> | Decrescente* |
| Contorno da BR-101    | -0,295 | -0,399 | <b>0,004</b> | Decrescente* |

Em que: Z-teste de Mann Kendall; S-estimador de inclinação Sen; \*-significativo a  $P < 0,05$ .

Tabela 12. Tendência da vazão mínima obtida pelo teste de Mann-Kendall (Z) e no estimador de inclinação Sen (S) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

| Estação fluviométrica | Z      | S      | p-value           | Tendência    |
|-----------------------|--------|--------|-------------------|--------------|
| Fazenda Manaus        | -0,218 | -0,007 | 0,061             | Decrescente  |
| Itajú do Colônia      | -0,296 | -0,006 | <b>0,007</b>      | Decrescente* |
| Estiva de Baixo       | -0,458 | -0,006 | <b>&lt;0,0001</b> | Decrescente* |
| Cajueiro do Ibicaí    | -0,430 | -0,014 | <b>&lt;0,0001</b> | Decrescente* |
| Ferradas              | -0,204 | -0,015 | <b>0,048</b>      | Decrescente* |
| Contorno da BR-101    | -0,169 | -0,012 | 0,133             | Decrescente  |

Em que: Z-teste de Mann Kendall; S-estimador de inclinação Sen; \*-significativo a  $P < 0,05$ .

Tabela 13. Tendência da vazão máxima obtida pelo teste de Mann-Kendall (Z) e no estimador de inclinação Sen (S) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

| Estação fluviométrica | Z      | S       | p-value      | Tendência    |
|-----------------------|--------|---------|--------------|--------------|
| Fazenda Manaus        | 0,039  | 0,488   | 0,735        | Crescente    |
| Itajú do Colônia      | -0,223 | -3,863  | <b>0,020</b> | Decrescente* |
| Estiva de Baixo       | -0,195 | -4,633  | <b>0,046</b> | Decrescente* |
| Cajueiro do Ibicaraí  | -0,096 | -1,569  | 0,332        | Decrescente  |
| Ferradas              | -0,160 | -4,821  | 0,091        | Decrescente  |
| Contorno da BR-101    | -0,220 | -11,411 | <b>0,032</b> | Decrescente* |

Em que: Z-teste de Mann Kendall; S-estimador de inclinação Sen; \*-significativo a  $P < 0,05$ .

A tendência de decréscimo encontrada na maioria das estações pluviométricas pode refletir diretamente na tendência negativa encontrada nas vazões, uma vez que houve um decréscimo ao longo do período analisado em todas as vazões em questão, exceto em uma estação para a vazão máxima. A diminuição da vazão mínima pode ser um fator limitante quando se trata da disponibilidade hídrica disponível para uso, pois, como já fora mencionado, essa vazão caracteriza o volume mínimo de água que permanece no curso hídrico em períodos de estiagem.

A não estacionariedade das séries pode ser explicada devido a fatores climáticos que, podem proporcionar uma variabilidade anual das chuvas e das vazões. Em um estudo desenvolvido por Chaves (1999) no sul da região Nordeste observou-se que o regime de precipitação nesta região está submetido à ocorrência das fases positivas e do fenômeno ENOS. Assim, em anos que ocorreram o fenômeno *El-Niño* observou-se anos com menores vazões e precipitações, como em: 1966, 1972, 1983, 1986, 1987, 1993, 2003, 2015 e 2016. Em contrapartida, em anos que ocorreram *La-Niña*, as vazões foram maiores, como os anos de: 1967, 1989, 1970, 1971, 2007 e 2000, destes destacam-se os anos de 1967, 1971 e 2007 que foram marcados por inundações no município de Itabuna, localizado na bacia em estudo. Além destas, ocorreu a inundação em dezembro de 2021 que, encontrava-se em período de *La-Niña*. Tal fenômeno começou a se desenvolver em outubro de 2021 e tem previsão de que permaneça até a primavera de 2022.

Além de fatores climáticos, como a diminuição do volume precipitado, a forma como se dá o uso e ocupação do solo na área de drenagem da bacia em questão também pode influenciar diretamente na diminuição da disponibilidade hídrica local. Tal fato ocorre, pois, áreas dominadas por monoculturas, geralmente apresentam maior índice de compactação do solo que consequentemente geram uma menor taxa de infiltração de água no solo e tempo de residência da água favorecendo a diminuição das vazões

médias e mínimas (Almeida, 2011). Em um estudo desenvolvido por Calijuri et al. (2015) ficou evidente que a medida em que ocorreu um aumento nos usos antrópicos na bacia hidrográfica, houve uma variação no regime de chuvas influenciando na disponibilidade hídrica local.

