



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCO E DESASTRE NA
AMAZÔNIA

ERLEN ASSIS DE ALMEIDA

**EFEITOS DO DESMATAMENTO NO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA
SUB-BACIA DA UHE DE ESTREITO**

BELÉM - PA
2024

ERLEN ASSIS DE ALMEIDA

**EFEITOS DO DESMATAMENTO NO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA
SUB-BACIA DA UHE DE ESTREITO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação – (Stricto Sensu) Mestrado Profissional em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Ciências Ambientais

Linha de pesquisa: Minimização de riscos e mitigação de Desastres Naturais na Amazônia

Orientador: Prof. Dr. João de Athaydes Silva Junior

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Augusto Altieri dos Santos

BELÉM -PA
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A447e Almeida, Erlen Assis de.
Efeitos do desmatamento no comportamento hidrológico da sub- bacia da UHE de Estreito / Erlen Assis de Almeida. — 2024.
96 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. João de Athaydes Silva Junior Coorientador(a): Prof. Dr. Flávio Augusto Altieri dos Santos Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, , , Belém, 2024.

1. Precipitação. 2. Desmatamento. 3. Vazão. 4. Variáveis hidrometeorológicos. I. Título.

CDD 551.57728115

ERLEN ASSIS DE ALMEIDA

EFEITOS DO DESMATAMENTO NO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA SUB-BACIA DA UHE DE ESTREITO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação – (Stricto Sensu) Mestrado Profissional em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Ciências Ambientais
Linha de pesquisa: Minimização de riscos e mitigação de Desastres Naturais na Amazônia

Data da Aprovação: 23/02/2024
Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente



JOAO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

Data: 18/04/2024 14:16:28-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. João de Athaydes Silva Junior-Orientador
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



FLAVIO AUGUSTO ALTIERI DOS SANTOS

Data: 22/04/2024 14:23:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Flávio Augusto Altieri dos Santos-Coorientador
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



GIORDANI RAFAEL CONCEICAO SODRE

Data: 18/04/2024 14:27:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Giordani Rafael Conceição Sodrê-Membro Interno
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



EDSON JOSE PAULINO DA ROCHA

Data: 22/04/2024 12:02:33-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Edson José Paulino da Rocha-Membro Externo
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



JOAO BATISTA MIRANDA RIBEIRO

Data: 22/04/2024 15:59:24-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. João Batista Miranda Ribeiro-Membro interno
Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

A Deus, gratidão por iluminar o meu caminho.

Aos meus pais, Erlene do Socorro e Antonio Charles, aos meus avós Maria Dasdores e Oziel Almeida, por contribuírem na minha criação e familiares pelo incentivo e por acreditar nos meus sonhos.

Ao meu orientador, João de Athaydes Silva Junior, pelo incentivo.

Ao meu Co-orientador Flávio Augusto Altieri dos Santos pelas contribuições e compartilhamento de informações.

Ao professor Edson José Paulino da Rocha pela sua disponibilidade e auxílio.

Aos professores da Banca de Qualificação com suas contribuições para a continuação da pesquisa.

Aos professores do programa PPGRD por compartilhar conhecimento.

À minha instituição de trabalho, o CENSIPAM, onde atuo como Bolsista e pesquisadora, e tive o prazer desenvolver minha pesquisa.

RESUMO

O ciclo hidrológico da água caracteriza-se por um fenômeno natural de circulação fechada entre a superfície terrestre e a atmosfera, em seu caminho rumo à superfície, a precipitação passa, por meio de condições atmosféricas, descendo sobre a superfície com uma cobertura vegetal, onde está retém parte dessa precipitação para as suas atividades morfofisiológicas. Pesquisadores concluem que a diminuição da floresta em uma bacia hidrográfica pode provocar um aumento no escoamento superficial, promovendo um incremento nas vazões máximas, pois a retirada da vegetação original menos interceptação da água teremos. Sendo assim, o monitoramento da área de estudo é essencial para prevenir e minimizar os impactos de possíveis desastres, como inundações, deslizamentos de terra, contaminação da água e secas. O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica ao longo de 37 anos na SB-ESTREITO (Sub-bacia do Estreito), ela é parte da bacia do rio Tocantins até a usina hidrelétrica de Estreito, com uma área de aproximadamente 285.167,06 km², abrange principalmente os Estado do Tocantins, Goiás e Maranhão, inserida totalmente no bioma cerrado. Também foi considerado para essa pesquisa o período de 2012-2022. Foram aplicados os métodos de tendências nas variáveis precipitação, vazão, Resposta Hidrológica (RH) e Taxa de Incremento de deflúvio (TID), o intuito foi verificar se elas estão apresentando aumento ou decréscimo. Posteriormente, as variáveis foram relacionadas com o desmatamento acumulado. A RH e o TID são divulgadas por cientistas a estar associados à dinâmica de desflorestamento, indicando que a remoção da floresta gera uma resposta rápida nos valores de escoamento superficial e lateral devido à diminuição dos processos de interceptação e de infiltração após a remoção da floresta. Ao todo a SB-Estreito perdeu aproximadamente 26,6% (49.872 km²) de sua vegetação original presente em 1985. Os resultados indicam tendência para o período de 1985-2022 de decréscimo para os dados de precipitação (o que pode comprometer o potencial hídrico da bacia), vazão e TID, enquanto para os dados de RH não apresentou tendências. Os valores de TID e vazão para os 37 anos mostrou-se uma resposta mais lenta no escoamento da água. Outra situação que os valores de desmatamento só foram atingir mais de 20% de perda de vegetação original na bacia em 2022, até 2021 a perda era em torno de aproximadamente 17%, incluindo nas APP a remoção da floresta foram e torno de 17% de cobertura original (1985-2022). A SB-estreito, tem como característica principal a construção vários complexos hidrelétricos, transformando o rio numa sucessão de represas. Com o intuito de observar se a construção de Estreito apresentou algum impacto, selecionou-se a década de 2012-2022, 2012 é marcado pela inauguração da usina de Estreito e pelo lançamento do novo código florestal.

Nenhuma variável hidrometeorológica apresentou tendência para o período de 2012-2022, porém, a RH mostrou-se crescente a partir de 2018 e acompanhando o desmatamento, tendo seu maior valor em 2022 (ano que a supressão atinge mais de 20%, alguns pesquisadores concluem que a diminuição da vegetação, aumenta o escoamento da água desde que a área desmatada seja superior a 20%), ou seja, nesse ano em específico tivemos mais água se transformando em vazão. O TID predominou um comportamento padrão, para última década, uma taxa de escoamento mais controlada, talvez relacionada com a inauguração da usina a partir de 2012. Mediante aos dados levantados, conclui-se que as variáveis vazão e TID não apresentaram um escoamento mais rápido para o período de 37 anos, e para a última década (2012-2022) nenhuma variável hidrometeorológica apresentou tendências. Além do desmatamento, outros fatores parecem influenciar o comportamento hidrológico da bacia em questão, como as usinas hidrelétricas (UHEs), que estão alterando o fluxo natural do rio e modificando diretamente o comportamento da vazão.

Palavras-chave: precipitação; desmatamento; variáveis hidrometeorológicas; vazão.

ABSTRACT

The hydrological cycle of water is characterized by a natural phenomenon of closed circulation between the earth's surface and the atmosphere. On its way towards the surface, precipitation passes, through atmospheric conditions, descending onto the surface with a vegetation cover that retains part of this precipitation for its morphophysiological activities. Researchers conclude that the reduction of forest in a river basin can cause an increase in surface runoff, promoting an increase in maximum flows, as the removal of the original vegetation will result in less water interception. Therefore, monitoring the study area is essential to prevent and minimize the impacts of possible disasters, such as floods, landslides, water contamination and droughts. The main objective of this work was to evaluate the impact of deforestation on the dynamics of the hydrological response over 37 years in the SB-ESTREITO (Estreito Sub-basin), which is part of the Tocantins river basin up to the Estreito hydroelectric plant, with an area of approximately 285,167.06 km², mainly covering the States of Tocantins, Goiás and Maranhão, entirely inserted in the cerrado biome. The period 2012–2022 was also considered for this research. Trend methods were applied to the variables' precipitation, flow, Hydrological Response (RH) and Outflow Increment Rate (TID). The aim was to check whether they were showing an increase or decrease. Subsequently, the variables were related to accumulated deforestation. RH and TID are reported by scientists to be associated with deforestation dynamics, indicating that forest removal generates a rapid response in surface and lateral runoff values due to the decrease in interception and infiltration processes after forest removal. In total, SB-Estreito lost approximately 26.6% (49,872 km²) of its original vegetation present in 1985. The results indicate a tendency for the period 1985–2022 to decrease precipitation data (which could compromise the water potential of the basin), flow and TID, while for RH data there were no trends. The TID and flow values for the 37 years showed a slower response in water flow. Another situation is that deforestation values only reached more than 20% of loss of original vegetation in the basin in 2022; by 2021, the loss was around approximately 17%, and in APPs the removal of forest was around 17% of the original coverage (1985-2022). The main characteristic of SB-Estreito is the construction of several hydroelectric complexes, transforming the river into a succession of dams. In order to observe whether the construction of Estreito had any impact, the years 2012–2022 were selected. 2012 is marked by the inauguration of the Estreito plant and the launch of the new forestry code. No hydrometeorological variable showed a trend for the period 2012–2022, however, RH showed an increase from 2018 onwards and accompanying deforestation, having its highest value in

2022 (the year in which suppression reaches more than 20%; some researchers conclude that the decrease in vegetation increases water runoff as long as the deforested area is greater than 20%); that is, in this specific year we had more water turning into flow. The TID predominated as a standard behavior, for the last decade, a more controlled flow rate, perhaps related to the inauguration of the plant from 2012 onwards. Based on the data collected, it is concluded that the flow and TID variables did not present a faster flow. For the period of 37 years, and for the last decade (2012-2022) no hydrometeorological variable showed trends. In addition to deforestation, other factors seem to influence the hydrological behavior of the basin in question, such as hydroelectric plants (UHEs), which are altering the natural flow of the river and directly modifying the flow behavior.

Key words: precipitation; hydrometeorological variables; flow; deforestation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bacia hidrográfica hipotética mostrando linhas de drenagem de primeira e segunda ordem em suas cabeceiras e seus afluentes: 1 -Linhas de drenagem de primeira ordem; 2 -Linhas de drenagem de segunda ordem	14
Figura 2 - Tipos de chuva	17
Figura 3 - Taxa de incremento de deflúvio em função da precipitação (esquerda), em função do desmatamento (direita)	20
Figura 4 - Ciclo Hidrológico	21
Figura 5 - Relação entre a interceptação-intensidade da precipitação.....	25
Figura 6 - Relação entre a interceptação-intensidade da precipitação.....	28
Figura 7 - Mapa de localização da SB-Estreito	37
Figura 8 - localização da SB e limites da Amazônia Legal.....	38
Figura 9 - Limites do bioma na área de estudo	39
Figura 10 - Imagem das fitofisionomias do bioma cerrado.....	40
Figura 11 - Imagem das características da bacia do Estreito.....	41
Figura 12 - Distribuição mensal da precipitação mínima, média e máxima, para a SB ESTREITO na determinação do ano hidrológico	43
Figura 13 - Distribuição mensal da Vazão mínima, média e máxima, para a SB ESTREITO na determinação do ano hidrológico	44
Figura 14 - Processo de classificação dos dados do Mapbiomas	48
Figura 15 - Processo de classificação dos dados do MAPBIOMAS	49
Figura 16 - Processo de classificação dos dados do MAPBIOMAS	49
Figura 17 - Mapa de uso e cobertura do solo	52
Figura 18 - Gráfico das Áreas de Florestas x Agropecuária	53
Figura 19 - Antes (1985) e depois (2022): A mudança da cobertura do solo na SB-ESTREITO	54
Figura 20 - Gráfico do desmatamento acumulado x Taxa anual	55

Figura 21 - Cobertura da terra na parte norte da SB-ESTREITO, referente ao ano de 2010 e 2022	56
Figura 22 - Antes (1985) e depois (2022) das áreas de florestas nas APP	57
Figura 23 - Série histórica das áreas de floresta x agropecuária, nas APP da SB-ESTREITO	58
Figura 24 - Série histórica do desmatamento acumulado x taxa anual de desmatamento, nas APP da SB-ESTREITO	58
Figura 25 - Série histórica das áreas de floresta x agropecuária, nas APP da SB-ESTREITO (2012-2022)	59
Figura 26 - Dados de Altitude, gerado com base nas imagens do SRTM	60
Figura 27 - Dados de Solos, gerados com base nas classificações e informações da EMBRAPA	61
Figura 28–Acúmulo histórica anual da precipitação, referente ao período de 1985 a 2022	63
Figura 29 – Precipitação total anual normalizada para a SB-ESTREITO, correspondente ao período de 1985 a 2022, considerado o ano hidrológico de cada ano	65
Figura 30 – Dinâmica da precipitação anual com o acúmulo de desmatamento anual na bacia como um todo	66
Figura 31 – Dinâmica da precipitação anual com o acúmulo de desmatamento anual nas APP	66
Figura 32– Dinâmica da precipitação anual com o acúmulo de desmatamento para o período de 2012 a 2022.....	66
Figura 33 – Dados anuais da precipitação, referente ao período de 1985 a 2022	69
Figura 34–Vazão total anual normalizada para correspondente período de 1985 a 2022	70
Figura 35 – Vazão total anual x acúmulo anual de desmatamento	71
Figura 36 – Vazão total anual x acúmulo anual de desmatamento (2012-2022)	71
Figura 37 – Variações anual da TID	73
Figura 38 – Vazão total anual normalizada X TID Normalizada, para o período de 1985 a 2022	74
Figura 39 – TID X Vazão anual, periodo de 1985 a 2022	75

Figura 40 – TID X acúmulo anual de desmatamento, periodo de 2012 a 2022	75
Figura 41 – Variações da resposta hidrológica (1985-2022)	78
Figura 42 – Variações da Resposta hidrológica normalizada (1985-2022)	78
Figura 43 – Variações da Resposta hidrológica x o acúmulo anual de desmatamento, de 1985 a 2022	86
Figura 44 – Variações do acúmulo anual de desmatamento x Rh (2012 a 2022)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste de man-kendall para análise de tendências	47
Tabela 2 – resumo dos dados estatístico de precipitação, foram considerados o acúmulo anual para o período de 1985 a 2022	62
Tabela 4 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann -Kendall da precipitação total anual da para o período de 1985 a 2022	63
Tabela 5 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da precipitação total anual da para o período de 2012 a 2022	67
Tabela 6 – Resumo dos dados estatístico mensal/anual de vazão, foram considerados o acúmulo anual do ano hidrológico para o período de 1985 a 2022	68
Tabela 7 – Resumo dos dados estatístico anual de vazão, foram considerados o acúmulo anual do ano hidrológico para o período de 1985 a 2022	68
Tabela 8 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da média anual de vazão para o período de 1985 a 2022	69
Tabela 9 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da média anual de vazão para o período de 2012 a 2023.....	72
Tabela 10 – Resultado da análise estatística descritiva da TID para a SB-ESTREITO, correspondente ao período de 1985 a 2022	72
Tabela 11 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da TID para o período de 1985 a 2023	73
Tabela 12 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da TID para o período de 2012 a 2022	76
Tabela 13 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da TID para o período de 2012 a 2022	77
Tabela 14 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da Rh para o período de 1985 a 2022	79
Tabela 15 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da Rh para o período de 2012 a 2022	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo Geral	17
1.2 Objetivo Específicos	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Bacias hidrográficas	18
2.2 Importância da água e do manejo de bacias hidrográficas	20
2.3 Parâmetros Hidrometeorológico:.....	22
2.4 Ciclo hidrológico, Balanço Hídrico em Bacias Hidrográficas	25
2.5 Influência da Floresta no Ciclo Hidrológico	28
2.6 Ocupação da Amazônia Legal.....	33
2.7 Processo histórico do desflorestamento no Bioma Cerrado	36
2.8 Impactos ambientais causados pelas construções de usinas hidrelétricas.....	39
3 MATERIAL E METODO.....	41
3.1 Area de estudo.....	41
3.2 Os dados hidrológicos.....	46
3.3 Analise estatística dos dados.....	50
3.4 Dados de Uso e cobertura do Solo (MAPBIOMAS).....	52
4 RESULTADOS	55
4.1 Desflorestamento	56
4.2 Características do relevo e solo	64
4.3 Precipitação	66
4.4 Vazão	72
4.5 Taxa de incremento de Deflúvio (TID)	77
4.6 Resposta Hidrológica(Rh).....	82
5 CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

A supressão da cobertura vegetal pode ocasionar alteração nos processos hidrológicos que ocorrem no interior de uma bacia hidrográfica, por exemplo, a redução da porosidade do solo, diminuindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial, o que promove o incremento nas vazões máximas e redução nas mínimas, em um ciclo sazonal. Igualmente, o desmatamento pode influenciar na evapotranspiração, causando o aumento na vazão de longa duração (Costa; Botta; Cardille, 2003).

Uma das características marcantes da hidrografia brasileira é a quantidade e extensão das bacias hidrográficas que confere uma grande importância para o país. À água doce, por exemplo, é utilizada para o consumo do ser humano, e estão diretamente ligados com importantes atividades econômicas como agricultura e a geração de energia.

Em um país como Brasil, existe fontes de energia renováveis muito exploradas como as fontes hídrica (energia da água dos rios), solar (energia do sol), eólica (energia do vento), etc. A hidroeletricidade é um grande destaque no país, pois grande parte da eletricidade vem de energia hídrica, essa energia é resultante da força da água, um recurso de fácil disponibilidade e que permite sua reutilização a jusante.

Atualmente no país, a energia elétrica é obtida pelas forças das águas dos rios, atualmente a “crise” energética tem aumentado o entendimento público da importância da chuva, já que grande parte da geração de energia elétrica se dá por hidrelétricas (Fearnside, 2003; Santos, 2010).

Apesar da energia renovável, ser uma fonte de meio econômico e promissor, a implantação de uma usina ocasiona alterações no meio físico, sociocultural e econômico que nenhuma indenização ou remanejamento reconstituirá. O desenvolvimento de qualquer hidrelétrica deve cuidar para que os impactos ambientais provocados sejam mitigados.

O uso deste método como fonte de energia, pode trazer impactos ambientais, como a perda de vegetação natural. Uma área escassa de vegetação possui menores valores de interceptação e de evapotranspiração. Na ocorrência de chuvas fortes, os solos encharcam e não há possibilidade de armazenamento adicional, ocasionando maiores volumes escoados e picos de vazão, atingido rapidamente. (Linhares, 2006).

A bacia do Tocantins-Araguaia é considerada a segunda maior em produção de energia elétrica do Brasil, nela foram construídos vários complexos hidrelétricos, transformando o rio numa sucessão de represas, uma dessas represas consiste na Usina Hidrelétrica de Estreito (UHE).

Para a pesquisa, foi utilizada a localização da usina de ESTREITO (UHE Estreito) como exultório, ou seja, onde se dá todo o escoamento superficial gerando no interior uma bacia hidrográfica e criou-se a Sub-bacia do Estreito (SB-Estreito), onde foi delimitada com base nos dados e interesse do autor. A intenção é gerar várias sub-bacias a partir da localização das usinas, dentro da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia e fazer comparações entre elas, todavia para esse trabalho será apresentado os dados apenas para SB-ESTREITO.

Além da Usina de Estreito, ao decorrer do rio Tocantins, tem-se a presença de outras usinas como a do Lageado, Peixe Angical, São salvador, Cana Brava e Serra da Mesa, nota-se que o local é de grande potencial hídrico. Situada nos Estados de Goiás, Tocantins, Maranhão e parte do Distrito Federal, a SB-ESTREITO está inserida totalmente no bioma cerrado. O regime hidrológico da SB-Estreito tem forte influência deste bioma, que atuam no controle do balanço superficial de água, assim alterações da composição florestal da sub-bacia podem impactar direto no seu regime hidrológico.

A precipitação pluvial ou chuva, exerce um papel importante para o estudo de elementos climáticos, sendo importante para a hidrologia por sua capacidade para produzir escoamento superficial contribuindo para a vazão do rio, por ser de fácil medida e por ser a forma mais comum nas condições brasileiras (Siqueira, 2012). A chuva é de extrema importância para o local de estudo, pois a diminuição ou aumento dessa variável, afeta os lençóis freáticos, afinal os rios são usados para a geração de energia elétrica.

Os fatores oceânicos e climáticos associados a variações na precipitação dessas regiões são importantes para o planejamento local. As florestas tropicais desempenham um papel crítico no ciclo hidrológico e podem influenciar a precipitação local e regional.

De acordo com Silva, Manzione e Caldas (2023), um estudo nas bacias hidrográficas do cerrado, analisou dados de satélites coletados ao longo das últimas duas décadas sobre os regimes de chuva, as perdas de água pela evapotranspiração e as variações na temperatura do solo nas regiões, estimaram quanto de água está entrando nessas regiões com as chuvas, e quanto está saindo devido à evapotranspiração, as análises constataram uma redução nas chuvas em todas as regiões do Cerrado nos últimos 20 anos, o estudo também associou a diminuição das chuvas com o crescimento das áreas de pastagem e o desmatamento.

O estudo de bacias hidrográficas tem se tornado um mecanismo fundamental na gestão estratégica dos recursos hídricos, a Lei 9.433/97, que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelece instrumentos que promove a disponibilidade de água e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos.

Em decorrência disso, o regime hídrico brasileiro está diretamente afetado pela situação, pela dinâmica e pelo manejo da vegetação, que podem contribuir tanto para sua perfeita manutenção e circulação no planeta ou ainda para sua indisponibilidade (Vieira, 2000).

O intuito desse trabalho é averiguar se a perda da floresta original tem alguma influência no comportamento hidrológico da área de estudo, aplicou-se o método de tendencia de man-kendall nas variáveis hidrometeorológicas que são: vazão, precipitação, resposta hidrológica (RH) e de taxa de incremento de deflúvio (TID).

Mudanças no regime de precipitação, por exemplo, têm reflexo no regime de vazões, alterando a resposta hidrológica de uma bacia. A resposta hidrológica (Rh) pode servir de auxílio para prever o comportamento de bacias em relação à produção de água, afinal a RH é a produção de vazão nos canais de drenagem a partir das diferentes formas de precipitação (Carriello, 2004).

A taxa de incremento de deflúvio (TID) é influenciada por fatores ambientais, relacionados ao uso do solo, ao clima e à fisiografia, sendo que a manutenção da cobertura vegetal original é um dos fatores ambientais que mais interfere nas alterações do tempo de residência da água na bacia (Santos, 2019).

A maioria dos estudos sobre a influência da supressão da vegetação no comportamento hidrológico de uma bacia, mostram que a resposta hidrológica e as taxas de incremento de deflúvio estão associadas à dinâmica das taxas de desflorestamento, indicando que a remoção da floresta gera uma resposta rápida nos valores de escoamento superficial e lateral devido à diminuição dos processos de interceptação e de infiltração após a remoção da floresta (Linhares, 2005; Alcântara, 2009; Santos, 2019).

De acordo com Alcantara (2009), bacias com grandes áreas de cobertura vegetal tendem a retardar o escoamento e aumentar a perda por evapotranspiração. As modificações inseridas pelo homem nas bacias hidrográficas, como a construção de reservatórios de água, tendem a reduzir o pico e distribuir uniformemente o volume das vazões.

Estudos realizados por Hibbert (1976) e Bosh e Hewlett (1982) chegaram à conclusão de que a resposta as modificações da cobertura vegetal são variáveis nas bacias hidrográficas. Também concluíram que a diminuição da vegetação, aumenta o escoamento da água desde que a área desmatada seja superior a 20%.

Quando se trata de desmatamento na Amazônia, Coe, Marcos e Soares-Filho (2009) concluíram que: o desmatamento ocorrendo em uma escala maior do que 100.000 km², as interações atmosféricas poderão reduzir a precipitação regional.

Diante das informações citadas acima, este estudo permitirá concluir se diminuição da área coberta por vegetação primária na bacia de drenagem de Estreito teve alguma tendência durante os anos no comportamento hidrológico da área de estudo ao decorrer das décadas.

Este estudo permitirá monitorar a bacia do Estreito e entender que é essencial para prevenir e minimizar os impactos de possíveis desastres, como inundações, deslizamentos de terra, secas, entre outros. A utilização de tecnologias e a implementação de estratégias eficazes são fundamentais nesse processo.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar e diagnosticar os efeitos do desmatamento no comportamento hidrológico da Sub-bacia do Estreito (SB-ESTREITO).

1.2 Objetivo Específicos

- Analisar o uso e cobertura da terra com os dados do Mapbiomas, principalmente a perda da cobertura florestal original;
- Coletar a série histórica de precipitação e vazão;
- Gerar a Taxa de incremento de deflúvio (TID) e resposta hidrológica (RH) a partir dos dados de vazão e precipitação;
- Relacionar os dados de desmatamento com as variáveis acima citadas.

2REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bacias hidrográficas

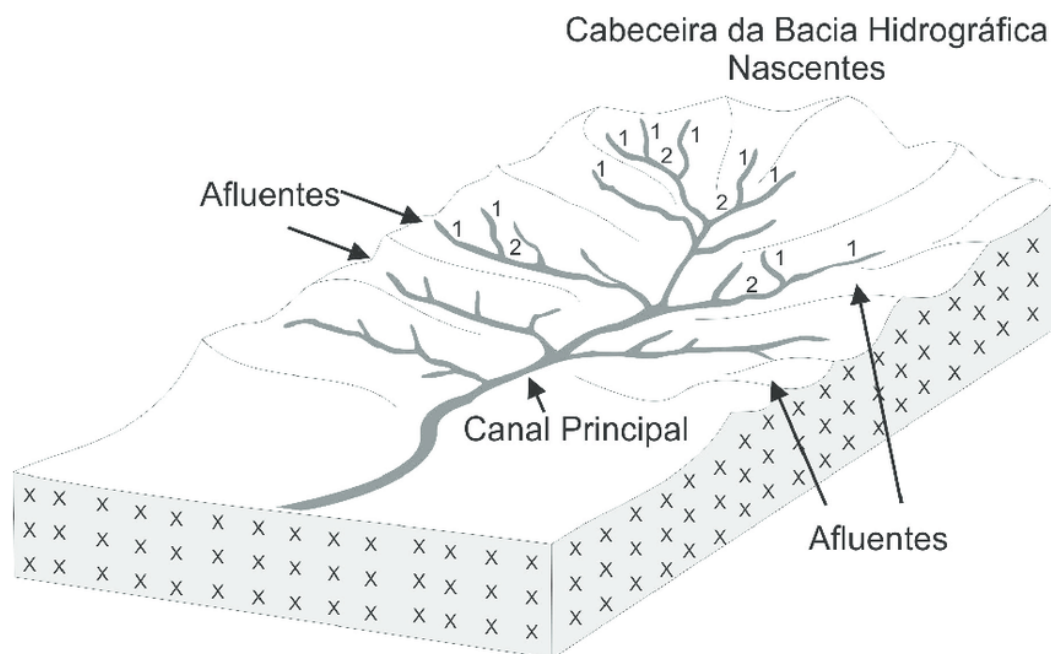
Segundo Barrella (2000) bacia hidrográfica é definido como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formadas nas regiões de mais altas do relevo por divisores de água, onde tais águas provenientes das chuvas, ou escoam superficialmente formando rios e riachos, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

A definição de bacia hidrográfica para Lima e Zakia (2000) já é acrescido do conceito geomorfológico, uma abordagem mais sistêmica. Para eles a bacia hidrográfica são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que variam em torno de um padrão, portanto, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico.

Para Tucci (1997) a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água precipitada que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Ela constitui-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exultório.

Cruz e Tavares (2009), conceituam que a rede de drenagem nada mais é do que a interação do rio principal (maior linha de fluxo de água que liga uma nascente ao exultório) e seus afluentes (rios secundários que conduzem a água diretamente ao rio principal) e, do mesmo modo, os rios que confluem para os afluentes são subafluentes do rio principal (Figura 1).

Figura 1 - Bacia hidrográfica hipotética mostrando linhas de drenagem de primeira e segunda ordem em suas cabeceiras e seus afluentes: 1 -Linhas de drenagem de primeira ordem; 2 -Linhas de drenagem de segunda ordem.



Fonte: Nascimento *et al.* (2015).

No que tange a legislação, a bacia hidrográfica é considerada como um território de atuação de políticas públicas, além de ser unidade básica para a instalação de sistemas de gerenciamento de recursos hídricos. Segundo a PNRH, instituída pela Lei n 9.433, de 8 de janeiro de 1997, as bacias hidrográficas são tidas no âmbito do planejamento territorial como unidade básica de análise para o desenvolvimento de ações e medidas estruturais e não estruturais como perspectivas de integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental.

Segundo Schiavetti e Camargo (2002) a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento ambiental não é recente. Há muito tempo os hidrólogos reconhecem as relações entre as características físicas de uma bacia e a quantidade de água que chega aos corpos hídricos. Sob outra perspectiva, os limnólogos consideram que as características do corpo d'água refletem as características de sua bacia drenagem. Logo, as abordagens de planejamento e gerenciamento ambiental utilizando a bacia como unidade de estudo têm evoluído bastante, desde que elas apresentam características biogeofísicas que apontam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente correlacionados (Dasmann *et al.*, 1973).

2.2 Importância da água e do manejo de bacias hidrográficas

A água é um elemento indispensável e essencial para a manutenção de todas as formas de vida e estruturação socioeconômica das sociedades ao redor do mundo. Os recursos hídricos referem-se aos corpos d'água – córregos, rios, riachos, lagos, água subterrânea – existentes em uma certa região, cuja utilidade é voltada para suprir demandas ou necessidades da população, ou subsidiar no desenvolvimento das atividades humanas (Silva *et al.*, 2021).

Ressalta-se que da perspectiva da sociedade, os recursos hídricos devem ser utilizados de modo a facilitar os usos múltiplos, ou seja, devem facilitar o desenvolvimento de diversas áreas do setor econômico (Galvão; Bermann, 2015). Além de garantir o bem-estar da população, conservação da biota, manutenção do equilíbrio e o funcionamento do ecossistema (Silva *et al.*, 2021).

Os usos múltiplos podem ser enquadrados em duas categorias distintas, o uso consultivo e o uso não consultivo. A primeira categoria de uso é marcada pela retirada direta de um volume de água do sistema para atender uma certa necessidade – abastecimento público, irrigação –, isso implica em um menor retorno da água ao corpo hídrico e o possível comprometimento de sua qualidade (Souza *et al.*, 2014). Já a segunda categoria de uso é caracterizada pela não alteração da qualidade e quantidade da água, o que implica na sua não retirada do sistema e o seu uso consciente em um meio para a concretização de uma determinada atividade – navegação, geração de energia, pesca (Cunha-Santino; Bianchini, 2010).

A água é um elemento indispensável e essencial para a manutenção de todas as formas de vida e estruturação socioeconômica das sociedades ao redor do mundo. Os recursos hídricos existentes em uma certa região, cuja utilidade é voltada para suprir demandas ou necessidades da população ou subsidiar no desenvolvimento das atividades humanas (Silva *et al.*, 2021).

Ressalta-se que da perspectiva da sociedade, os recursos hídricos devem ser utilizados de modo a facilitar os usos múltiplos, ou seja, devem facilitar o desenvolvimento de diversas área do setor econômico (Galvão; Bermann, 2015). Além de garantir o bem-estar da população, conservação da biota, manutenção do equilíbrio e o funcionamento do ecossistemas (Silva *et al.*, 2021).

Os usos múltiplos dos recursos hídricos podem ser enquadrados em duas categorias distintas, o uso consultivo e o uso não consultivo. A primeira categoria de uso é marcada pela retirada direta de um volume de água do sistema para atender uma certa necessidade

(abastecimento público, irrigação), isso implica em um menor retorno da água ao corpo hídrico e o possível comprometimento de sua qualidade (Souza *et al.*, 2014).

Já a segunda categoria de uso é caracterizada pela não alteração da qualidade e quantidade da água, o que implica na sua não retirada do sistema e o seu uso consciente em um meio para a concretização de uma determinada atividade – navegação, geração de energia, pesca (Cunha-Santino; Bianchini, 2010).

Embora sua importância para a humanidade, os ecossistemas aquáticos têm sofrido uma série de impactos advindos principalmente dos processos urbanização, industriais e agricultura (Silva, 2018). Tais processos estão modificando extremamente o funcionamento e o metabolismo desses sistemas, sobretudo devido a constante geração de resíduos e lançamentos de efluentes, resultando na poluição das águas superficiais e subterrâneas (Silva *et al.*, 2021).

De todo o volume de água existente no planeta, a maioria encontra-se nos oceanos (97,4%) e somente uma pequena porcentagem (2,6%) corresponde aos sistemas dulcícolas, porém somente 0,3% desta água doces (rios, córregos, lagos) está disponível para ser utilizada pelo ser humano (Tundisi, 2003; Bozelli *et al.*, 2019).

Apesar do Brasil possuir mais de 12% de toda a água doce mundial, esse volume encontra-se irregularmente distribuído pelas regiões brasileiras (Ribeiro, 2019). E essa situação acaba se agravando em algumas localidades, principalmente devido à perda de qualidade de água, o que torna necessário o adequado manejo desses recursos.

Segundo Souza e Fernandes (2000) o manejo integrado de bacias hidrográficas visa tornar compatível produção com preservação ambiental, buscando adequar a interferência antrópica às características biofísicas dessas unidades naturais, sob gestão integrativa e participativa, de modo que sejam minimizados impactos negativos e se garanta o desenvolvimento sustentável. Esse manejo pressupõe alguns princípios fundamentais, como a unidade de planejamento que está relacionado ao tamanho da bacia; o enfoque hidro-agrícola que enfatiza tanto o aspecto hídrico e o uso agrícola; a capacidade de suporte ambiental que está relacionada às potencialidades e limitações para as diversas modalidades de uso/ocupação e a visualização de possíveis conflitos de interesses, e entre outros princípios muito bem destacados no Documento de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas (Santana, 2003).

Diante disso, a realização do manejo de bacias hidrográficas é um processo que antes de tudo precisa identificar o estado em que a bacia se encontra, bem como o estado almejado, já que seu principal intuito é compatibilizar os usos da terra e conservação ambiental (Schlosser; Karr, 1981; Pires; Santos, 2002; Silva *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2019).

Para tal, é necessário verificar se a bacia se enquadra em uma categoria natural (ocupadas por vegetação nativa); em uma categoria rural, possui áreas destinadas ao desenvolvimento do agronegócio e possuem sua cobertura vegetal alterada; na categoria urbana, caracterizada pela grande presença de estrutura e adensamentos urbanos, além de forte alteração de sua vegetação remanescente; na categoria mista, caracterizada pela presença de áreas urbanas, espaços destinados ao agronegócio e presença de vegetação nativa (Silva *et al.*, 2021).

Para cada categoria é utilizada uma determinada metodologia de manejo, a exemplo temos a bacia rural que para se aplicar um manejo adequado demandam de medidas que buscam basicamente a manutenção da vegetação nativa, controle dos processos erosivos, tratamento dos efluentes gerados, redução das emissões de gases de efeito estufa, manutenção da fertilidade do solo e participação dos proprietários rurais (Nguyen *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016; Shamsoddini; Emami; Bahmani, 2019).

Um dos aspectos também é a realização do manejo da água, fator que se torna possível mediante a adoção de boas práticas hídricas, cujo aspecto pauta-se nas dimensões da produção do agronegócio e recursos naturais existentes, o que facilita a manutenção da qualidade e quantidade de água (Brasil-MMA, 2006).

2.3 Parâmetros Hidrometeorológicos

a) Precipitação

Em climatologia entende-se por precipitação a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma: chuva, neblina, neve, orvalho, geadas ou granizo. Representa a ligação entre os demais fenômenos hidrológicos e o fenômeno do escoamento superficial (Carvalho; Silva, 2006).

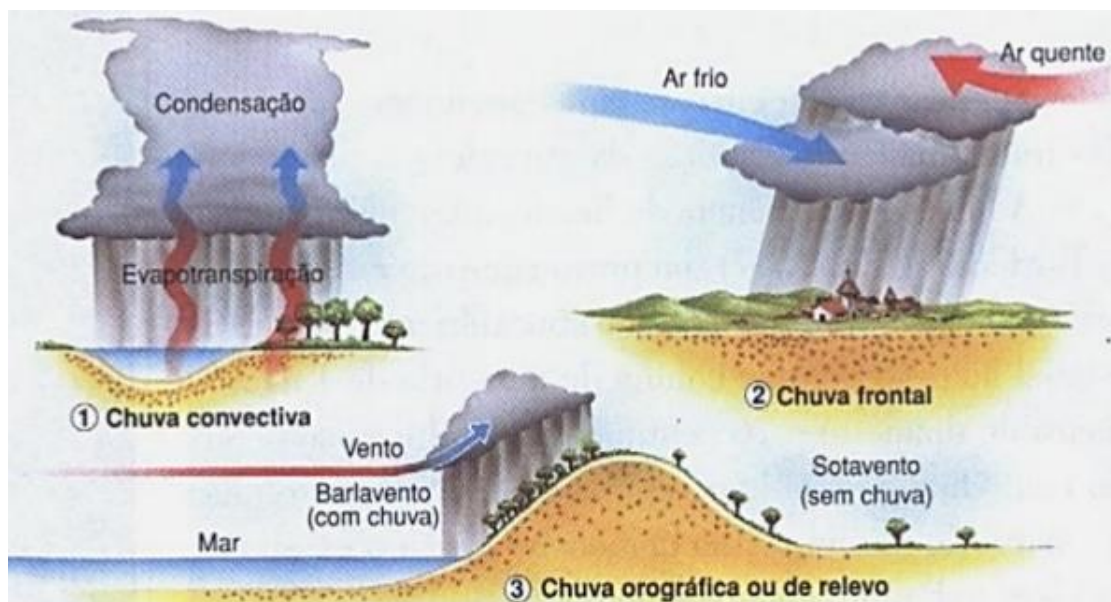
A precipitação pluvial ou chuva é o tipo mais importante para a hidrologia por sua capacidade para produzir escoamento superficial – contribuindo para a vazão do rio –, por ser de fácil medida e por ser a forma mais comum nas condições brasileiras (Siqueira Pinto, [21--]).