Outro fator importante quando se trata da influência do uso e ocupação do solo no comportamento das vazões está relacionado ao escoamento superficial. Isso porque, ao favorecer a compactação do solo, acarreta um maior escoamento superficial com uma chance maior de ocorrer picos de vazões máximas e gerar eventos de inundações. Nesse caso, apesar da bacia do rio Cachoeira ter apresentado tendência negativa para as vazões máximas, é importante ressaltar que tal fato não exclui a sua susceptibilidade a ocorrência de eventos extremos de inundação, pois, os picos de máximas não deixaram de existir, apenas diminuíram suas ocorrências ao longo do tempo.

Portanto, percebe-se tem ocorrido uma diminuição da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Cachoeira ao longo do tempo, que pode estar ocorrendo por fatores além dos climáticos. Sendo assim, torna-se necessário que ocorra um planejamento específico para criar mecanismos de gerenciamento dos recursos hídricos dessa bacia a fim de evitar a perda indiscriminada de água.

Quanto ao comportamento das vazões máximas de cheias, seu tempo de recorrência e as cotas atingidas.

Neste item serão avaliadas as vazões máximas registradas nas estações Ferradas e Contorno da BR-101, caracterizadas como mais próximas e localizadas a montante do centro urbano do município de Itabuna, tendo em vista a definição das vazões máximas de cheias da área de estudo, sendo obtidos os valores de cotas atingidas por cheias com o tempo de retorno de 2 anos, 5 anos, 10 anos, 20 anos, 50 anos e 100 anos (TR2, TR5, TR10, TR20, TR50, TR100).

Nesse contexto, o gráfico da Figura 11 apresenta o comportamento das vazões máximas

para as estações Ferradas e Contorno da BR-101 e evidencia a correlação existente entre elas. Pode ser observado que, os picos de máximas existentes entre 1967 e 2020, período em que ambas possuem dados, são similares nas duas estações. É importante ressaltar que, para cada estação o parâmetro para considerar um pico de máxima é diferente, visto que estão localizadas em locais diferentes: a estação Contorno da BR-101 está mais a jusante, caracterizando assim acumulados fluviais maiores. Sendo assim, está sendo considerado nesse estudo como picos para a estação Ferradas os valores máximos acima de  $1.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e para a estação Contorno da BR-101 os valores máximos acima de  $1.500 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ .

Para estação Ferradas o primeiro pico ocorreu em 1967, correspondente a  $1.639,84 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , sendo que, foi nesse ano em que ocorreu a maior cheia histórica do município de Itabuna. Em seguida, em 1970 a máxima ocorrida foi  $1.133,5 \text{ mm}$ , ano que também ocorreu inundações em

Itabuna, no entanto, com dimensões menores do que a cheia anterior. Em 1989, a vazão máxima foi de  $1.121,37 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , não tendo sido encontrados registros oficiais de inundações nesse ano.

Já para a estação Contorno da BR-101, foram encontrados picos de máximas nos anos de 1967, 1981, 1991, 1992, 1997, 2002 e 2007, sendo:  $2.668,44 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $2.720,54 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $1.625,92 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $1.594,47 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $1.636,48 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $1.964,03 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $1.760,45 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Dentre estes anos, foram identificadas inundações nos anos de 1967, 2002 e 2007. Acredita-se que o valor atribuído ao ano de 1980 pode conter erros oriundos de medição, uma vez que, esse valor seria o suficiente para causar uma inundações maior do que a ocorrida em 1967 em Itabuna, e, no entanto, não foi o que ocorreu. Além disso, não é percebida no gráfico uma elevação da vazão máxima na estação Ferradas para esse mesmo ano, fato que deveria ter ocorrido, visto que as estações se correlacionam.