Para ocorrer a formação das precipitações são necessários alguns elementos, como: umidade atmosférica, mecanismo de resfriamento do ar, presença de núcleos higroscópios e mecanismo de crescimento de gotas. A fim de que ocorra o resfriamento do ar úmido, há necessidade de sua ascensão, que pode ser devida aos fatores de ação frontal de massas de ar,

convecção térmica e relevo. A maneira com que o ar úmido ascende caracteriza o tipo de precipitação (Carvalho; Silva, 2006).

As precipitações podem ser divididas em: i) frontais ou ciclônicas que provêm da interação de massas de ar quentes e frias e elas ainda podem ser classificadas como frontal ou não frontal; ii) orográficas que são precipitações associadas às áreas acidentadas ou barreiras de montanhas que provocam o desvio com elevação para a vertical (ascendente) das correntes aéreas de ar quente e úmido; iii) convectivas que são aquelas provocadas pela ascensão de ar, devido às diferenças de temperatura em camadas vizinhas da atmosfera.

Figura 2 - Tipos de chuva.



Fonte: Forsdyke (1969).

A quantificação da chuva é expressa pela altura de água caída e acumulada sobre a superfície plana e impermeável. Ela é observada por meio de medidas executadas em pontos escolhidos, utilizando-se aparelhos denominados pluviômetros ou pluviógrafos. As grandezas são a altura pluviométrica: lâmina d'água precipitada sobre a mesma em mm; a intensidade de precipitação: relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação em mm/h^{-1} ou mm/min^{-1} ; e a duração: período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação em h ou min (Carvalho; Silva, 2006).

b) Vazão

A vazão em canais pluviais é definida como o volume de água que passa numa determinada seção do rio por um determinado tempo, a qual é determinada pelas variáveis de

profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa geralmente no sistema internacional de medidas em m³/s. A vazão aumenta do montante – região mais alta do rio – para a jusante – região mais baixa do rio – até sua foz. Contudo, pode ser observado por meio de medições de vazão, áreas que o ponto medido a jusante apresenta valores inferiores de vazão que a montante. Isto pode ser explicado devido à dinâmica de transferência de energia canal (Carvalho, 2006; Carvalho, 2007).

Os métodos utilizados para determinar a vazão podem ser indiretos ou automáticos, desde um simples objeto lançado na água para estimar a velocidade que percorre em uma determinada distância, até métodos mais precisos como molinetes, doppler acústico e em casos mais inovadores por satélites. Sendo o uso do molinete hidrométrico é mais difundido, pela facilidade e custo benefício (Carvalho, 2008).

O conhecimento da vazão de um rio ou de um corpo hídrico é extremamente relevante para criar planos de manejo sustentáveis, controle de cheias, liberação de outorgas, dimensionamento de barragens, além de solução de conflitos hídricos entre os diversos usuários da água (ANA, 2009).

c) Taxa de Incremento de Deflúvio (TID)

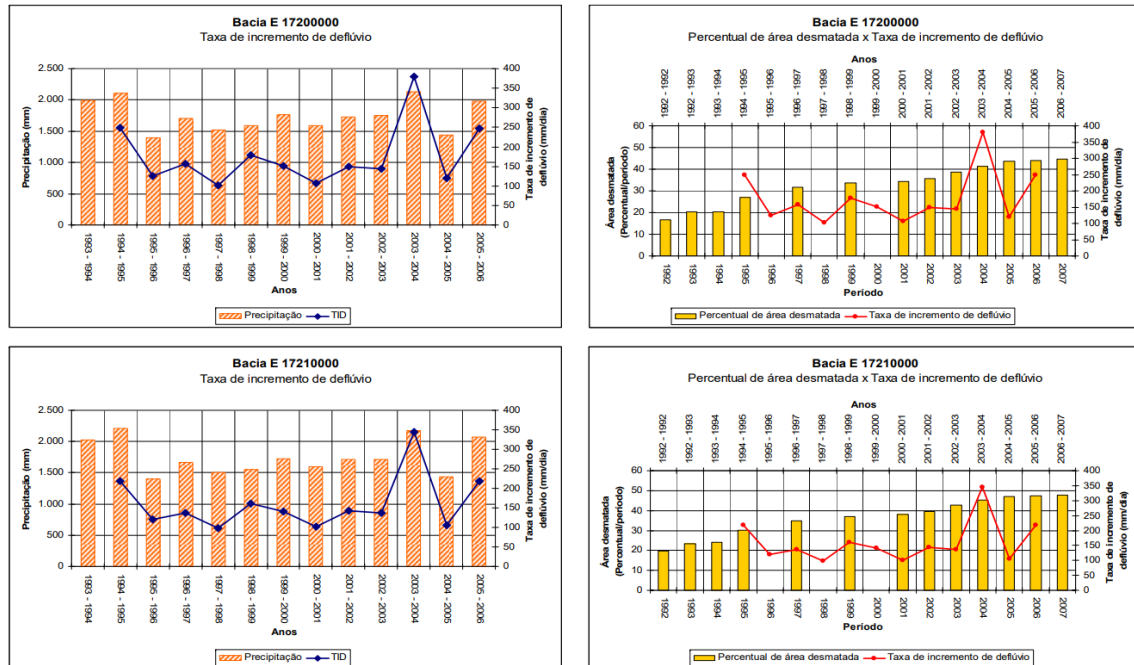
A Taxa de Incremento de Deflúvio (TID) que representa na razão entre a diferença da vazão mínima de um ano e a vazão máxima do ano seguinte e o tempo em meses decorrido entre estes dois valores. A TID está associada ao tempo de residência da água na bacia hidrográfica, pois quanto maior for a taxa, mais rapidamente a água saiu da bacia, representando menor tempo de residência (Linhares, 2005).

Esse tempo de residência está relacionado à velocidade de renovação da água em cada etapa do ciclo hidrológico. O conhecimento do tempo decorrido entre a entrada de um determinado volume máximo de água na estação chuvosa e a saída desta água até um volume mínimo na estação seca possibilita a inferência a dedução de algumas informações importantes, como o próprio tempo de residência da água na bacia, a qualidade da água e possíveis processos de erosão e de sedimentação oriundos da remoção da vegetação original (Ballester *et al.*, 2003).

Segundo Alcântara (2009) conforme o tamanho da bacia hidrográfica vai aumentando, a amplitude entre o maior e menor índice vai diminuindo. Tucci (2004) afirma que bacias maiores apresentam maiores regularidades na vazão, refletindo na taxa de incremento de deflúvio. Estudos como de Alcântara (2009) enfatiza e exhibe essa afirmativa, onde ele mostra as bacias E 17200000 e E 17210000 por apresentarem um relevo mais acidentado, apresentam

os maiores índices de taxa de incremento de deflúvio, indicando que o tempo de permanência da água foi menor nessa região (Figura 3).

Figura 3 - Taxa de incremento de deflúvio em função da precipitação (esquerda), em função do desmatamento (direita).

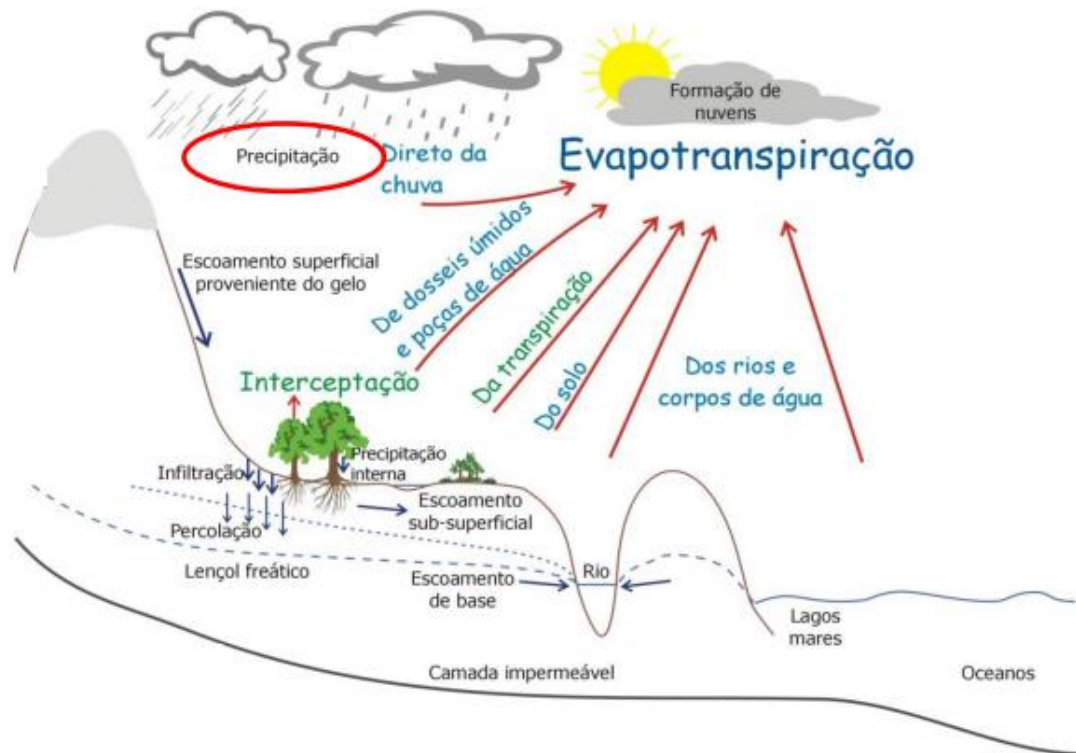


Fonte: Alcantara (2009).

2.4 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico caracteriza-se por um fenômeno natural de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, especialmente na troposfera, gerido pelo Sol associado à gravidade e à rotação terrestre. Ele é composto pela evapotranspiração, condensação, precipitação, escoamento e infiltração (Figura 4) (Schiavetti; Camargo, 2002).

Figura 4 - Ciclo Hidrológico



Fonte: Rennó e Borma (2017).

Para a compreensão do ciclo hidrológico pode-se descrevê-lo a partir da precipitação, comumente chamada de chuva, que é originada a partir de complexos fenômenos de aglutinação e crescimento das pequenas gotículas em nuvens com presença significativa de umidade e núcleos de condensação, formando abundância de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força gravitacional supere a agitação natural ou os movimentos ascendentes da atmosfera.

Em seu caminho rumo à superfície, a precipitação passa, por meio de condições atmosféricas, pelo processo de evapotranspiração. Descendo sobre a superfície com uma cobertura vegetal, onde está retém parte dessa precipitação para as suas atividades morfofisiológicas e, em seguida, contribui para sua reciclagem quando a elimina por respiração ou evapotranspiração (Schiavetti; Camargo, 2002).

Ao alcançar o solo, a água precipitada pode seguir alguns caminhos. Através de suas características, o solo pode se apresentar prosso e suscetível à infiltração até atingir o seu ponto de saturação. A partir da saturação, forma-se, junto ao excedente da precipitação não infiltrado, o escoamento superficial. A água que penetra na superfície do solo pode lixiviar ou infiltrar, conforme a ação das tensões capilares nos poros ou pela ação da gravidade.

A umidade do solo apresenta-se reativada e a parte da mesma é aproveitada através da sua absorção pelas raízes que, devolvem quase toda a água à atmosfera através de sua

transpiração (vapor d'água), a parte da água que não é absorvida pelos vegetais percola até os lençóis freáticos e/ou aquíferos, contribuindo ao escoamento subterrâneo da água para os rios em épocas de estiagem, escoamento de base (Schiavetti; Camargo, 2002).

É importante salientar que os rios abastecidos somente pelo escoamento superficial associado à ocorrência de chuvas são chamados de efêmeros e aqueles abastecidos pelas águas superficiais e subsuperficiais, recebem o nome de perene quando o escoamento é contínuo ao longo do ano, ou intermitente, que durante o período de estiagem, tem o lençol freático rebaixado e a ausência de chuvas torna-se seco (Bigarella; Suguio, 1990).

O escoamento superficial ocorre através da água da gravidade gerada pelo desnível apresentado entre as cotas. A água escoar por caminhos diferentes, favorecidos pelo relevo preexistente até alcançar os cursos d'água, operando como agente modelador do terreno através dos processos erosivos naturais. Ressalta-se que a presença de cobertura vegetal sobre o solo evita processos erosivos, já que a mesma auxilia no processo de infiltração. Portanto, com raras exceções, toda água escoada pela rede de drenagem destina-se ao oceano (Schiavetti; Camargo, 2002). Cabe destacar que as etapas do ciclo apresentadas ocorrem em condições naturais, mas sabe-se que ações antrópicas em alguns estágios do ciclo podem alterá-lo significativamente.

Em termos de balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, representa a fração da precipitação que não é perdida por evapotranspiração, nem outras perdas intermediárias (Kobiyama *et al.*, 2014). Em outras palavras é a somatória das quantidades de água que entram e saem da bacia hidrográfica em um determinado intervalo de tempo. Onde o resultado é a quantidade de água que nela permanece disponível (Tomasella; Rossato, 2005).

Segundo Tomasella e Rossato (2005) os balanços hídricos têm sido utilizados para estimar parâmetros climáticos e, a partir deles, estabelecer comparações entre as condições predominantes em locais diferentes. A determinação do balanço hídrico apresenta uma grande complexidade e nem sempre é exequível. Diante disso, muitos pesquisadores buscam diversas formas de estimar o balanço hídrico como por exemplo a partir de variáveis meteorológicas.

Dentre vários métodos para o cálculo do balanço hídrico, um dos modelos mais conhecidos foi proposto por Charles Warren Thornthwaite (1948) e posteriormente modificado por John Russ Mather (1995) que ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather. Este método tem sido bastante utilizado por possibilitar a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo. Ele inclui estimativas da evapotranspiração real, excedente hídrico e déficit hídrico. Além disso, ele considera que a taxa de perda de água por evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo (Tomasella;

Rossato, 2005). Em condições naturais um ecossistema cultivado exibe um balanço hídrico que pode ser representado da seguinte forma:

$$P + I - ET - R \pm D \pm \Delta A = 0$$

Sendo P a precipitação, I a irrigação, ET a evapotranspiração, R o escoamento superficial da água, D a drenagem profunda e ΔA a variação da água armazenada no solo.

2.5 Influência da Floresta no Ciclo Hidrológico

Sabe-se que a água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interferindo na flora e na fauna e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio. Estudos apontam que as médias de precipitação são maiores em áreas florestadas do que em áreas abertas, que a floresta contribua para o aumento da precipitação local por meio da reciclagem das chuvas, devido ao processo de evapotranspiração. Acreditava-se também que as bacias florestadas produzem mais água do que as bacias com outro tipo de cobertura vegetal, no entanto o que de fato acontece é que bacias com total cobertura florestal há uma menor produção de água, mas o fluxo é mais estável e sustentável do que em outros casos (Balbinot *et al.*, 2008).

Estudos realizados por Hursh (1948) verificou-se que a precipitação média foi cerca de 25% maior que em áreas devastadas, notou-se também que tal fato é por causa do efeito da diferença de temperatura e das correntes de convecção, ao invés de ser consequência direta da maior transpiração pela floresta. É importante destacar que a evaporação local não controla a precipitação neste mesmo local, e nem se correlação com o padrão de distribuição das chuvas na Terra.

Gilman (1954) comprovou que a evaporação continental pode colaborar de maneira mínima para a precipitação em áreas continentais, isso devido à movimentação das correntes de ar. Para o período anual, e para a Terra como um todo, a maior parte da umidade atmosférica que eventualmente se precipitará em áreas continentais decorre da evaporação dos oceanos. E, para complementar, o padrão das chuvas do planeta se origina à circulação geral da atmosfera, que associado aos efeitos locais de fatores fisiográficos, como o relevo, por exemplo, regem a distribuição horizontal das chuvas.

Segundo Hibbert (1967), Bosch e Hewlett (1982), a supressão total da floresta aumenta o deflúvio anual da bacia numa taxa média de cerca de 150 mm durante o primeiro ano após o

corte da floresta, variando de 34 a 450 mm. Apoiado nesses valores e na área florestada do mundo, aproximadamente 4 bilhões de ha, com o corte raso de todas essas áreas, o provimento de vapor d'água para a atmosfera seria cerca de $6 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Se comparando com o volume de precipitação média anual para o planeta, ou seja, $4,9 \times 10^{14} \text{ m}^3$, a redução estimada na precipitação média anual global seria de 1,3%.

Diante disso, observa-se que mesmo em escala muito pequena, a floresta desempenha importante papel na distribuição de energia e água na superfície, intervindo nos processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão. Pode-se inferir então que a floresta não afeta necessariamente a precipitação sobre a área, e que exceções como a precipitação oculta, ou seja, a neblina, a condensação ou o orvalho que respinga das folhas e dos ramos auxiliam para a redistribuição da precipitação sob a floresta (Balbinot *et al.*, 2008).

Na hidrologia, em relação aos outros tipos de uso da terra, a floresta consome mais água e reduz a vazão no rio (Hibbert, 1967; Bosch; Hewlett, 1982). De acordo com Trimble *et al.* (1987), a redução da vazão em bacias hidrográficas contendo florestas acontece em função do aumento das perdas da água devido a evapotranspiração, tal redução é maior nos anos secos do que nos chuvosos. Do ponto de vista na relação da floresta com o escoamento de base, autores como Nathan e McMahon (1990), Lacey e Grayson (1998) utilizaram métodos que estimaram os valores de escoamento de base de 114 bacias experimentais em Vitória, Austrália, e mostram que não foi notório a influência do crescimento da floresta no escoamento de base.