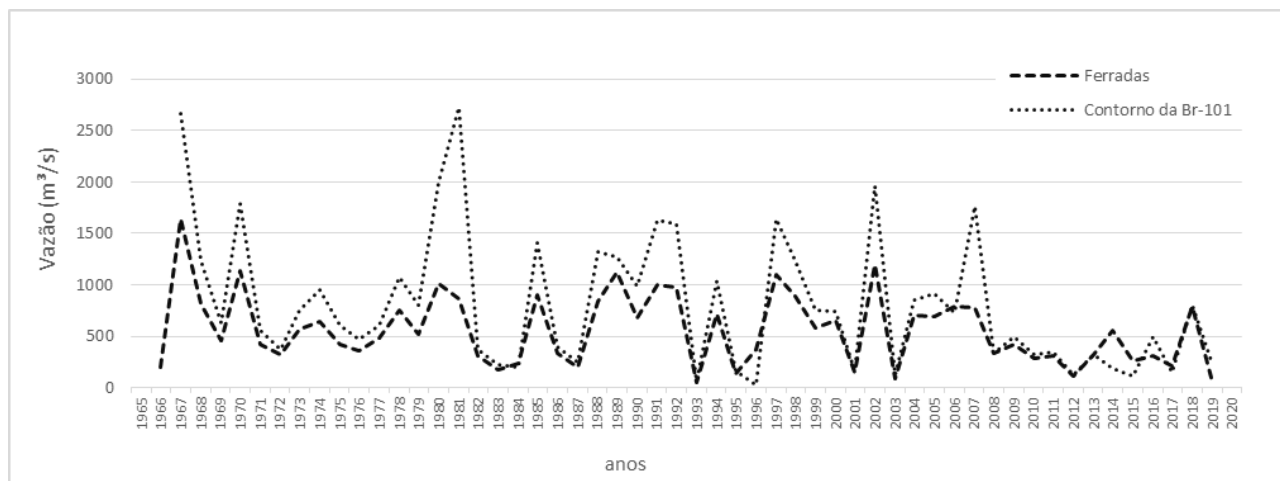


Figura 11. Valores de vazão máxima nas estações Ferradas e Contorno da BR 101.

Para a estação Ferradas tem-se uma série de dados equivalente a 54 observações, compreendendo o período de 1966 a 2019. Tais médias máximas variam de  $47,47 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ocorrido no ano de 2019 a  $1.639,84 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  que ocorreu em 1967, com média aritmética igual a  $566,50 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e desvio padrão de  $348,89 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Já para a estação Contorno da BR-101 foram 53 observações no período de 1967 a 2019, variando de  $23,35 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  no ano de 1996 a  $2.720,54 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  no ano de 1981, no entanto, como já mencionado, o valor encontrado no ano de 1981 pode não refletir a realidade, sendo assim, o maior valor seria em 1980, correspondente a  $1.993,23 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Encontrou-se como média da série o valor correspondente a  $811,54 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , com desvio padrão de  $660,10 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ .

A correlação de vazões entre estas duas estações podem ser vistas no gráfico da Figura 12, onde o seu coeficiente  $R^2$  obteve o valor de 0,77 e o R múltiplo obteve o valor de 0,88, o que denota uma boa correlação entre o registro de picos e máximas nas duas estações. Apesar de serem coeficientes de correlação considerados bons, percebe-se que o valor máximo da estação Contorno da BR-101 para o ano de 1981 destoa de forma considerável dos outros dados, podendo inferir que, caso esse valor fosse ajustado, o coeficiente de correlação pudesse ser ainda mais próximo de 1.

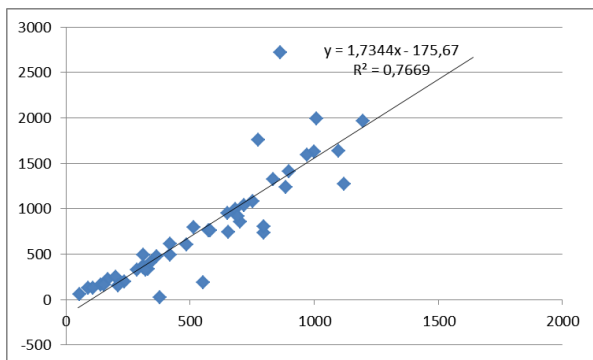


Figura 12. Coeficiente de correlação ( $R^2$ ) entre as vazões máximas das estações Ferradas e Contorno da BR-101.

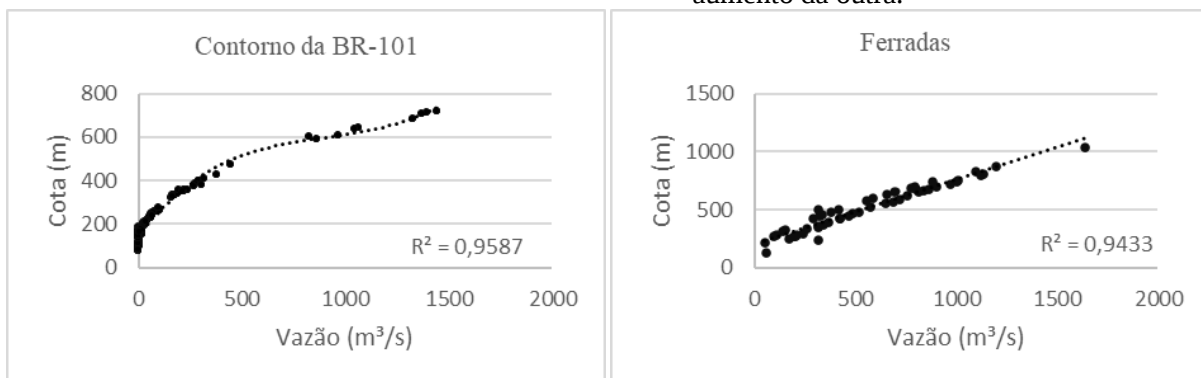


Figura 13. Curva de descarga para as estações Contorno da BR-101 e Ferradas.

Com relação aos tempos de recorrência dos valores das vazões máximas destas duas estações destaca-se o tempo de retorno de 54 anos para ambas as estações, pois, este é o período em que está previsto o retorno da cheia histórica ocorrida no ano de 1967 (Tabela 14). Tal fato é condizente com a realidade, uma vez que, em dezembro de

2021 ocorreu novamente uma cheia de grandes proporções no município de Itabuna. Em tal evento o nível do rio Cachoeira subiu cerca de 10 metros, sendo assim, é coerente a estimativa feita pelo TR54 a partir do método de Gumbel, que prevê uma cota de 10,15m na estação Contorno da BR-101.

Tabela 14. Tempo de recorrência das vazões máximas e das cotas para as estações Ferradas e Contorno da BR-101.

| Tempo de Retorno | Ferradas                             |           | Contorno BR-101                      |           |
|------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|
|                  | Vazão ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) | Cota (cm) | Vazão ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) | Cota (cm) |
| TR 2             | 508,74                               | 483,93    | 670,22                               | 481,23    |
| TR 5             | 817,89                               | 659,19    | 1.219,50                             | 648,69    |
| TR 10            | 1.022,56                             | 775,22    | 1.583,17                             | 759,56    |
| TR 20            | 1.218,90                             | 886,53    | 1.932,01                             | 865,92    |
| TR 50            | 1.473,03                             | 1.030,60  | 2.383,55                             | 1.003,58  |
| TR 54            | 1.639,84                             | 1.042,62  | 2.430,19                             | 1.015,06  |
| TR 100           | 1.663,47                             | 1.138,56  | 2.721,92                             | 1.106,74  |

A Figura 14 apresenta o perfil transversal do rio Cachoeira na estação Contorno da BR-101 contendo as cotas atingidas da vazão média anual e das vazões máximas com seus respectivos tempos de retorno.

A vazão média corresponde a  $21,13 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e atinge uma cota de 172,87 cm na seção transversal do canal, dados estes provenientes de leituras executadas em réguas linimétricas instaladas na estação fluviométrica, e que corresponde a elevação de 50,32m no relevo local

(cota 0 na seção transversal = 48,60m no relevo local). Já as vazões máximas estão representadas de acordo com as cotas estimadas para cada período de retorno, conforme a tabela 14.

Conforme narrado anteriormente, a partir do TR 54, com a vazão de  $2.430,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ocorre o extravasamento do leito do rio e inundação do centro comercial urbano da cidade de Itabuna, localizado a aproximadamente 2.500 m a jusante (Figura 15). Porém, na seção transversal desta estação o extravasamento não ocorre em virtude da maior elevação dos taludes/ombreiras da ponte.

Ressalta-se que, TR's inferiores a 54 anos podem causar inundações na zona urbana do município, no entanto não serão capazes de atingir o centro comercial, atingindo ocupações ribeirinhas como, por exemplo, a comunidade do Bananeira, que possui inundações com tempo de recorrência superior a 3 anos (Figura 16).

Do exposto, os dados de cotas e vazões obtidos na seção transversal da estação contorno da BR 101 servem de marco para alerta da ocorrência de eventos de cheias na cidade de Itabuna em diferentes tempos de ocorrência e com diferentes intensidades e áreas de cobertura.

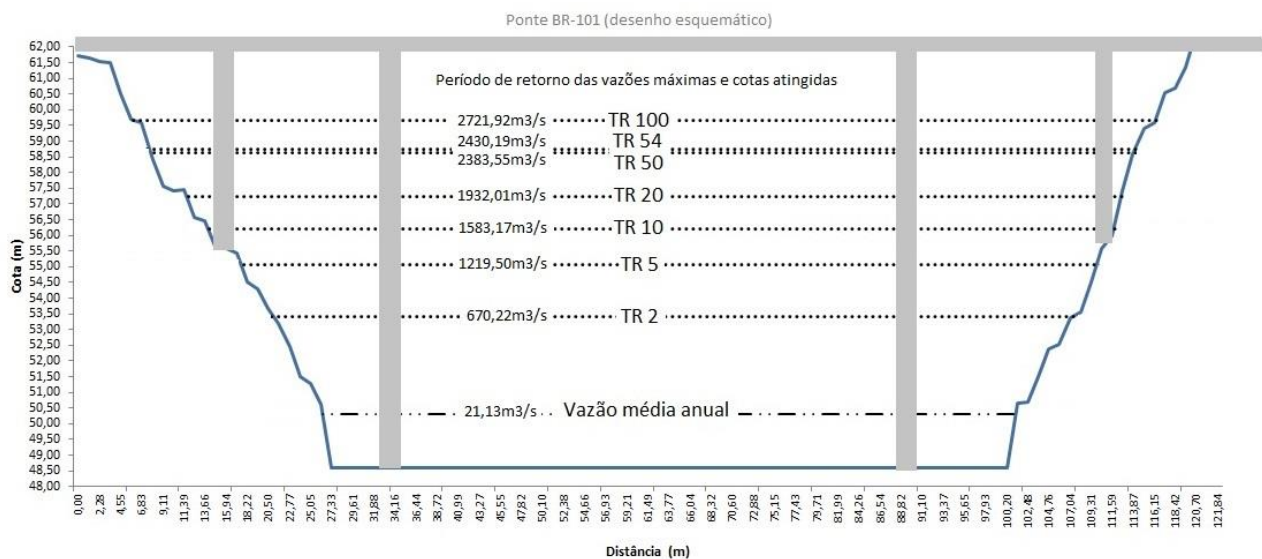


Figura 14. Perfil transversal do rio Cachoeira na estação Contorno da BR-101, com as marcações das cotas atingidas em vazões máximas por cada período de retorno.