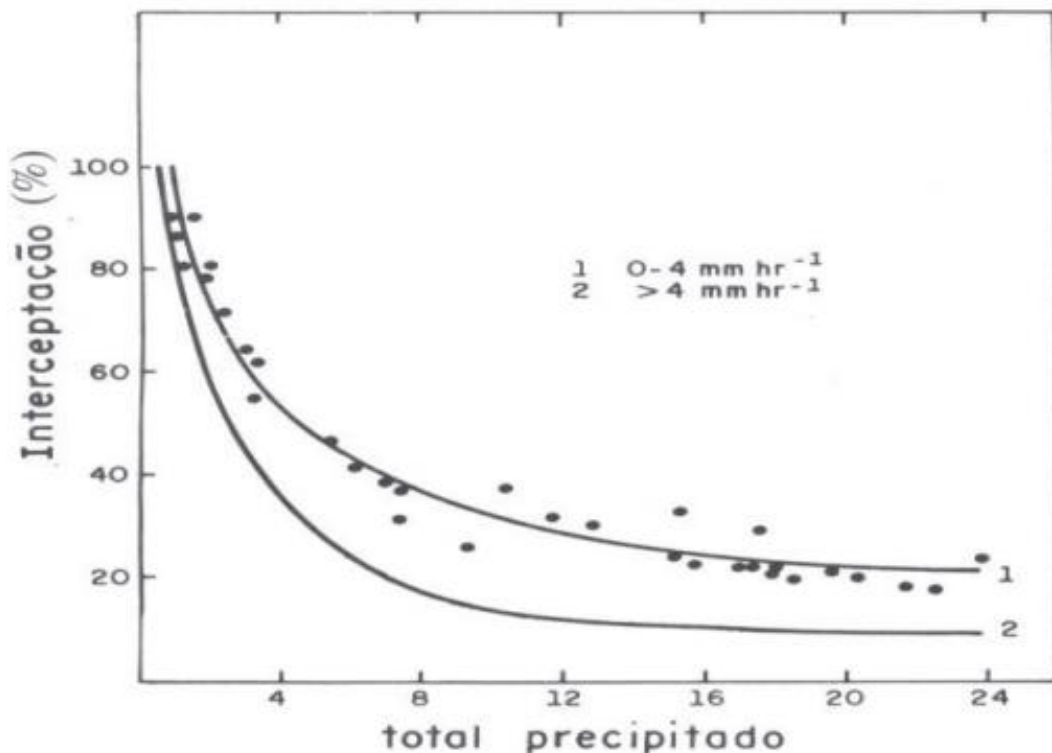
Quanto a interceptação florestal uma das principais influências já ocorre no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera (Arcova; Cicco; Rocha, 2003). A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo, podendo ocorrer devido à vegetação ou outra forma de bloqueio ao escoamento (Balbinot *et al.*, 2008).

A cobertura florestal, por meio da interceptação, interfere a redistribuição da água precipitada, em que as copas das árvores formam um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Por isso, o abastecimento das águas é favorecido e a variação de vazão ao longo do ano, reduzida, além do retardamento dos picos de cheia.

Alguns pesquisadores reiteram que a floresta nativa, entre os ecossistemas vegetais, atua no ciclo hidrológico de maneira mais expressiva, pois propicia melhores condições de infiltração da água da chuva (Oliveira Jr; Dias, 2005).

Segundo Blake (1975) as características principais da precipitação são intensidade e volume precipitado, tanto que para florestas com pequenos volumes de precipitação ($<0,3$ mm) todo volume é retido, e para precipitações superiores a 1 mm, de 10 a 40% pode ficar retido. Na figura 5 são ilustradas curvas para uma determinada vegetação, relacionando total precipitado e interceptado para diferentes intensidades de precipitação. É possível observar que para o mesmo total precipitado a interceptação diminui com o aumento da intensidade.

Figura 5 - Relação entre a interceptação-intensidade da precipitação.



Fonte: Blacke (1975).

A curva número 1 mostra a interceptação para intensidades de precipitação de 0 a 4 mm.hr⁻¹, ao passo que a curva número 2 mostras valores para intensidade maiores que 4 mm.hr⁻¹. O gráfico indica a redução da interceptação conforme a intensidade da chuva aumenta. No início da chuva, o primeiro processo a ser considerado na avaliação da perda por interceptação é a chamada capacidade de retenção das copas, isto é, a quantidade de água que é usada para molhar toda a copa. Alcançada essa capacidade, com a continuação da chuva, a água começa a gotejar para o solo e a escoar pelos ramos e tronco também em direção ao solo. Esta capacidade de retenção é função da espécie e da parte aérea da biomassa e caracteriza uma quantidade mais ou menos fixa para uma dada condição. Terminada a chuva esta água retida nas copas será evaporada (Balbinot *et al.*, 2008).

Sabe-se que a água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interferindo na flora e na fauna e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio. Estudos apontam que as médias de precipitação são maiores em áreas florestadas do que em áreas abertas, que a floresta contribuiu para o aumento da precipitação local por meio da reciclagem das chuvas, devido ao processo de evapotranspiração. Acreditava-se também que as bacias florestadas produzem mais água do que as bacias com outro tipo de cobertura vegetal, no entanto o que de fato acontece é que bacias com total cobertura florestal há uma menor produção de água, mas o fluxo é mais estável e sustentável do que em outros casos (Balbinot *et al.*, 2008).

Estudos realizados por Hursh (1948) verificou-se que a precipitação média foi cerca de 25% maior que em áreas devastadas, notou-se também que tal fato é por causa do efeito da diferença de temperatura e das correntes de convecção, ao invés de ser consequência direta da maior transpiração pela floresta. É importante destacar que a evaporação local não controla a precipitação neste mesmo local, e nem se correlação com o padrão de distribuição das chuvas na Terra.

Gilman (1954) comprovou que a evaporação continental pode colaborar de maneira mínima para a precipitação em áreas continentais, isso devido à movimentação das correntes de ar. Para o período anual, e para a Terra como um todo, a maior parte da umidade atmosférica que eventualmente se precipitará em áreas continentais decorre da evaporação dos oceanos. E, para complementar, o padrão das chuvas do planeta se origina à circulação geral da atmosfera, que associado aos efeitos locais de fatores fisiográficos, como o relevo, por exemplo, regem a distribuição horizontal das chuvas.

Segundo Hibbert (1967), Bosch e Hewlett (1982), a supressão total da floresta aumenta o deflúvio anual da bacia numa taxa média de cerca de 150 mm durante o primeiro ano após o corte da floresta – variando de 34 a 450 mm. Apoiado nesses valores e na área florestada do mundo – aproximadamente 4 bilhões de ha –, com o corte raso de todas essas áreas, o provimento de vapor d'água para a atmosfera seria cerca de $6 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Se comparando com o volume de precipitação média anual para o planeta, ou seja, $4,9 \times 10^{14} \text{ m}^3$, a redução estimada na precipitação média anual global seria de 1,3%.

Diante disso, observa-se que mesmo em escala muito pequena, a floresta desempenha importante papel na distribuição de energia e água na superfície, intervindo nos processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão. Pode-se inferir então que a floresta não afeta necessariamente a precipitação sobre a área, e que exceções como a precipitação

oculta, ou seja, a neblina, a condensação ou o orvalho que respinga das folhas e dos ramos auxiliam para a redistribuição da precipitação sob a floresta (Balbinot *et al.*, 2008).

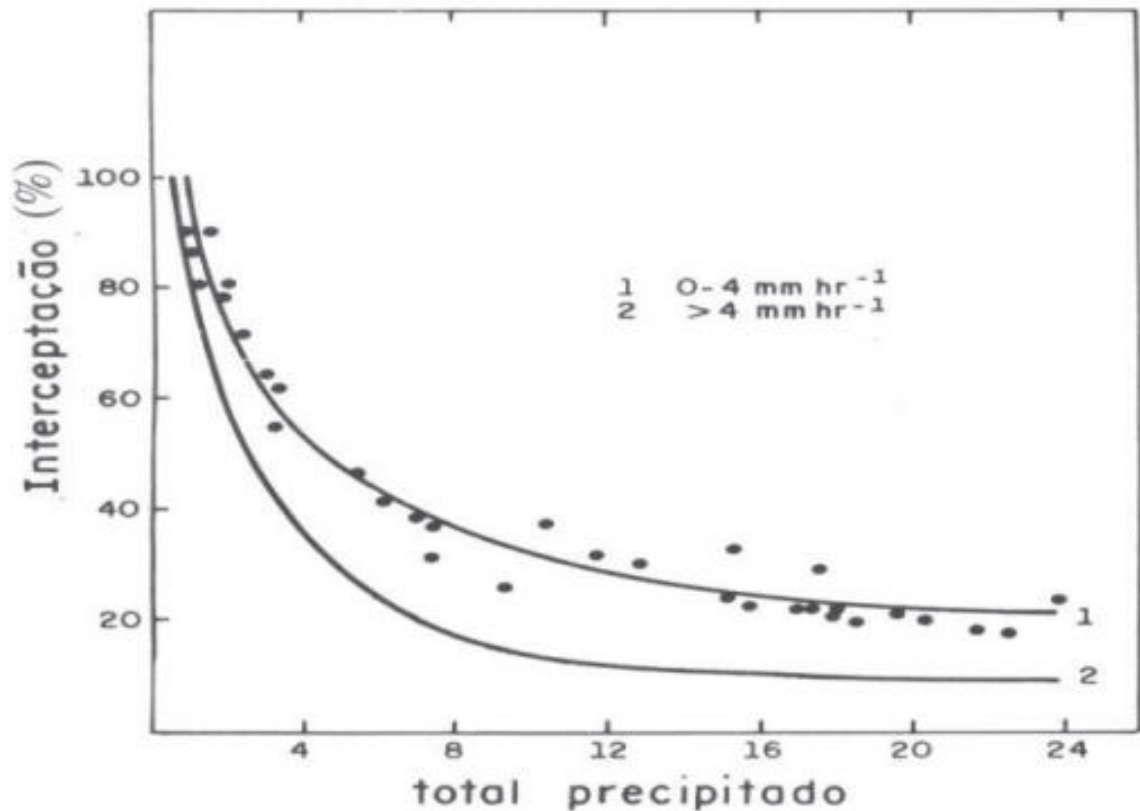
Na hidrologia, em relação aos outros tipos de uso da terra, a floresta consome mais água e reduz a vazão no rio (Hibbert, 1967; Bosch; Hewlett, 1982). De acordo com Trimble *et al.* (1987), a redução da vazão em bacias hidrográficas contendo florestas acontece em função do aumento das perdas da água devido a evapotranspiração, tal redução é maior nos anos secos do que nos chuvosos. Do ponto de vista na relação da floresta com o escoamento de base, autores como Nathan e McMahon (1990), Lacey e Grayson (1998) utilizaram métodos que estimaram os valores de escoamento de base de 114 bacias experimentais em Vitória, Austrália, e mostram que não foi notório a influência do crescimento da floresta no escoamento de base.

Quanto a interceptação florestal uma das principais influências já ocorre no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera (Arcova.; Cicco; Rocha, 2003). A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo, podendo ocorrer devido à vegetação ou outra forma de bloqueio ao escoamento (Balbinot *et al.*, 2008).

A cobertura florestal, por meio da interceptação, interfere a redistribuição da água precipitada, em que as copas das árvores formam um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Por isso, o abastecimento das águas é favorecido e a variação de vazão ao longo do ano, reduzida, além do retardamento dos picos de cheia. Alguns pesquisadores reiteram que a floresta nativa, entre os ecossistemas vegetais, atua no ciclo hidrológico de maneira mais expressiva, pois propicia melhores condições de infiltração da água da chuva (Oliveira Jr; Dias, 2005).

Segundo Blake (1975) as características principais da precipitação são intensidade e volume precipitado, tanto que para florestas com pequenos volumes de precipitação (<0,3 mm) todo volume é retido, e para precipitações superiores a 1 mm, de 10 a 40% pode ficar retido. Na figura 6 são ilustradas curvas para uma determinada vegetação, relacionando total precipitado e interceptado para diferentes intensidades de precipitação. É possível observar que para o mesmo total precipitado a interceptação diminui com o aumento da intensidade.

Figura 6 - Relação entre a interceptação-intensidade da precipitação.



Fonte: Blacke (1975).

A curva número 1 mostra a interceptação para intensidades de precipitação de 0 a 4 mm.h⁻¹, ao passo que a curva número 2 mostra valores para intensidade maiores que 4 mm.h⁻¹. O gráfico indica a redução da interceptação conforme a intensidade da chuva aumenta. No início da chuva, o primeiro processo a ser considerado na avaliação da perda por interceptação é a chamada capacidade de retenção das copas, isto é, a quantidade de água que é usada para molhar toda a copa.

Alcançada essa capacidade, com a continuação da chuva, a água começa a gotejar para o solo e a escoar pelos ramos e tronco também em direção ao solo. Esta capacidade de retenção é função da espécie e da parte aérea da biomassa e caracteriza uma quantidade mais ou menos fixa para uma dada condição. Terminada a chuva esta água retida nas copas será evaporada (Balbinot *et al.*, 2008).

2.6 Ocupação da Amazônia Legal

A Amazônia é um amplo território localizado ao norte da América do Sul, cuja área total é de aproximadamente 7 milhões de quilômetros quadrados. Compartilham essa área nove

países: Brasil, Venezuela, Bolívia, Peru, Equador, Suriname, Guiana e Guiana Francesa. Dessa área cerca de 80% da região pertence ao Brasil e representam mais de 5 milhões de quilômetros quadrados, representando, aproximadamente, a 61,2% da área total do País (França *et al.*, 2005).

Em termos de extensão, a Amazônia brasileira é sete vezes maior do que a França e daria para comportar em seu interior o equivalente a 32 países da Europa, com exceção da Rússia. Quanto a diversidade animal, vegetal e riquezas minerais a Amazônia é muito privilegiada. Mais de dois milhões de espécies e 30% do banco genético do mundo disputam o espaço amazônico. Tudo isso entrelaçado pela maior bacia de água doce da Terra (Sivam, 2005). Seu subsolo é rico em Cassiterita, ouro, manganês, hematita, diamante, petróleo, urânio, gás natural, cobre, bauxita, gemas, chumbo, níquel, caulim, cromo, sais de potássio, gel-gema e muitos outros de importância secundária (Adas, 1998). Em oposição, é uma área com baixa densidade demográfica, com cerca de 3,2 habitantes por km², onde 16,5 milhões de habitantes disputam a imensidão amazônica, o que representa 12% da população nacional.

As primeiras iniciativas de ocupação do território da Amazônia ocorreram entre os anos de 1500 e 1840 pelos portugueses. Outras iniciativas foram as missões jesuítas e a implantação de colônias agrícolas, que não alcançaram sucesso em função da resistência de povos indígenas e das doenças tropicais que atingiram os colonos. Neste primeiro momento, a floresta sofreu pouca alteração. Entretanto, as populações indígenas foram as mais prejudicadas, diminuindo de 3 milhões de índios para cerca de 150 mil (Salati, 1990).

Na primeira metade do século XIX, entre 1840 e 1910, sucedeu a intensificação da extração e industrialização da borracha. Muitos imigrantes nordestinos dirigiam-se para a região amazônica em busca de melhores condições de vida, fugindo da seca no nordeste brasileiro (Oliveira, 1983; Lui; Molina, 2009). A exploração gumífera aumentou o fluxo de capital e de pessoas, especialmente para as cidades de Manaus e Belém, significando uma esperança para o progresso da região amazônica (Oliveira, 1983).

A decadência da exportação de borracha e a falta de êxito para erguer a economia da região levaram ao declínio econômico da região. Nesta fase os impactos sociais foram mais drásticos que os impactos ambientais. A pressão exploratória na região amazônica associada ao aumento populacional até então, não foram capazes para ocasionar grandes alterações na paisagem (Oliveira, 1983; Lui; Molina, 2009).

Nos anos 50, no decorrer do governo de Getúlio Vargas, a Amazônia foi considerada uma região problemática devido ao chamado “vazio demográfico”, que carecia ser integrada ao restante do país (Oliveira, 1983). A floresta era vista como um obstáculo e a ocupação planejada era vista como um fator imprescindível para o desenvolvimento e inserção socioeconômica da

região, a partir da ordenação territorial rural, da urbanização, proporcionando a soberania sobre o território amazônico (Oliveira, 1983; Hogan *et al.*, 2008).

A criação da Superintendência para o Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA) em 1953, que logo mais foi substituída pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) em 1966, foi uma das primeiras ações do Governo no intuito de criar condições para ocupar a região amazônica e integrá-la às outras regiões brasileiras. Aderindo a estratégia de coupar a região amazônica com a construção de rodovias como tentativa para atrair contingente populacional (Becker, 1977), a SPVEA começou a abertura da rodovia Belém-Brasília finalizada em 1960 que possibilitou a ligação por via terrestre entre a região amazônica e a região centro-sul do país, dando início ao no fluxo de migração, especialmente por nordestinos. Essa construção de estradas e a desapropriação das faixas de 100 km ao longo das rodovias federais permitiam a ocupação das áreas de floresta, pouco povoadas, colaborando para a alteração do padrão de ocupação, que antes ocorria de preferência nas margens dos rios (Oliveira, 1983).

Mais tarde, na década de 1970, o governo criou o Programa de Integração Nacional (PIN) que modificou o espaço geográfico amazônico com a construção de rodoviar como a Transamazônica (BR-230), Cuiabá-Santarém (BR-163), Cuiabá-Porto Velgo (BR364), Porto Velho-Manaus (BR-319). A implantação das rodovias mudou o padrão de circulação e do povoamento da Amazônia que que as conexões fluviais foram substituídas por conexões transversais das estradas que atravessaram os valores dos grandes afluentes e a floresta, diminuindo o tempo e as distâncias das viagens (Becker, 2001).

Com o propósito de fortalecer a estratégia de desenvolvimento regional do norte brasileiro foi lançado o Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria no Norte e Nordeste (PROTERRA). Parcialmente, este programa foi motivado pelos conflitos sociais que precisavam de reforma agrária no nordeste brasileiro (Kohlhepp, 2002). Desse modo, foram destinadas quantias significativas de recursos para financiar o projeto de ocupação ao logo da rodovia Transamazônica, de acordo com o modelo do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

Com as ações do governo que permitiram a integraação rodoviária, foram oferecidos recursos para atraís o fluxo migratório e povoar a Amazônia (Saito, 2011). Sampaio e Costa (2009) supõem que a integração nacional gerou grande impacto socioeconômico como resposta ao processo migratório desordenado, que guiou à apropriação ilegal de terra públicas, ao crescimento desorganizado urbano, o crescimento dos conflitos sociais e as más qualidades de vida local como a carência médica e a falta de saneamento básico.

Nos fim os anos 80 e nos anos 90, o Governo Federal deixou de ser a força mais ativa no processo de transformação da paisagem amazônica dando espaço para os agentes privados (Lui; Molina, 2009). Já no final da década de 90, surgiram as novas fronteiras de expansão do desmatamento em frentes localizadas (Becker, 2004). Becker defende que as atuais regiões de fronteira são estimuladas por atores com capital privado, mostrando três importantes frentes de expansão: a primeira sai do norte do Mato Grosso em direção a Santarém pela BR-163, a segunda sai de São Félix do Xingu em direção ao Iriri no Pará, a terceira sai do norte do Mato Grosso e de Rondônia em direção ao sul do Amazonas. Tais frentes podem ser observadas nas análises dos dados do desmatamento realizadas por Escada (2010) para o período de 1997 a 2009.

2.7 Processo histórico do desflorestamento no Bioma Cerrado

O processo de desmatamento na Amazônia se inicia com a abertura oficial ou clandestina de estradas que propiciam a expansão territorial e a ocupação irregular de terras para explorar as madeiras nobres. Posteriormente a esta fase, com a derrubada da floresta, a agricultura familiar e as pastagens implantadas, especialmente em grandes propriedades, sendo este fator responsável por aproximadamente 80% das florestas desmatadas na Amazônia Legal. Atualmente as pastagens estão dando lugar à agricultura mecanizadas, principalmente àquela ligada às culturas de soja e algodão (Ferreira *et al.*, 2005).

A intensidade do desmatamento como função da distância das estradas na Amazônia Legal tem, geralmente, padrões exponenciais, isto é, grande proporção de desmatamento próximo às estradas (Ferreira *et al.*, 2005). Esses padrões já foram considerados por diversos estudos realizados na região. Ferreira (2001) identificou curvas exponenciais do desmatamento em função da distância das estradas. Nepstad *et al.* (2001) apresentaram que três quartos dos desmatamentos entre 1978 e 1994 ocorreram dentro de uma faixa de 100 km de largura ao longo das rodovias BR 010 (Belém-Brasília), BR 364 (Cuiabá-Porto Velho) e PA 150.

As origens do desmatamento na Amazônia são múltiplas e reflete um enredado conjunto de atores sociais e de inúmeros interesses que tornam uma região de buscas de oportunidades, de geração de capital, mas também de tensão e conflito (Castro, 2005).

Os agentes e forças que agem no desmatamento variam conforme a região, os grandes e médios fazendeiros são um dos maiores responsáveis pelo desmatamento, contudo, os pequenos produtores quando concentrados podem ser forças atuantes importantes (Fearnside, 2006). Segundo Margulis (2003) não se tem de fato um consenso sobre quem são os principais

agentes do desmatamento e suas motivações. Estudos mais recentes sugerem baixas taxas de retorno da pecuária na região, ficando uma lacuna para explicar o contínuo avanço do processo mesmo depois da redução e quase eliminação dos incentivos fiscais para essa atividade na região.

De acordo com esta lacuna de conhecimento, há uma percepção de que o processo dos desmatamentos da Amazônia brasileira gera perdas ambientais substanciais e insignificantes ganhos econômicos e sociais. Além de existir incerteza sobre a exata dimensão das perdas e custos ambientais dos desmatamentos. Isto tem conduzido a uma gama de perspectivas sobre o real processo de ocupação e desmatamento. Entre elas incluem-se: i) os agentes dos desmatamentos têm horizontes de planejamento curto e consistem-se suas atividades na mineração de nutrientes da floresta; ii) a pecuária na Amazônia é pouco rentável e sua persistência só se explica pelos subsídios ou créditos do governo que sustentam ganhos especulativos; iii) os pequenos produtores são importantes agentes do processo dos desmatamentos; iv) a extração da madeira é uma das principais causas dos desmatamentos; v) as estradas são também causas dos desmatamentos (e não consequência do alto potencial da agropecuária da região); vi) a soja vem se expandindo rapidamente no cerrado, pressionando a expansão da fronteira agrícola para as regiões de florestas; vii) os custos ambientais, medidos local, nacional e globalmente, são tão elevados que tornam irracionais quaisquer atividades causadoras dos desmatamentos; viii) existem inúmeras atividades alternativas sustentáveis que poderiam substituir a pecuária, gerando maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais (MARGULIS, 2003).

Segundo o INPE (2020) a taxa de desmatamento aumentou 34% entre 2018 a 2019, mostrando que as políticas públicas em curso têm sido insuficientes para manter o declínio da curva e enfrentar os vetores do desmatamento na Amazônia em razão das atuais circunstâncias do país. É nessa conjuntura do aumento crescente do desmatamento, intensificado pelo sistemático desmonte das políticas ambientais no Brasil, e por uma retórica do governo federal de desinformação e de desacordo do desenvolvimento econômico da região Amazônica com a preservação ambiental (Marcovitch; Pinsky, 2020).

Entre 2019 e 2020 o desmatamento na Amazônia e as queimadas aumentaram-se a níveis exponenciais, prejudicando seriamente a imagem do Brasil no exterior. A preocupação dos Chefes de Estado, comunidade científica, lideranças empresariais e dirigentes de organizações da sociedade civil com aumento alarmante das taxas de desmatamento no grande bioma é notória. A Noruega e a Alemanha que são os principais doadores ao Fundo Amazônia,

evidenciaram a insatisfação com a política ambiental do governo federal, criticando a conduta institucional que facilitou os perigosos eventos (Marcovitch; Pinsky, 2020).

O Cerrado é um dos biomas brasileiros mais ameaçados no Brasil. São muitas atividades impactantes que atingem diretamente e indiretamente o bioma, dentre elas o garimpo, a mineração e a agricultura (Fernandes; Pessôa, 2011). Essa região, ainda que seja o segundo maior ecossistema do país em área, é um dos hotspots mundiais para a conservação da biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), ainda não recebe a merecida visibilidade por parte dos programas governamentais de preservação ambiental, sendo muitas vezes ofuscada pela elevada atenção, não menos importante, para os desmatamentos na Amazônia (Fernandes; Pessôa, 2011).

O crescimento econômico que se desenvolve na região Centro-Oeste, especialmente, de forma acelerada na década de 1970, não vê limites. A exploração do plantio de grãos substitui valiosas riquezas naturais por amplas planícies de lavoura (Medeiros, 2007). Segundo Ribeiro *et al.* (2005), vastas extensões de matas exuberantes foram meramente suprimidas ao longo dos séculos para dar espaço à agricultura, mineração e pecuária. Rocha (2012) afirma que uma das profundas modificações ocorridas em curto espaço de tempo no Cerrado foi a conversão de áreas de vegetação natural em áreas destinadas para a produção agropecuária, tendo o relevo como fator contribuinte para essa atividade econômica, pois o mesmo varia entre plano e suavemente ondulado.

De acordo com Medeiros (2007), a carvoaria foi uma atividade impactante no Cerrado. A exploração do bioma nos últimos cinquenta anos tem causado grandes desastres que diminuem cada vez mais o número de árvores, considerando a cultura errada de aproveitamento das árvores para a geração de carvão com a finalidade de alimentar siderúrgica e servir para outras atividades de uso doméstico e de lazer.

Nos últimos quarenta anos, o Cerrado tem experimentado um aumento demográfico significativo e a vegetação nativa vem sendo substituída por monoculturas como cana-de-açúcar e soja, assim como pastagens (Fernandes; Pessôa, 2011). Segundo Cunha *et al.* (2008), a concentração do maior nível de degradação foi constatada, em particular, nas regiões de cerrado de Minas Gerais, destacando-se as microrregiões de Patrocínio, Uberaba, Uberlândia e Araxá. Em parte do sul de Goiás encontram-se Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois, e em parte do sudeste de Mato Grosso, uma única microrregião, mas líder em degradação, que é a Primavera do Leste.

Essas regiões são caracterizadas por uma agropecuária intensiva e moderna. Portanto, o Cerrado transformou-se, existindo excesso de desmatamento, erosão, compactação do solo,

assoreamento dos rios, contaminação da água subterrânea, e perda de biodiversidade, com reflexos sobre todo o ecossistema (Cunha *et al.*, 2008).

A mineração também é outra atividade dominante do bioma Cerrado com diversas consequências (Fernandes; Pessôa, 2011). Para Sánchez (1994), os impactos causados pela mineração originam principalmente várias formas de poluição que são objeto de regulamentação pelo poder público: poluição do ar, da água, sonora e subsidência do terreno. Já Salomão (1992) enfatiza que os principais impactos decorrentes dessa atividade são: desmatamento, queimada, alteração na qualidade e no regime hidrológico dos cursos de água, entre outros.

Uma das ferramentas desenvolvidas para o monitoramento da conversão da vegetação é o Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento (SIAD) (Ferreira *et al.*, 2007; Rocha *et al.*, 2011). Ele é o primeiro sistema de monitoramento anual da vegetação natural remanescente para o Cerrado, apresentou uma conversão de 3% da vegetação remanescente entre julho de 2002 a julho de 2015, tendo como os estados que mais desmataram nesse período o estado de Mato Grosso, Bahia, Tocantins e Piauí, respectivamente (Faria, 2018). Embora seja registrado a expansão do uso da terra sobre as áreas naturais remanescentes anualmente, os níveis de desmatamento diminuíram no Cerrado, apresentando uma redução -de 58,2% entre os anos de 2015 e 2016.

2.8 Impactos ambientais causados pelas construções de usinas hidrelétricas

A construção de barragens hidrelétricas altera a paisagem local por conta da sobreposição de uma massa d'água a uma superfície onde no passado atuavam processos característicos e organizados em função de uma lógica de distribuição de energia diferenciada, específica de ambientes terrestres. É válido ressaltar que tais modificações se desdobravam em tempos distintos, sendo algumas delas imediatas, e outras mais leves. A visualização dessas modificações depende da escala de análise, de modo que, pode-se comprovar que algumas delas só serão notadas ao nível de detalhe, como por exemplo a elevação e a erosão derivada da alteração dos rios de base originais, isto é, existentes anteriormente à instalação de barramentos, além da modificação nas comunidades biológicas (Serra; Oliveira, 2020).

A energia produzida nas usinas hidrelétricas foi, por muito tempo, considerada energia limpa em razão da não emissão de gases de efeito estufa. No entanto, hoje estudos evidenciam que os custos ambientais e sociais da implantação desses empreendimentos são

consideravelmente altos e ainda que tenha eficiência energética, esse sistema está longe de gerar uma energia socioambientalmente responsável (Serra; Oliveira, 2020).

Trabalhos como o de Fearnside (2015) dizem que as barragens geram quantidades volumosas de gases poluentes, principalmente em florestas tropicais, a depender da sua localização geográfica, do tempo em operação, das entradas externas de nutrientes e carbono e das características hidrológicas e morfológicas do reservatório, estas como a capacidade de armazenamento, o tempo de reposição da água nos sistemas, a área, o fluxo de vazão direcionado aos canais de drenagem, a profundidade, as flutuações do nível da água.

Bermann (2007) destacou os principais problemas provocados por esses empreendimentos na perspectiva ambiental: i) alteração do regime hidrológico dos rios; por conta do comprometimento das atividades disposto à jusante do reservatório ii) comprometimento da qualidade das águas, devido ao caráter lântico do reservatório iii) assoreamento dos reservatórios, devido à ocupação territorial nas cabeceiras, sujeitos a processos de desmatamento, vi) assoreamento dos reservatórios, resultante da decomposição da cobertura submersa, v) aumento do volume de água no reservatório, iv) problemas de saúde pública, pela proliferação de vetores transmissores de doenças endêmicas devido à formação dos remansos nos reservatórios, iiv) dificuldades para assegurar o uso múltiplo das águas, devido ao caráter histórico de priorização da geração elétrica em detrimento dos outros possíveis usos.

3 MATERIAL E METODO

3.1 Area de estudo

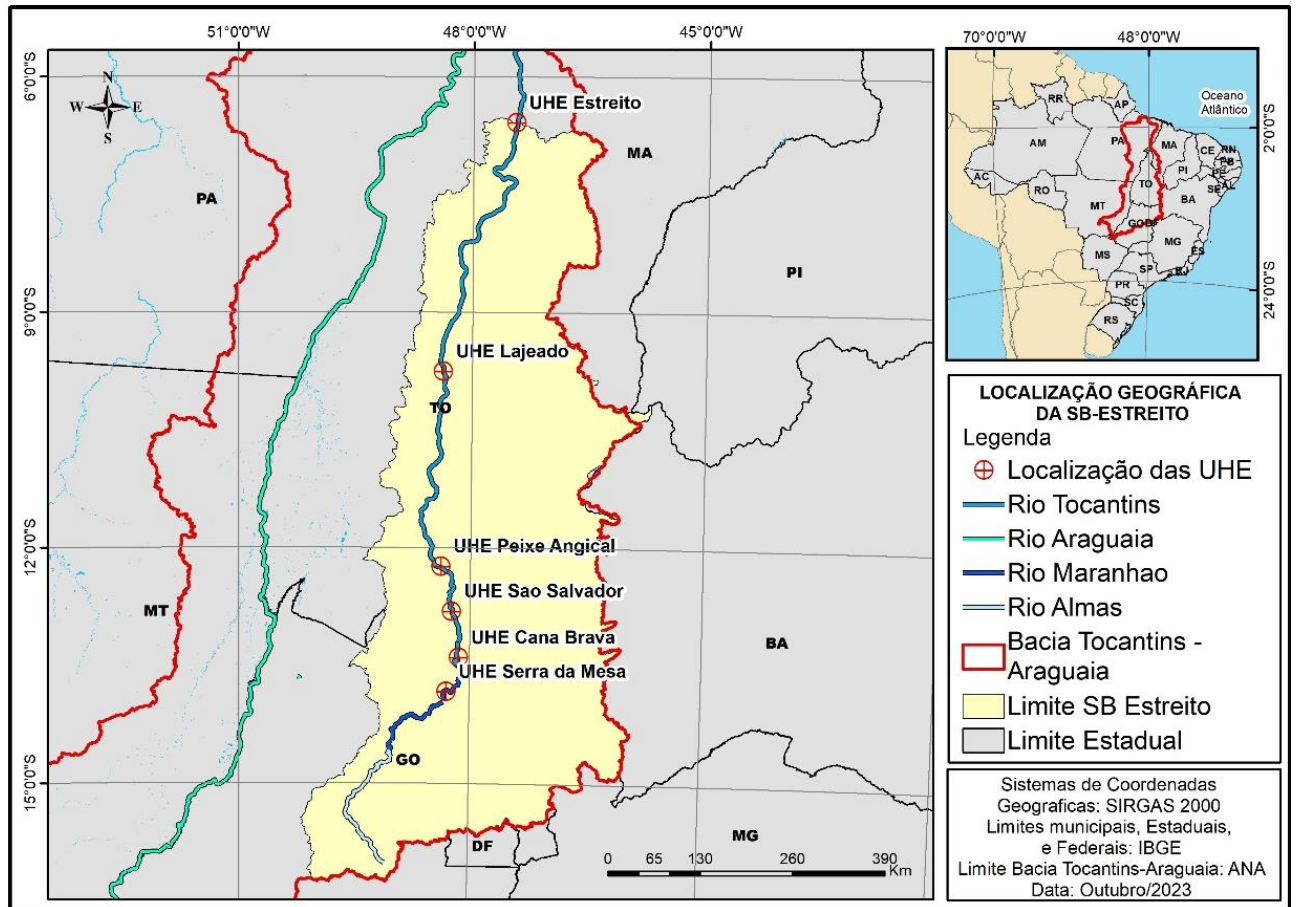
A área de estudo consiste na SB-ESTREITO (Sub-bacia do Estreito), que fica localizada em sua maioria no Estado do Tocantins (TO), e Goiás (GO), ou seja, localizada, majoritariamente nas regiões norte, centro-oeste do Brasil. Sobre o regime chuvoso na região Centro-Oeste do Brasil, a porção norte desta região recebe influência dos sistemas que atuam sobre a região amazônica, e a porção sul sofre ação de sistemas extratropicais, como a passagem de frentes (Alves, 2009).

O local encontra-se inserida totalmente no bioma cerrado, este bioma, encontra-se dividido na região norte, centro-oeste e nordeste brasileira. Quanto as características do bioma, sua grande extensão territorial leva a existência de diferentes condições de solo e clima, conta com padrões climáticos sazonais (estação seca e estação úmida) que variam em intensidade, conforme a região e o período do ano (Sette, 2005).

A SB-ESTREITO faz parte em sua maioria do rio Tocantins, e mais ao sul desta bacia compreende um trecho do rio Maranhão e Almas, totaliza uma área de 285.167,06 km². O Rio Tocantins nasce no Estado de Goiás, no planalto central e por sua localidade, essa região possui um elevado potencial hidroelétrico.

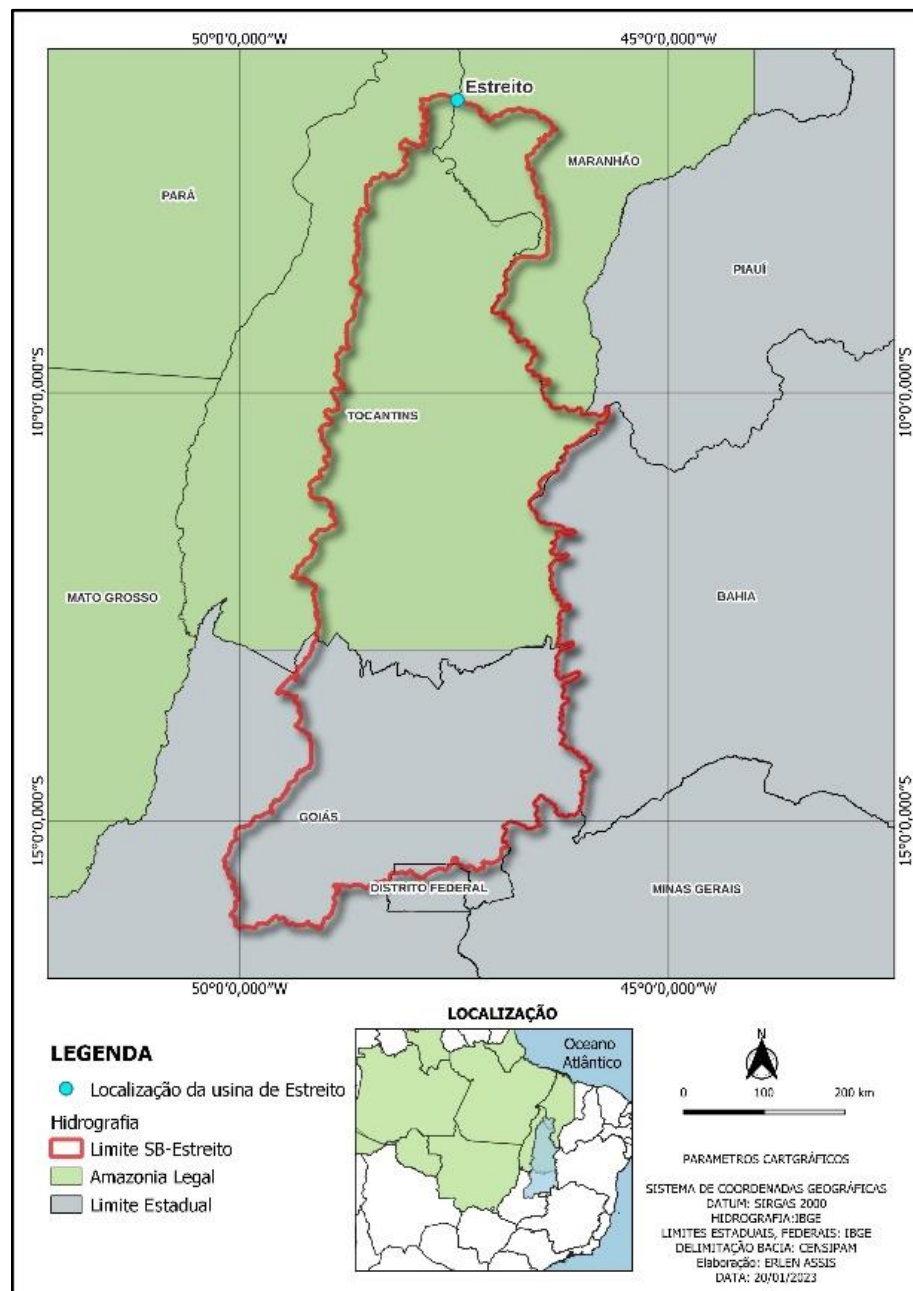
No mapa da figura 7 e 8 é possível observar os limites geográficos da SB-ESTREITO, para delimitação desta SB, foi utilizada a localização da usina de ESTREITO (UHE Estreito) como exultório, ou seja, onde se dá todo o escoamento superficial gerando no interior uma bacia hidrográfica. Além da Usina de Estreito, ao decorrer do rio Tocantins, tem-se a presença de outras usinas como a do Lageado, Peixe Angical, São salvador, Cana Brava e Serra da Mesa, tornando a área de estudo um local de grande potencial hídrico.