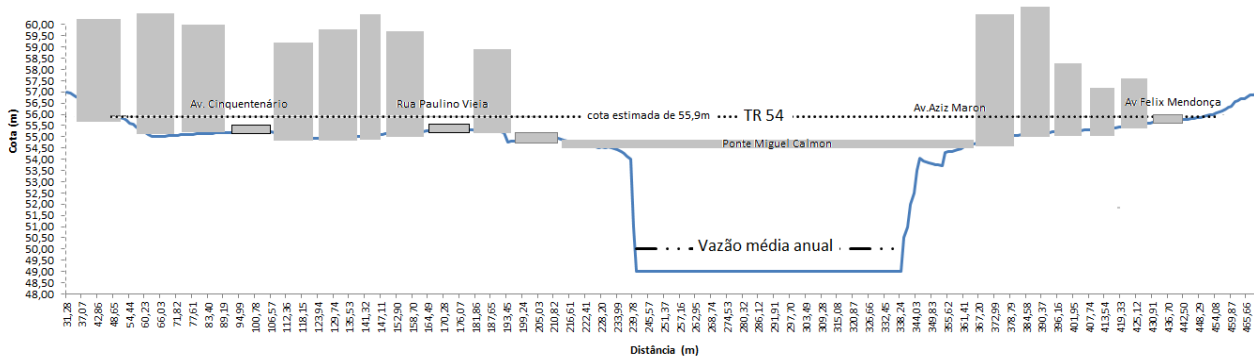


Figura 15. Perfil transversal esquemático do rio Cachoeira 2500m a jusante da estação Contorno da BR-101, apresentando cota de extravasamento do canal na cheia histórica com TR 54 anos, conforme a última ocorrida em dezembro de 2021.

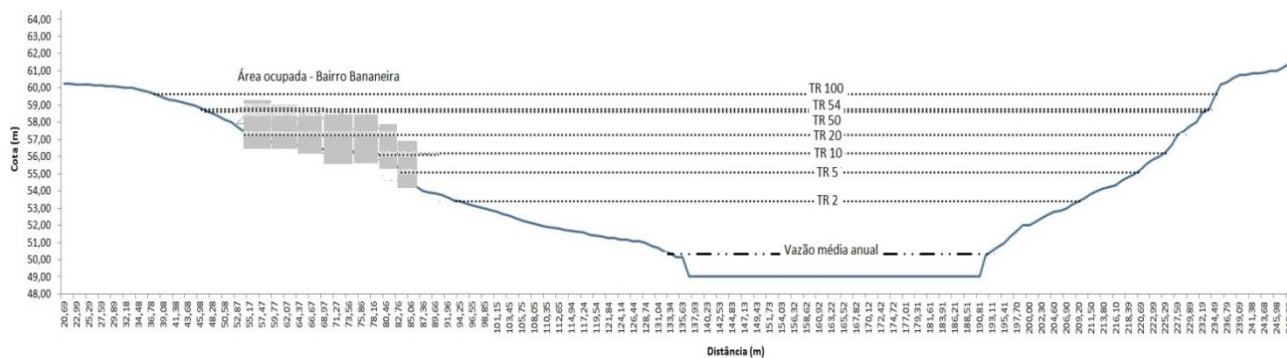


Figura 16. Perfil transversal do rio Cachoeira 60 metros a jusante da estação Contorno da BR-101, apresentando cotas de extravasamento do canal em cheias de diferentes tempos de recorrência.

## Conclusões

Percebeu-se a influência da maritimidade e da continentalidade no comportamento pluviométrico da bacia hidrográfica em estudo. Isso porque, as estações que estão localizadas mais a oeste (continente) possuem períodos secos e chuvosos mais acentuados e exercem menor influência na precipitação média da bacia. Já as estações localizadas mais a leste (litoral) não possuem uma diferença tão evidente entre os períodos secos e chuvosos, sendo as que exercem maior influência na precipitação média da bacia.

Em relação ao comportamento pluviométrico ao longo do tempo, houve uma tendência de decréscimo do volume médio precipitado na bacia. Porém, apesar dessa diminuição dos volumes médios, houve uma tendência de aumento dos volumes máximos. Ou seja, apesar do volume precipitado estar diminuindo ao longo do tempo, não tem deixado de ocorrer os eventos extremos de precipitação, sendo estes causadores de cenários de inundações nos municípios da bacia.