Figura 7 - Mapa de localização da SB-Estreito



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - localização da SB e limites da Amazônia Legal



Fonte: Elaborada pelo autor.

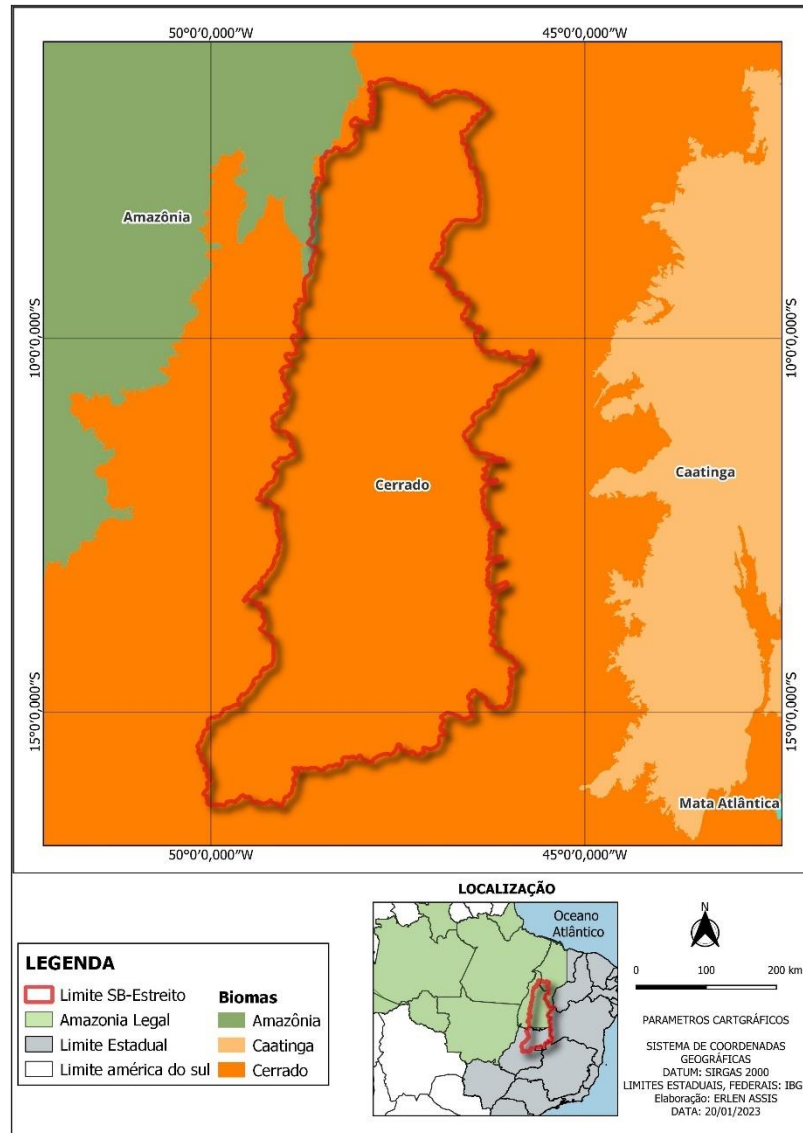
a) Problemática e escolha da Área de Estudo

A bacia do Estreito, foi usada como objeto de estudo nessa pesquisa por conter áreas de vegetação alterada, por fatores antrópicos e por conter seis usinas hidrelétricas ocasionando uma série de impactos neste local. Outro fator que influenciou na escolha foi a sua localização por estar concentrada no totalmente no bioma cerrado (figura 10), segundo maior bioma brasileiro, explorado e conhecido por ter atividades de garimpo, mineração e agricultura. O

Cerrado funciona como um grande coletor de água.

A predominância de paisagens abertas, que ocupam quase 40% de seu território, permite que as águas das chuvas sejam absorvidas pelo solo com mais facilidade, abastecendo o lençol freático, as bacias hidrográficas e os rios (Silva, 2023).

Figura 9 - Limites do bioma na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A bacia hidrográfica estudada nessa pesquisa, sofre os impactos decorrentes das hidrelétricas, porém, estão localizadas em áreas de interesse para conservação da biodiversidade (Bessa *et al.*, 2011).

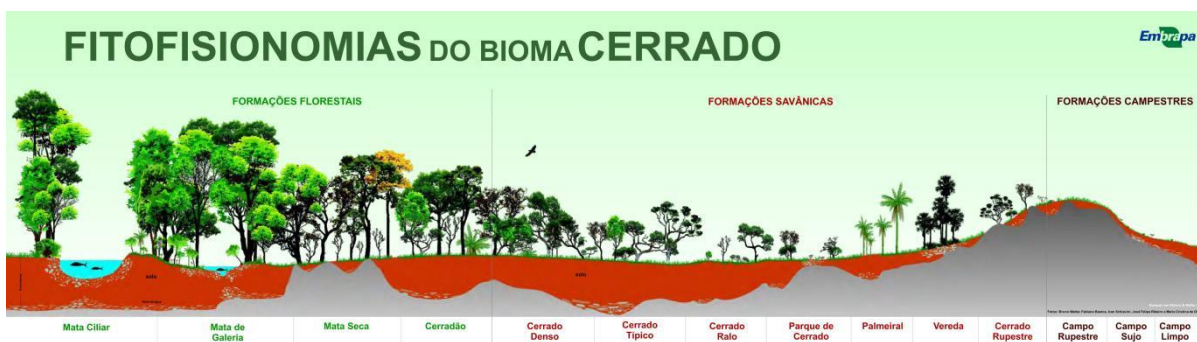
É muito comum ocorrer certas alterações na biodiversidade de um determinado local devido à construção de um reservatório. Em alguns locais, houve alteração na vegetação devido

à construção do reservatório da usina hidrelétrica de Serra da Mesa (Albrecht; Pellegrini-Caramaschi, 2003). Na SB-ESTREITO ocorreram alterações durante os anos como a construção das usinas.

Uma característica marcante na área de estudo é o bioma cerrado, conforme as informações do Mapbiomas, na classe do Mapbiomas existe a classe floresta, na classe de Floresta, existem outras sub-classes como as formações Florestal e Formação Savânica. De acordo com Ribeiro; Walter (2008), a formação florestal típica do bioma cerrado é descrita pelo mapbiomas com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), além de florestas estacionais semidecíduais.

Enquanto na Formação Savânica tem características de estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, cerrado típico, cerrado ralo e Cerrado rupestre). As descrições de todas as classes estão disponíveis no link <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/Legenda-Colecao-8-Descricao-Detalhada-PDF-PT-3-1.pdf>, sendo assim a vegetação nativa da área de estudo é composta por formações florestais e Savânicas. Na figura 10, é disponibilizado pela EMBRAPA as fisionomias da formação florestal e savânica.

Figura 10 - Imagem das fitofisionomias do bioma cerrado.



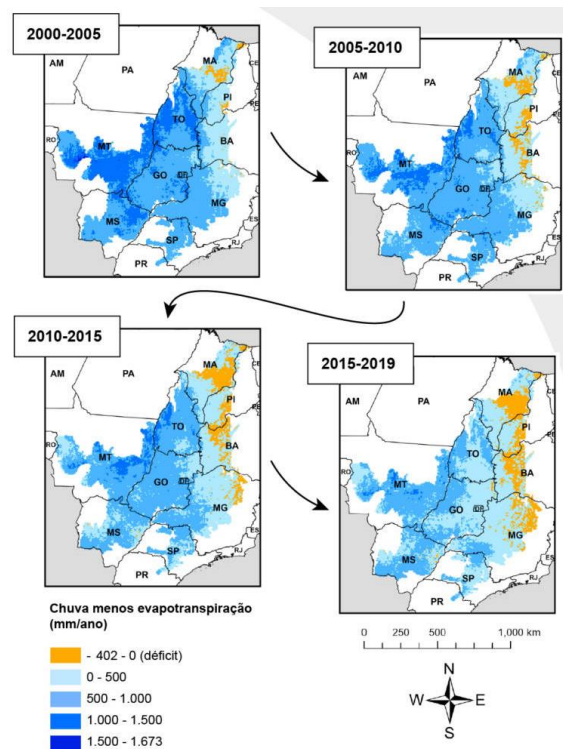
Fonte: Ribeiro e Walter (2008).

Outro fator que influenciou na escolha da área, foi o desmatamento crescente no bioma cerrado, o INPE (2023) divulgou uma nota mapeando a supressão da vegetação nativa. O valor mapeado foi de 11.011,70 km² de corte raso no período de agosto de 2022 a julho de 2023. Esse valor representa um aumento de 3,02% em relação ao valor apurado pelo PRODES 2022, que foi de 10.688,73 km² para o bioma Cerrado.

O desmatamento nesse bioma é preocupante, e uma série de estudos tem-se realizado para a região, outra problemática seria que a mudança de cobertura vegetal afeta o comportamento de variáveis hidrometeorológicas.

Um estudo publicado pelo jornal da UNESP, mostrou que as bacias hidrográficas do Cerrado vêm perdendo água continuamente entre 2000 e 2019 (figura 11). O estudo constatou que o Fenômeno resulta da diminuição do volume de chuvas e do aumento da perda de água no solo por evaporação e pela transpiração das plantas, e estaria associado a mudanças na cobertura vegetal e ao crescimento das lavouras de soja e de cana-de-açúcar, figura 11 (Silva, 2023).

Figura 11 - Imagem das características da bacia do Estreito



Fonte: Silva, Manzione e Caldas (2023).

3.2 Os dados hidrometeorológico

Para os dados de precipitação, foi utilizada a informação do estimador de chuva por satélite Climate Prediction Center (CPC), de acordo com Tapiador *et al.* (2017), as estimativas de precipitação por satélite possuem certas vantagens aos pluviômetros e radares em termos de cobertura espacial, principalmente em estudos realizados para grandes bacias.

Os dados do produto CPC Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation gerados pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP) é um projeto da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) que se destina à combinação de todas as fontes de informações disponíveis no CPC, juntamente com a utilização de técnicas de

interpolação para a criação de um conjunto unificado de produtos de precipitação com robustez qualitativa e quantitativa (SUN *et al.*, 2018). As informações são disponibilizadas pelo Physical Sciences Laboratory (PSL), com resolução de $0,50^\circ \times 0,50^\circ$ (50 km), com informações atualizadas diariamente, desde 01/01/1979, no formato netCDF (NOAA-CPC, 2023).

Para obter os dados de precipitação mensal da área de estudo, e posteriormente somar o acúmulo anual, foi usado um código em formato SQL, onde foi realizado a determinação dos valores da precipitação total mensal ocorrida na bacia hidrográfica. Utilizou-se uma adaptação do método Thiessen, tendo como referência os valores de precipitação de cada ponto de grade de estimadores de chuva por satélite.

O método assume que em qualquer ponto da bacia o valor da precipitação da bacia será obtido através do produto entre a área parcial de cada grade e sua respectiva precipitação. Desta forma, a precipitação total mensal da bacia foi obtida através da equação I.

$$P_m = \sum_{i=1}^n P_i \frac{A_i}{A_t} \quad (I)$$

Onde:

- P_m - Precipitação média na bacia (mm);
- A_i - Área de cada célula da grade contida na bacia;
- A_t - Área total da bacia;
- P_i - Precipitação de cada ponto de grade.

Quanto as informações de vazão são oriundas da base de dados técnica do ONS (Operado Nacional do Sistema elétrico), disponibilizados pelo link (http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados_hidrologicos_vazoes.aspx) e contemplam os reservatórios coordenados pelo ONS. Os dados das vazões foram convertidos de m^3/s para mm, a fim que compatibilizem com a unidade da precipitação.

Para conversão dos dados de m^3/s para mm, utilizou-se a série histórica de vazão afluente (Que chega a um aproveitamento hidrelétrico) da área de estudo. De todo o conjunto de dados, foram utilizadas as medidas diárias de vazão (originalmente em m^3/s), em seguida foi calculada a média mensal e posteriormente multiplicadas pelo número de dias do mês e pelo número de segundos em um dia, que seria de 86.400 (86,4 na fórmula abaixo) e depois foi

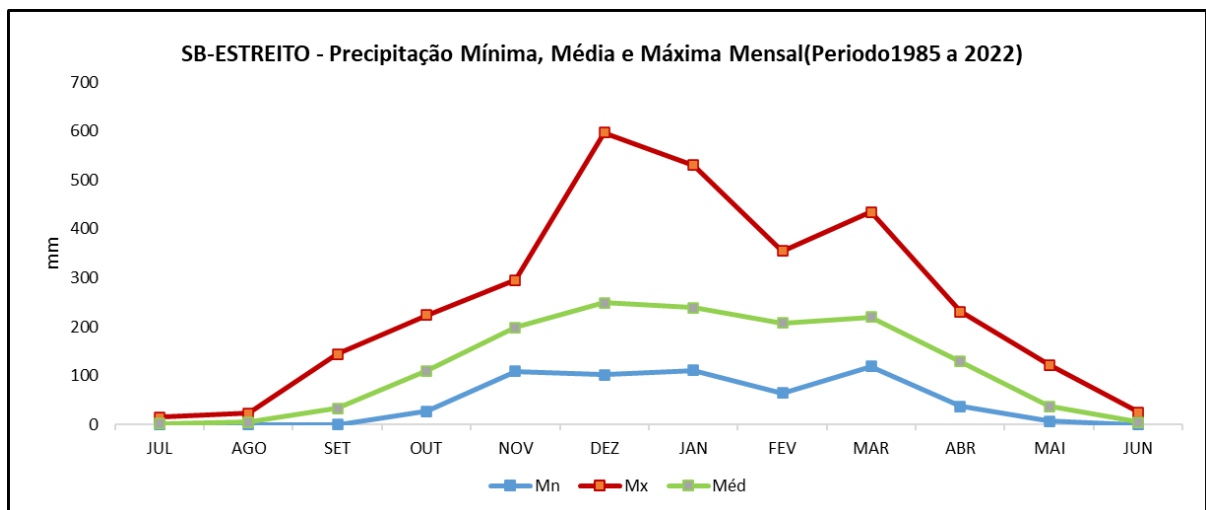
dividido pela área da drenagem em km², gerando os totais mensais em lâmina d'água (mm), Equação II.

Equação II:

$$H_{mm} = \frac{\text{Dias}_{(\text{mês})} * Q_{(\text{m}^3/\text{s})} * 86,4}{A: \text{Drenagem}_{(\text{km}^2)}}$$

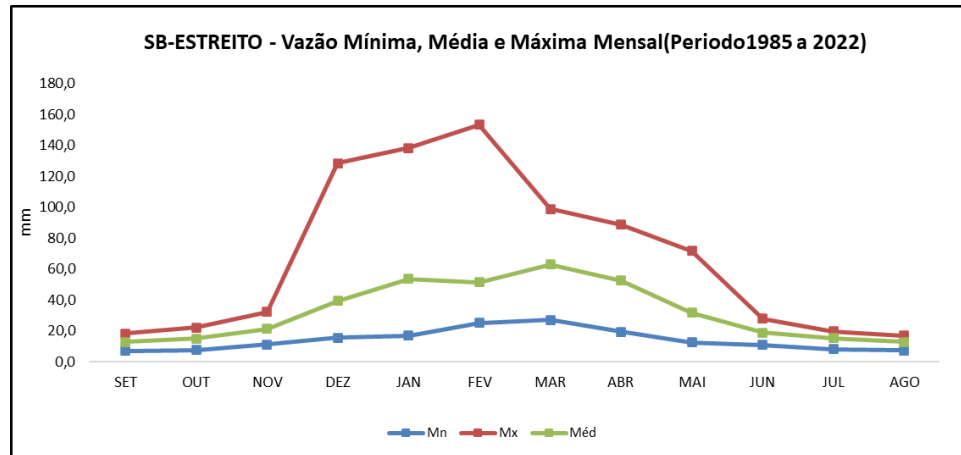
Toda a análise hidrológica dos dados foi baseada no ‘ano hidrológico’, o ano hidrológico refere-se aos meses de menores valores de vazão e de precipitação e termina 11 meses depois (Linhares, 2006). Para a área de estudo, foram determinados que o ano hidrológico da precipitação se iniciaria em julho, enquanto que o de vazão é setembro.

Figura 12 - Distribuição mensal da precipitação mínima, média e máxima, para a SB ESTREITO na determinação do ano hidrológico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 - Distribuição mensal da Vazão mínima, média e máxima, para a SB ESTREITO na determinação do ano hidrológico



Fonte: Elaborada pelo autor.

De posse dos valores de precipitação e vazão tratados e definido o ano hidrológico das variáveis precipitação e vazão, calculou-se a resposta hidrológica, taxa de incremento de deflúvio (TID).

A resposta hidrológica é uma variável adimensional relacionada com a produção de água da bacia, dada pela razão entre vazão e precipitação ($Rh = Q/P$). De modo geral, pode-se dizer que é a maneira que uma bacia responde ao escoamento da precipitação que cai no solo. (Santos, 2019). Equação III:

Equação III:

$$Rh = Q/P$$

Q - É a soma total da vazão no ano hidrológico;

P - É a soma total da precipitação no ano hidrológico.

O tempo de incremento de deflúvio (mm/dia), está relacionado ao tempo de residência da água na bacia, ou seja, quanto maior for a taxa, mas rapidamente à água saiu da bacia, configurando menor tempo de residência. A equação corresponde à razão entre a diferença da vazão máxima do ano hidrológico e a vazão mínima do ano hidrológico, dividido pelo tempo transcorrido, em meses, entre o valor mínimo e o valor máximo e tem como unidade mm/dia (Linhares, 2006; Alcantara, 2009; Santos, 2009). E foi calculado pela equação IV:

Equação IV:

$$T_{id} = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{\Delta T}$$

Onde:

Max = valor de máximo de vazão no ano hidrológico (mm);

Min = valor mínimo de vazão no ano hidrológico (mm);

ΔT = tempo em meses entre o valor mínimo e o valor máximo.

3.3 Análise estatística dos dados

Para testar a estacionariedade da série temporal das variáveis estudadas da SB-ESTREITO, foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), nos elementos precipitação, vazão, TID e Resposta hidrológica. O teste é usado por vários pesquisadores para observar tendências, quando se trata de dados hidrológicos e, é bastante utilizado em análises de séries hidrometeorológicas, além de ser o método estatístico mais recomendado para detectar possíveis alterações decorrentes das mudanças climáticas (Ferrari *et al.*, 2012).

Com base em uso de pesquisa, autores como Santos *et al.* (2016); Fernandes *et al.* (2022); Santos (2019), usam o teste estatístico não paramétrico, aplicado na identificação de tendências significativas de longo prazo e que demonstra muita robustez, quanto aos desvios de normalidade e de não estacionariedade dos valores de uma série.

Para um conjunto de dados, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, com $n > 4$, em que n é o número de pontos de dados para a comprovação da hipótese nula H_0 (onde não há tendência positiva nem negativa na série) ou de hipótese alternativa H_1 (uma tendência está presente nos dados que pode ser de aumento ou de diminuição.). As equações matemáticas para o cálculo das estatísticas do teste de Mann-Kendall S , $V(S)$ e padronização a estatística do teste Z .

A equações de Man-kendall, e difundida por várias cientistas, Santos *et al.* (2016); Fernandes *et al.* (2022); Santos (2019), conceituam as equações abaixo V, VI:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \cdot \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(X_j - X_k)$$

(V)

onde,

$$sgn(x_j - x_k) \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

(VI)

Em que S é o total das contagens de $(x_j - x_k)$; x_j é o valor inicial após x_k , n é o número de dados da série temporal. Quando existe um número alto de observações (n), a distribuição de probabilidade S tende para uma distribuição normal, com média zero e variância dada por (Equação VII):

$$V(s) = 1/8 [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)]$$

(VII)

Onde t_p é o número de observações iguais no grupo p, n é o número de observações, g é o número de grupos vinculados (um conjunto de dados de amostra com o mesmo valor). Logo a estatística Z do teste de Mann-Kendall (Equação VIII) foi então calculada:

$$z(MK) = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } s > 0 \\ 0 & \text{se } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } s < 0 \end{cases}$$

(VIII)

Onde o valor positivo de Z indica uma tendência ascendente, enquanto um Z negativo indica uma tendência descendente. O nível de significância α adotado é de $\alpha = 0,05 = 5\%$ para o teste de Mann-Kendall. Se a probabilidade p do teste de Mann-Kendall for menor que o nível α , $p < \alpha$, uma tendência estatisticamente significativa existe, enquanto, um valor de $p > \alpha$, confirma uma tendência insignificante (Fernandes, 2022), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Teste de man-kendall para análise de tendências

Estatística S	Valor p	Tendência
S > 0	p < 0,05	Crescimento
S > 0	p > 0,05	Sem tendência
S = 0	-	Sem tendência
S < 0	p > 0,05	Sem tendência
S < 0	p < 0,05	Decréscimo

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Dados de desmatamento e Método do Mapbiomas

O MapBiomas se mostrou mais adequado para o estudo proposto, pois ele tem as áreas de cobertura da terra anual, sendo possível acompanhar as mudanças desde 1985, como se precisa de dados anuais optou-se por usar os dados desta plataforma.

Para o cálculo de uso e cobertura do solo, na área de estudo, as informações brutas foram processadas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) baixados do Google Earth Engine, onde foi feito um recorte das coberturas do solo em questão e posteriormente feito o cálculo anual das classes de florestas etc, e quantificar o desmatamento, os dados foram processados em formato rastere convertidos em polígonos.

Para classificar o desmatamento ou perda de vegetação nativa da SB-ESTREITO, foi utilizado a classe Floresta do Mapbiomas, feito o download dos mapas de coleções do MapBiomas no Brasil, desde 1985 até 2022, realizou -se o recorte da área de estudo em ambiente SIG, depois classificou conforme o código de legendas para os valores de píxel na coleção 8 do Mapbiomas, link <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/Legenda-Colecao-8-LEGEND-CODE.pdf>.

Selecionou a classe floresta de todos os anos em ambiente SIG e posteriormente fez-se o cálculo das áreas florestadas para cada ano em quilômetros quadrados (km²), para o cálculo do desmatamento, usou-se como ano base as classes de florestas de 1985, ou seja, em 1985 a classe de floresta era a vegetação original da área de estudo, o intuito era observar a perda dessa vegetação no decorrer dos anos.

Em 1985 a classe de floresta na área de estudo era em torno de 187.750 km², em 1986 a área era de 187.698 km², 1987 era de 187.102 km², em 1988 era de 186.387 km², em 1989 era de 185.129 km², 1990 era de 184.211 km². A cada ano a classe de floresta foi reduzindo, a partir da vegetação original presente em 1985, calculou-se os desmatamento ou desflorestamento

acumulado, fazendo subtração de cobertura florestal de cada ano em relação ao ano base de 1985.

Sobre o método para a composição do uso e cobertura da terra, o projeto MAPBIOMAS usa mosaicos de imagens de satélite LANDSAT com resolução espacial de 30 m, onde ele produz classificações que resultam nos mapas de cobertura e uso da terra para cada ano. Os mapas são atualizados cada vez que houver um aperfeiçoamento nos algoritmos de classificação. A metodologia de classificação é dinâmica e processual, para aperfeiçoar a classificação de cada tipologia. Os dados são disponibilizados em formato GeoTiff.

Os mapas anuais de cobertura e uso da terra são produzidos a partir da classificação píxel a píxel de imagens dos satélites Landsat. O processo é feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (machine learning), figura 14, através da plataforma Google Earth Engine que oferece capacidade de processamento na nuvem, figura abaixo.

Figura 14 - Processo de classificação dos dados do Mapbiomas.



Fonte: (Mapbiomas, 2023).

São necessárias 380 imagens para cobrir o país, cada uma dessas imagens com pixels de 30x30 metros. Esses pixels são as unidades de trabalho do Mapbiomas. As imagens podem conter nuvens, fumaça e outros artefatos que podem sujá-las, para produzir imagens limpas, são selecionados os pixels sem nuvens dentre as imagens disponíveis para o período selecionado.

Para cada ano é montado um mosaico que cobre o Brasil representando o comportamento de cada pixel através de 105 métricas ou camadas de informação (figura 15). Esse conjunto de mosaicos é salvo como uma coleção de dados (Asset) dentro do Google Earth Engine. Este mosaico é de duas formas principais. Primeiro como fonte de parâmetro para o algoritmo classificar as imagens. E deste mosaico que sai também a composição RGB que permite visualizar as imagens de fundo da plataforma Mapbiomas. Esta composição é utilizada

também como coleta de amostras de treinamento e avaliação de acurácia por interpretação visual.

Figura 15 - Processo de classificação dos dados do MAPBIOMAS.



Fonte: (Mapbiomas, 2023).

A partir do mosaico de imagens, as equipes de cada bioma e de cada tema transversal produzem um mapa de cada classe de cobertura e uso da terra (floresta, campo, agricultura, pastagem, área urbana, água, etc.), figura 17 resumo do fluxo até o processo de geração da estatística.

Este sistema é baseado em aprendizado de máquina: para cada tema a ser classificado, as máquinas são “treinadas” com amostras dos alvos a serem classificados. A metodologia mais detalhada de como ocorre a classificação está disponível no site oficial do projeto.

Figura 16 - Processo de classificação dos dados do MAPBIOMAS.



Fonte: (Mapbiomas, 2023).

3.5 Dados de Relevo e Solo

Para este estudo, e devido à dimensão geográfica da SB-ESTREITO, optou-se por analisar o relevo, com base nas imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM), pela National Aeronautics and Space Administration (NASA). Tal missão espacial obteve um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra, o qual gerou uma base de cartas altimétricas digitais, com resolução espacial de 90 m. Tais dados serão utilizados neste estudo, para avaliar as variações altimétricas de cada bacia e entre elas. Com as imagens SRTM da área de estudo, classificou as altitudes.

O mapa de solos disponível foi obtido com a EMBRAPA, elaborado com base no novo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 pp.) e publicado pelo IBGE. A referência é: IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000. Mapa de solos do Brasil original pode ser acessado no formato shapefile, para se obter e gerar a grade de solos, apenas o atributo CLASSE do mapa vetorial de solo foi selecionado.

Posteriormente foi calculado a área de cada solo na área de estudo, gerados as porcentagens de representação, para saber qual o solo mais representativo.

4 RESULTADOS

4.1 Desflorestamento

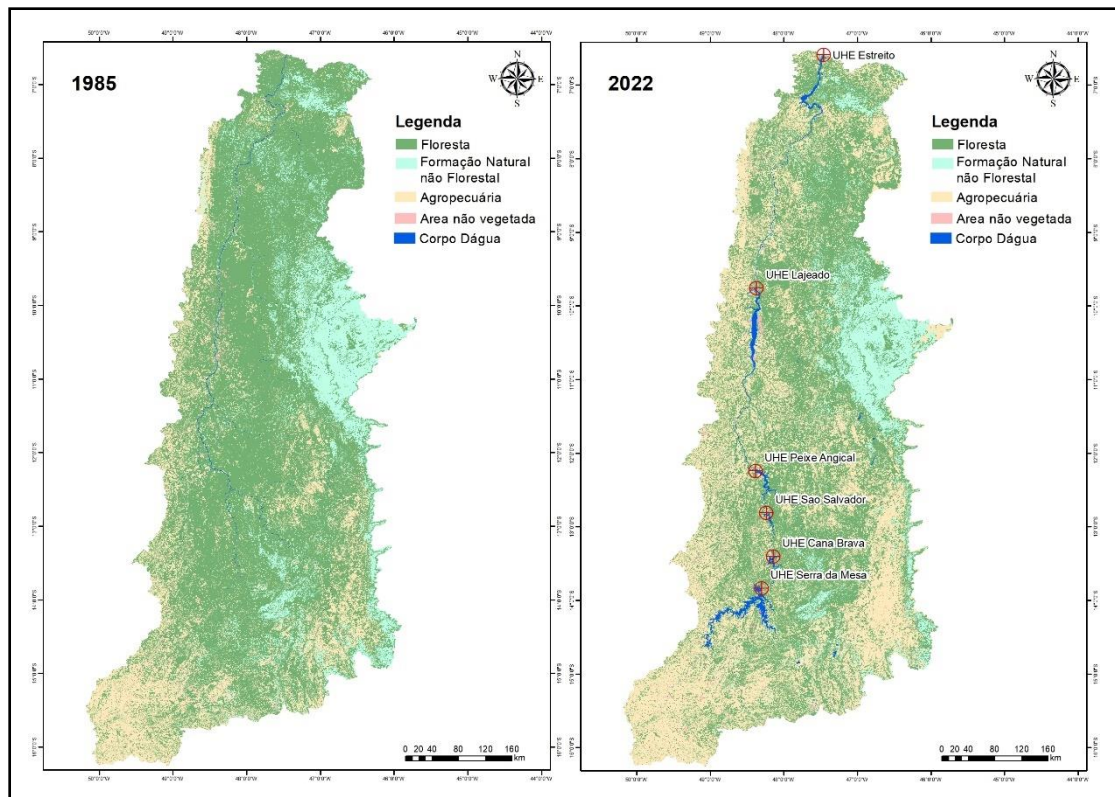
Na SB-ESTREITO a mudança da paisagem foi marcante em 37 anos (1985 – 2022). Em 1985, a bacia ainda se apresentava consideravelmente preservada, neste ano as áreas correspondentes a florestas estavam em torno de 187.076 km², o que corresponde a aproximadamente 65% do território da SB-Estreito, em 2022, as áreas de floresta passam a ser 48% do território.

De 1985 a 2022 teve-se uma perda de cobertura florestal de 49.872 km², ou seja, aproximadamente 26,6% de áreas suprimidas da vegetação original presente em 1985. Nota-se no mapa da figura 18, que no ano de 2022, as usinas ficaram mais visíveis, tons em verde mostram a cobertura vegetal, nota-se que ela foi reduzida ao redor da malha hidrográfica para a construção das mesmas.

Na UHE Serra da mesa, por exemplo, só existia vegetação em 1985, em 2022 tem-se a existência do reservatório. Segundo os dados oficialmente da ONS, apenas a UHE Serra da Mesa e Peixe Angical são considerados reservatórios de acumulação, as demais usinas como Estreito, Lageado, São Salvador e Cana Brava tem características de Fio d'água.

Barragens fio d'água são as que tem como característica, um pequeno reservatório, não havendo armazenamento de água para escoamento sazonal, como ocorre nas unidades que operam com reservatórios de acumulação (Revista Furnas, 2005). Apesar das informações, Lageado apresenta um reservatório maior de água em 2022, e sua construção reduziu a cobertura vegetal ao redor, figura 17.

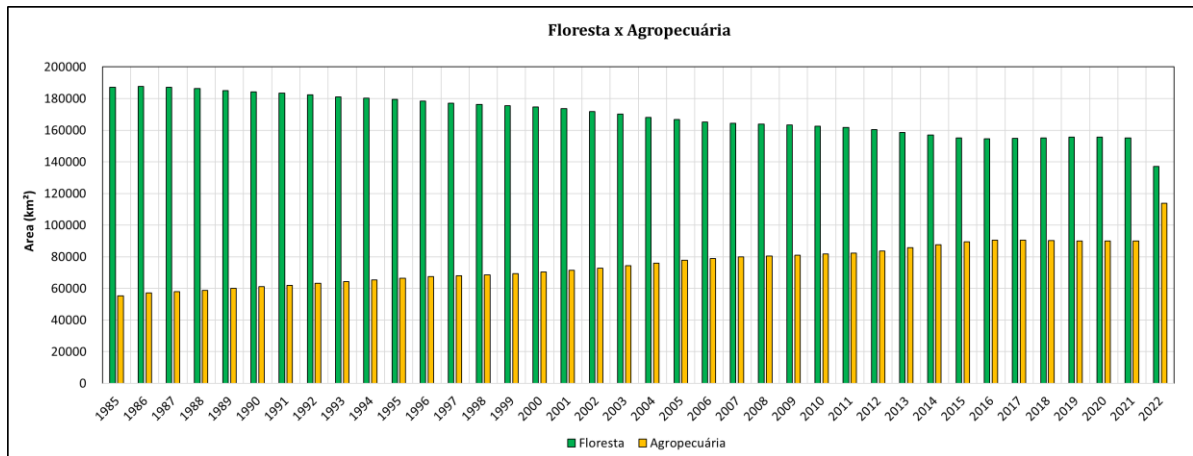
Figura 17 - Mapa de uso e cobertura do solo



Fonte: Adaptado do (Mapbiomas, 2023).

Outro dado, foram a expansão das áreas de agropecuária, em 1985 essas áreas somavam em torno de 55.313 km², aproximadamente 19% do território da SB, em 2022 expandiu para 113.800 km², equivalente a 40% da SB-ESTREITO, ou seja, o crescimento dobrado. No gráfico da figura 19, é possível ver o seu avanço durante os anos, além da diminuição das áreas de floresta no local.

Figura 18 - Gráfico das Áreas de Florestas x Agropecuária

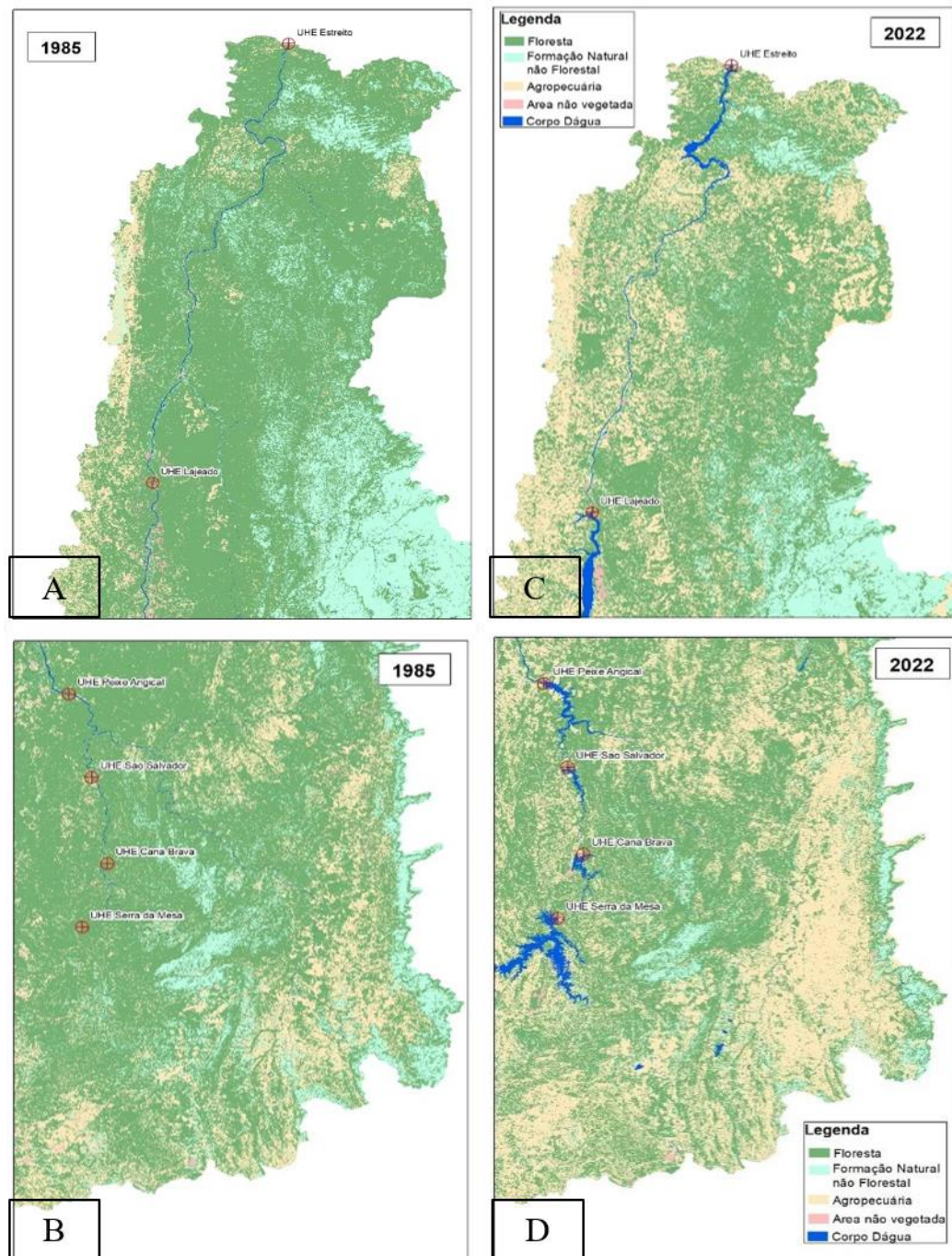


Fonte: Elaborado pelo autor, com base no Mapbiomas (2023).