Assim como o comportamento pluviométrico ao longo do tempo, o fluviométrico demonstrou uma tendência de diminuição de seu fluxo médio, mínimo e máximo. Apenas em uma estação foi identificada a ocorrência de tendência positiva para a vazão máxima. Tal fato reflete em uma diminuição da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Cachoeira ao longo do tempo que, pode estar sendo ocasionada por fatores climáticos e devido a forma com uso e ocupação do solo tem ocorrido. Sendo assim, recomenda-se que ocorra um planejamento específico para criar mecanismos de gerenciamento dos recursos hídricos dessa bacia a fim de evitar a perda indiscriminada de água.

Nas estações que estão mais próximas do núcleo urbano do município de Itabuna foram identificados picos de vazões máximas em anos correspondentes aos que ocorreram inundações no município, inclusive a do ano de 1967, reconhecida como a maior cheia enfrentada pela cidade. Ao analisar os tempos recorrência para as vazões máximas e cotas atingidas por essa inundação, verificou-se que ela possui um tempo de recorrência de 54 anos, o que foi confirmado pela inundação ocorrida no município em 2021. Ao plotar o perfil transversal do rio, tem-se que a partir de uma vazão de  $2.430,19 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  ocorre o extravasamento do leito do rio e inundação da parte comercial do município. No entanto, é importante ressaltar que, vazões inferiores podem causar inundações em menores proporções, atingindo as ocupações ribeirinhas.

Dessa forma, os dados obtidos servem de alerta para a ocorrência de eventos de inundação no município de Itabuna em diferentes tempos de recorrência e diferentes intensidades e, chama atenção para a necessidade de estudos que tenham como objetivo identificar o risco envolvido na ocorrência desses eventos de cheias.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, FAPESB.

## Referências

- Almeida, L.Q. de. 2011. Por que as cidades são vulneráveis? Revista da Casa da Geografia de Sobral [online] 13. Disponível: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/25>. Acesso: 13 set. 2022.
- Alves, T.L.B., Azevedo, P.V.de, Farias, A.A. 2015. Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba.

- Revista Brasileira de Geografia Física [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150090>. Acesso: 13 set. 2022.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2001. Hidro 1.4 – Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Disponível: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/sistemas>>. Acesso: 13 set. 2022.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2012. Repositório ANA: Hidrologia básica. Unidade 1. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/handle/ana/66>. Acesso: 13 set. 2022.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2020. Hidroweb – Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Disponível: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso: 13 set. 2022.
- Andrade, M.P., Rocha, L.B., 2005. De Tabocas a Itabuna: um estudo histórico-geográfico. Editus, Ilhéus.
- Arai, F.K., Pereira, S.B., Gonçalves, G.G.G. 2012. Characterization of water availability in a hydrographic basin. Engenharia Agrícola [online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000300018>. Acesso: 13 set. 2022.
- Araújo, C.B.O. 2008. Caracterização física e regionalização de vazão máxima na bacia do rio do Carmo, alto Rio Doce. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- Araújo, K.P.B. 2019. Influência Da Silvicultura De Eucalipto No Comportamento Hidrológico Da Vazão Na Bacia Hidrográfica Do Rio Peruípe – Ba. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, BA, Brasil.
- Barros, M.T.L. de, 2005. Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento, In: Philippi Jr, A. (Ed.). Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Manole, Barueri.
- Bertoni, J.C., Tucci, C.E.M., 2013. Precipitação. In: Tucci, C.E.M. (Ed.). Hidrologia: ciência e aplicação (4a ed.). Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)/Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro), Porto Alegre.
- Braga, C.C., Melo, M.L.D. de, Melo, E.C.S., 1998. Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, DF, Brasil, 10.
- BRASIL, 1997. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 jan. 1997.
- Brubacher, J.P., Oliveira, G.G., Guasselli, L.A. 2020. Preenchimento de falhas em séries temporais de precipitação diária no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-7786352035>. Acesso: 13 set. 2022.
- Calegario, A.T. 2014. Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e comportamento das vazões mínima e média regionalizadas. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Calijuri, M.L., Castro, J.S., Costa, L.S., Assemany, P.P., Alves, J.E.M. 2015. Impact of land use/land cover changes on water quality and hydrological behavior of an agricultural subwatershed. Environmental Earth Science [online] 74. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4550-0>. Acesso: 13 set. 2022.
- CEPLAC. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 1976. Diagnóstico socioeconômico da região cacaueira: Recursos hídricos (v. 5). Rio de Janeiro: Convênio IICA/CEPLAC. Disponível: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/18501>. Acesso: 13 set. 2022.
- Cetra, M., Rondineli, G.R., Souza, U.P. 2011. Compartilhamento de recursos por duas espécies de peixes nectobentônicas de riachos na bacia do rio Cachoeira (BA). Biota Neotropica [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000200010>. Acesso: 13 set. 2022.
- Chaves, R.R. 1999. Variabilidade da Precipitação na Região Sul do Nordeste e Sua Associação com Padrões Atmosféricos. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- Collischon, E. 2009. Inundações em Venâncio Aires/RS: Interações entre as dinâmicas natural e social na formação de riscos socioambientais urbanos. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Correa, M.G.G., Galvani, E. 2017. Variabilidade Espacial e Sazonal da Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica no Rio Piquiri-PR. Revista do Departamento de Geografia USP [online] 34. Disponível:

- <https://doi.org/10.11606/rdg.v34i0.123635>. Acesso: 13 set. 2022.
- Dias, M.C. de A., Saito, S.M., Alvalá, R.C. dos S., Stenner, C., Pinho, G., Nobre, C.A., Fonseca, M.R. de S., Santos, C., Amadeu, P., Lima, C.O., Ribeiro, J., Nascimento, F., Corrêa, C. de O. 2018. International Journal of Disaster Risk Reduction [online]. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.002>. Acesso: 27 fev. 2023.
- Engelbrecht, B.Z., Gonçalves, R.D., Teramoto, E.H., Chang, H.K. 2019. Disponibilidade hídrica e balanço hídrico da bacia do rio Cachoeira na região de Itabuna/BA. Geociências [online] 38. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i3.13806>. Acesso: 13 set. 2022.
- Farias, A. 2019. Inundações Urbanas em Francisco Beltrão/PR: riscos e vulnerabilidades socioambientais. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.
- Farias, A., Mendonça, F. 2022. Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. Sociedade e Natureza [online] 34. Disponível: <https://www.scielo.br/j/sn/a/vnWCPJvXm86C3hXLzwwG93B/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 27 fev. 2023.
- Genz, F., Tucci, C.E.M. 1995. Infiltração em Superfícies Urbanas. Revista Brasileira de Engenharia, Cadernos de Recursos Hídricos, 13, 105- 124.
- Gomes, H.B. 2012. Distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro: climatologia e modelagem numérica. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Gomes, A.C. dos S., Costa, M. da S., Coutinho, M.D.L., Vale, R.S. do, Santos, M.S. dos, Silva, J.T. da, Fitzjarrald, D.R. 2015. Análise estatística das tendências de elevação nas séries de temperatura média máxima na Amazônia central: estudo de caso para a região do oeste do Pará. Revista Brasileira de Climatologia [online] 17. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.42898>. Acesso: 13 set. 2022.
- Groppi, J.D. 2005. Estudo de tendências nas séries temporais de qualidade de água de rios do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
- Hora, S.B. da. 2009. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil.
- Hora, S.B., Gomes, R.L. 2009. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. Sociedade & Natureza [online] 21. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005>. Acesso: 13 set. 2022.
- INEMA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2020. CBH Leste. Disponível: <<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-leste/>>. Acesso: 13 set. 2022.
- Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods (4a ed.). Charles Griffin, Londres.
- Kendall, M.G., Gibbons, J.D., 1990. Rank Correlation Methods (5a ed.). Charles Griffin, Londres.
- Latuf, M.O. 2008. Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e Ribeirão entre Ribeiros. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Leopold, L.B. 1968. Hydrology for urban planning: a guide book on the hydrologic effects on urban land use. Geological Survey [online] 554. Disponível: <https://pubs.usgs.gov/circ/1968/0554/report.pdf>. Acesso: 13 set. 2022.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. Econometrica [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.2307/1907187>. Acesso: 13 set. 2022.
- Marciano, A.G., Barbosa, A.A., Silva, A.P.M. 2018. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. Revista Ambiente e Água [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1906>. Acesso: 13 set. 2022.
- Mello, Y.R., Kohls, W., Oliveira, T.M.N. 2017. Uso e diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. Boletim de Geografia [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30893>. Acesso: 13 set. 2022.
- Mendes, T.A., Sousa, M.B. de, Pereira, S. A. dos, Santos, K. A. dos, Formiga, K.T.M. 2022. Uso do modelo HEC-RAS com base em informações de LiDAR para avaliação de inundações urbanas. Engenharia Sanitária e Ambiental [online] 27. Disponível: <https://www.scielo.br/j/esa/a/MZ8cgVwwTYR>

- [6sFB8QTJTgLC/?format=pdf&lang=pt.](https://doi.org/10.1590/0102-7786344056)  
Acesso: 27 fev. 2023.
- Mendes, A.T., Zulowski Junior, J.C. 2019. Caracterização do Regime Pluviométrico do Município de Araguaína-TO. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 34. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-7786344056>. Acesso: 13 set. 2022.
- Monteiro, C.A.F., 1991. *Clima e Excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico*. Editora da UFSC, Florianópolis.
- Natividade, U.A., Garcia, S.R., Torres, R.R. 2017. Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-7786324008>. Acesso: 13 set. 2022.
- Oliveira, L.F.C.O., Fioreza, A.P., Medeiros, A.M.M., Silva, M.A.S. 2010. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001100008>. Acesso: 13 set. 2022.
- QGIS Development Team, 2022. QGIS - Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível: [https://qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html). Acesso: 13 set. 2022.
- Rebouças, A.C., Braga, B., Tundisi, J.G., 1999. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Ed. Escrituras, São Paulo.
- Rocha, P.C., Santos, A.A. dos. 2018. Hydrological analysis in water basin. *Mercator* [online] 17. Disponível: <https://doi.org/10.4215/rm2018.e17025>. Acesso: 13 set. 2022.
- Rodriguez, R.D.G. 2008. Proposta conceitual para a regionalização de vazões. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Sansigolo, C.A. 2008. Distribuição de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 23. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000300009>. Acesso: 13 set. 2022.
- Santos Júnior, V.J. dos, Santos, C.R. 2013. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. *Estação Científica (UNIFAP)* [online] 3. Disponível: <https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao/article/view/734>. Acesso: 13 set. 2022.
- Santos, A.H.M.D., Aragão, M.R.D.S., Correia, M.D.F., Araújo, H.A.D., Silva, A.B. 2012. Distúrbio ondulatório de leste e seus impactos na cidade de Salvador. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 27. Disponível: <https://www.scielo.br/rbmet/a/4hHdBH35H4cNKzZjDLzxsXL/?lang=pt>. Acesso: 27 fev. 2023.
- Santos, A.P.P. dos, Aragão, M.R. da S., Correia, M. de F., Santos, S.R.Q. dos, Silva, F.D. dos S., Araújo, H.A. de. 2016. Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 31. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150048>. Acesso: 13 set. 2022.
- Searcy, J.K., Hardison, C.H. 1960. Double-mass curves. *Manual of hydrology: Part 1. General surface-water techniques*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1541-B. USGS, Washington, DC.
- Silva Júnior, O.B., Bueno, E.O., Tucci, C.E.M., Castro, M.N.R. 2003. Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [online] 81. Disponível: <http://hdl.handle.net/10183/231519>. Acesso: 13 set. 2022.
- Silva Junior, R.S., Gama, M.C.C. da, Mariano, G.L., Oliveira Junior, J.F. de, Silva, E.H. de L., Silva, L.S. de O., Cardoso, K.R.A. 2022. Avaliação de eventos extremos de precipitação, associados a desastres naturais. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254791/42825>. Acesso: 27 fev. 2023.
- Silva, T.L. do V., Lopes, Z., Ferreira, R., Guedes, R., Pereira, R., Prestrelo, F., Ferreira, A., Gomes, J., Wanderley, C., Santos, E., Oliveira, P., Gomes, V., Dias, H. 2023. Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 16. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/255990/43383>. Acesso: 27 fev. 2023.
- Silveira, W.N., Kobiyama, M., Goerl, R.F., Brandenburg, B., 2009. *História das inundações em Joinville (1851-2008)*. Organic Trading, Curitiba.
- Sousa, H.T., Pruski, F.F., Bof, L.H.N., Cecon, P.R., Sousa, J.R.C., 2009. *SisCAH – Sistema Computacional para Análise Hidrológica*.

- Versão 1.0. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos, 2009.
- Souza, N.S., Souza, W.J., Cardoso, J.S. 2017. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. Engenharia Sanitária e Ambiental [online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017155279>. Acesso: 13 set. 2022.
- Souza, T.S. de, Nascimento, P. dos S. 2020. Análise da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica na região hidrográfica do Recôncavo Sul (BA). Revista Brasileira de Climatologia [online] 27. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68353>. Acesso: 13 set. 2022.
- Tucci, C.E.M., 2002. Hidrologia: Ciência e Aplicação (2a ed.). UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- Tucci, C.E.M., 2007. Inundações urbanas (1a ed.). ABRH/RHAMA, Porto Alegre.
- Tucci, C.E.M, 2010. Urbanização e recursos hídricos. In: Bicudo, C.E. de M., Tundisi, J.G., Scheuenstuhl, M.C.B. (Ed.). Águas do Brasil: análises estratégicas. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Uliana, E.M., Souza, L.C.S., Silva, D.D., Souza, A.P., Almeida, F.T., Araújo, A.A.B. 2016. Regionalização de vazões para o médio e alto Rio Teles Pires –MT. Revista de Ciências Agrárias [online] 59. Disponível: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2240>. Acesso: 13 set. 2022.
- Wanderley, L.S. de A., Nóbrega, R.S., Moreira, A.B., Anjos, R.S. dos, Almeida, C.A.P. de. P. de. 2018. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. Revista Brasileira de Climatologia [online] 22. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.56034>. Acesso: 13 set. 2022.