Na área de estudo a usina mais antiga é a da Serra da mesa, inaugurada em meados de 1998, ou seja, em 1985 não existia nenhuma hidrelétrica na área de estudo. Em 2022, reservatórios de água, estão mais visíveis em praticamente todas as usinas da área de estudo. Na figura 20, é mostrado o antes e depois na área de estudo, nos principais locais onde ocorreram as mudanças, tons em amarelo mostram as áreas de agropecuária, tons em verde sua cobertura florestal, nota-se em 2022 a expansão da agropecuária nas proximidades do rio Tocantins e a diminuição das Florestas, tons em azul mostram a hidrografia, nas imagens de 2022 os corpos d'água expandiram principalmente ao redor das usinas hidrelétricas.

Figura 19 - Antes (1985) e depois (2022): A mudança da cobertura do solo na SB-ESTREITO

A) 1985 UHE Estreito; B) 1985 UHE Peixe Angical; C) 2022 UHE Estreito; D) 2022 UHE Peixe Angical



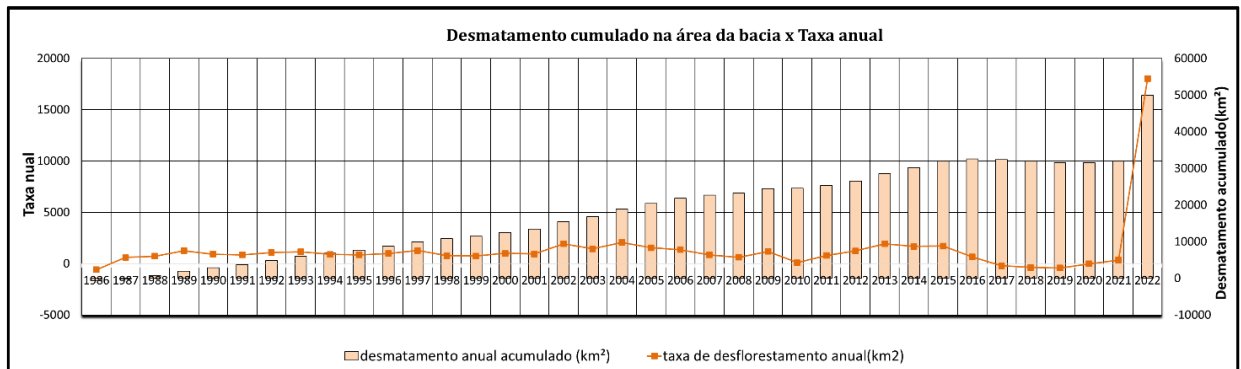
Fonte: Elaborado pelo autor, com base no Mapbiomas (2023).

Os dados do Mapbiomas, gráfico da figura 21, mostram que o acumulo anual de perda da cobertura florestal original apresentou crescimento consideravelmente constante.

A maior taxa de desmatamento ocorreu no ano de 2022, uma supressão de 18.011 km² ou seja, aproximadamente 10% de supressão de vegetação original nesse ano, os anos anteriores

mostram que a taxa de desmatamento continuou, embora de maneira menos intensa, nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020 manteve-se estavel, todavia em 2021, e principalmente em 2022 a taxa anual disparou.

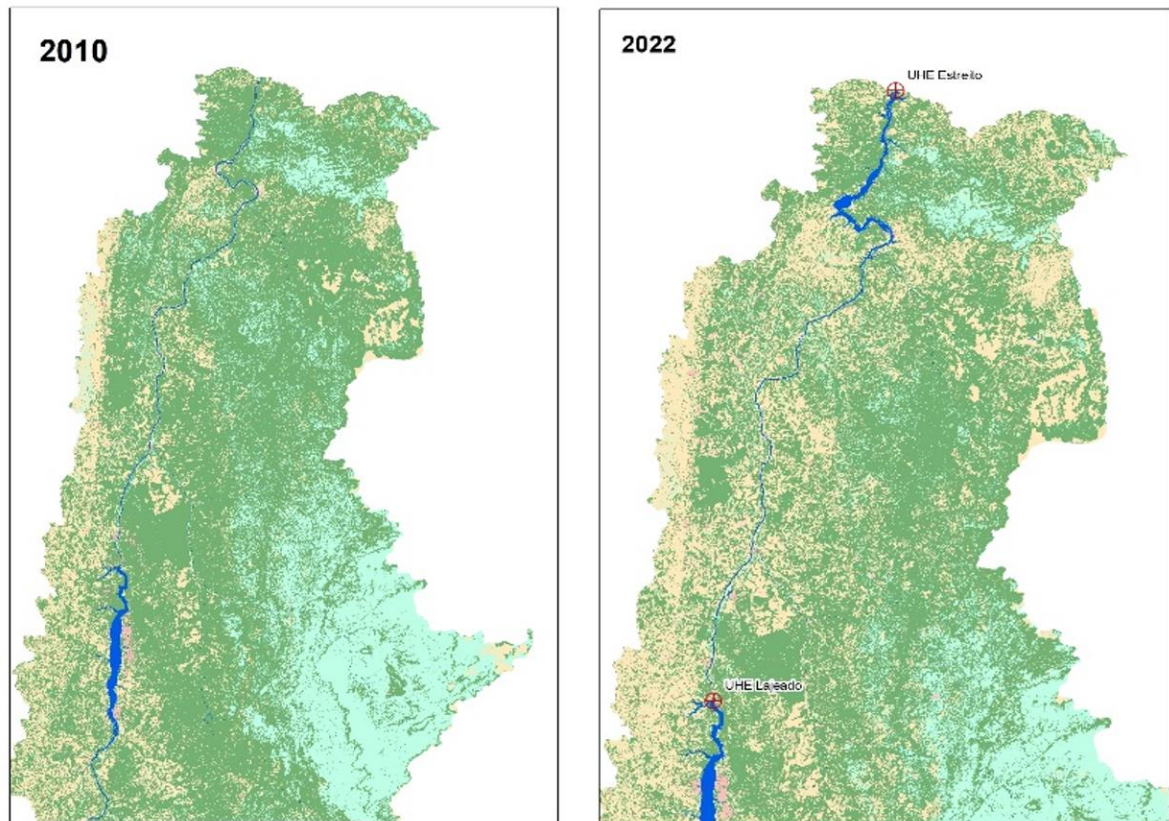
Figura 20 - Gráfico do desmatamento acumulado x Taxa anual



Fonte: Elaborado pelo autor, conforme dados do Mapbiomas (2023).

Em meados de 2011 inicia-se a construção de UHE Estreito e em 2012 ocorre sua inauguração. Nota-se que em 2010 a mesma ainda não existia, porém em 2022, o rio Tocantins ficou mais avantajado nas proximidades de estreito criando-se um reservatório ao seu redor (figura 21).

Figura 21 - Cobertura da terra na parte norte da SB-ESTREITO, referente ao ano de 2010 e 2022



Fonte: Elaborado pelo autor, conforme dados do Mapbiomas (2023).

De acordo com a lei 12.651/2012, novo código florestal, as Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

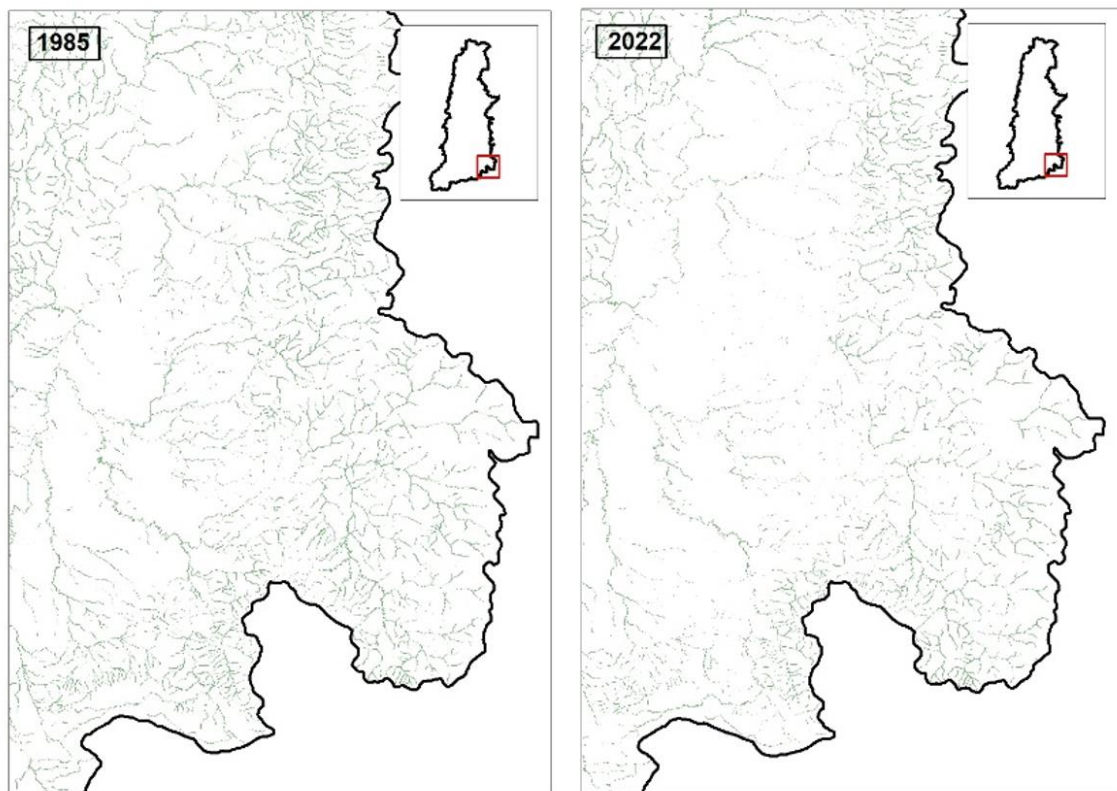
Conforme o artigo 4 desta lei, considera-se APP, em zonas rurais ou urbanas, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura.

Para a área de estudo, foi considerado as APPs de 100 metros, pois os cursos d'água apresentam mais de 50 (metros) de largura. Com o intuito de observar se as APPs estão sendo protegidas, gerou-se uma área de 28.251,02 km² de áreas de APP em toda bacia. Em 1985, a vegetação nativa ainda se encontrava consideravelmente preservada, totalizando 21.450 km²

(figura 23), isto é, 76% de florestas em áreas de APP. Em 2009, já haviam sido removidos 1.329 km² em relação à área original de 1985. Porém, em 2022 a situação foi mais intensa, houve uma perda de 3.776 km² em relação a 1985, ou seja, 17,6% de perda de vegetação original nas áreas de APP.

A parte sul da bacia foi a mais impactada, na figura 22, tem-se um foco nas áreas de APP, para o ano de 1985 e 2022, e suas diferenças, de mais de três décadas.

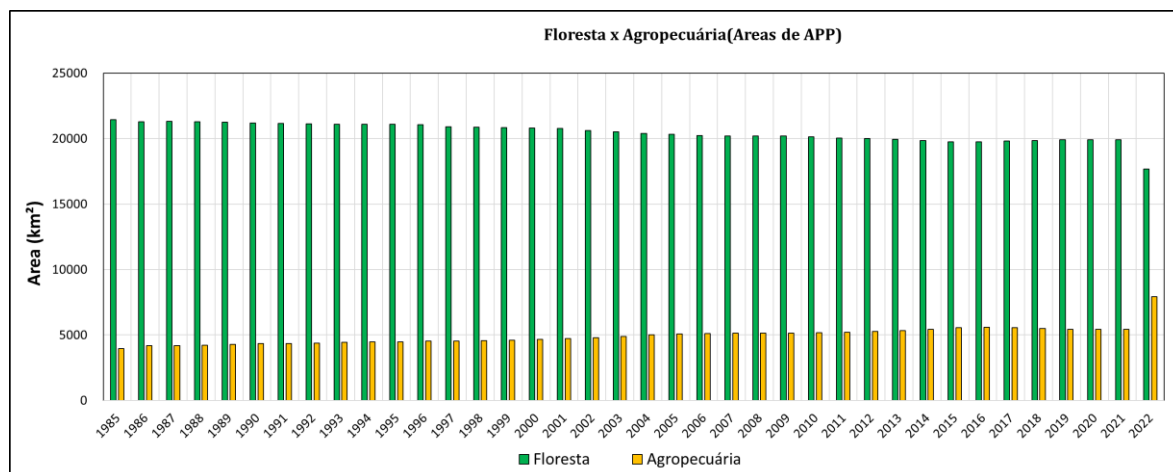
Figura 22 - Antes (1985) e depois (2022) das áreas de florestas nas APP



Fonte: Elaborado pelo autor, conforme dados do Mapbiomas (2023).

Na totalidade da bacia foi suprimida de 2022 em relação a 1985, uma área de 49.872 km², na área das apps ocorreu a supressão de 3.776 km², ou seja, 7,57% da área suprimida toda foram nas áreas de APP. Outro fator importante, foram os decrementos das áreas de vegetação nativa, e o crescimento da agropecuária nesses locais, figura 23.

Figura 23 - Série histórica das áreas de floresta x agropecuária, nas APP da SB-ESTREITO

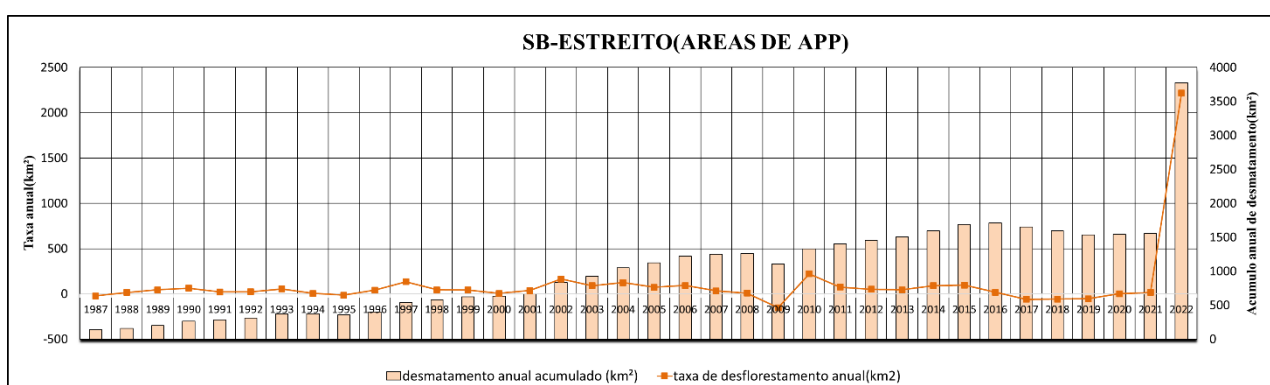


Fonte: Elaborado pelo autor, conforme dados do Mapbiomas (2023).

No gráfico da figura 24, é mostrado o desmatamento acumulado durante os anos e alguns anos mais estáveis, o desmatamento acumulado cresceu em 2022, com uma taxa de 2.219 km² só nesse ano nas APP, o ano que ocorreu a maior supressão, figuras 24.

De acordo com o Relatório Anual do Desmatamento- RAD, no Brasil do Mapbiomas (2023), estima-se que o desmatamento no Cerrado, aconteceu no início de abril de 2022. Na Amazônia, foi no final de julho. Na Mata Atlântica, o padrão foi diferente do ano de 2021 (pico em agosto) e ocorreu no final de março de 2022.

Figura 24 - Série histórica do desmatamento acumulado x taxa anual de desmatamento, nas APP da SB-ESTREITO

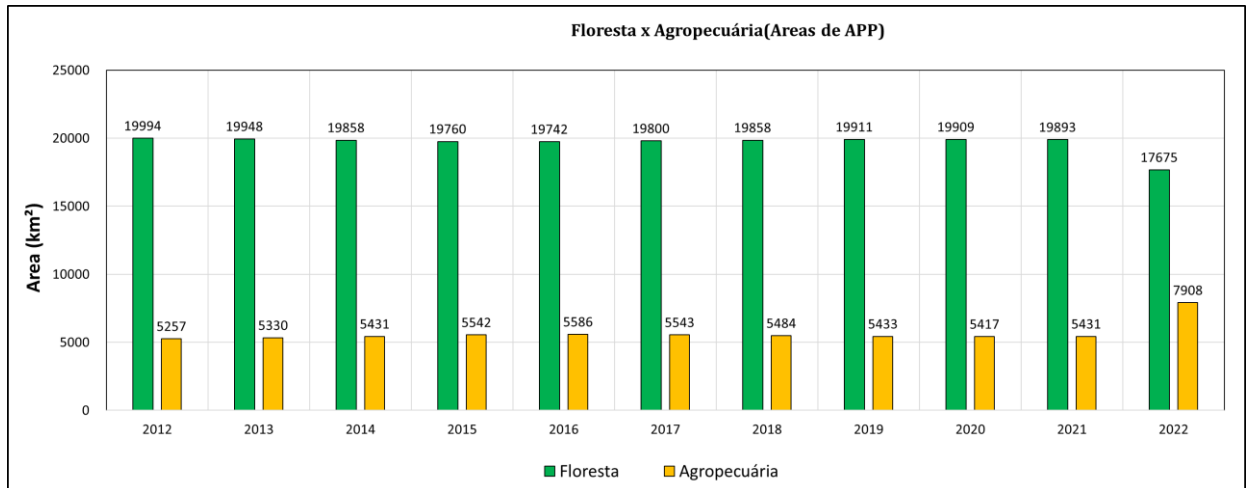


Fonte: Elaborado pelo autor, conforme dados do Mapbiomas (2023).

Conforme análise de desmatamento nas APP, é possível observar que em 2012 as áreas de floresta eram em torno de 19.994 km², em 2022, somavam 17.675 km², um déficit de vegetação nativa de 2.320 km², isto é, 11,6 % a menos da vegetação em relação a 2012. O que comprova que a proteção da vegetação nativa nas proximidades do rio não está sendo mantida

adequadamente. Neste mesmo local também ocorreu o crescimento da agropecuária (figura 25).

Figura 25 - Série histórica das áreas de floresta x agropecuária, nas APP da SB-ESTREITO (2012-2022)



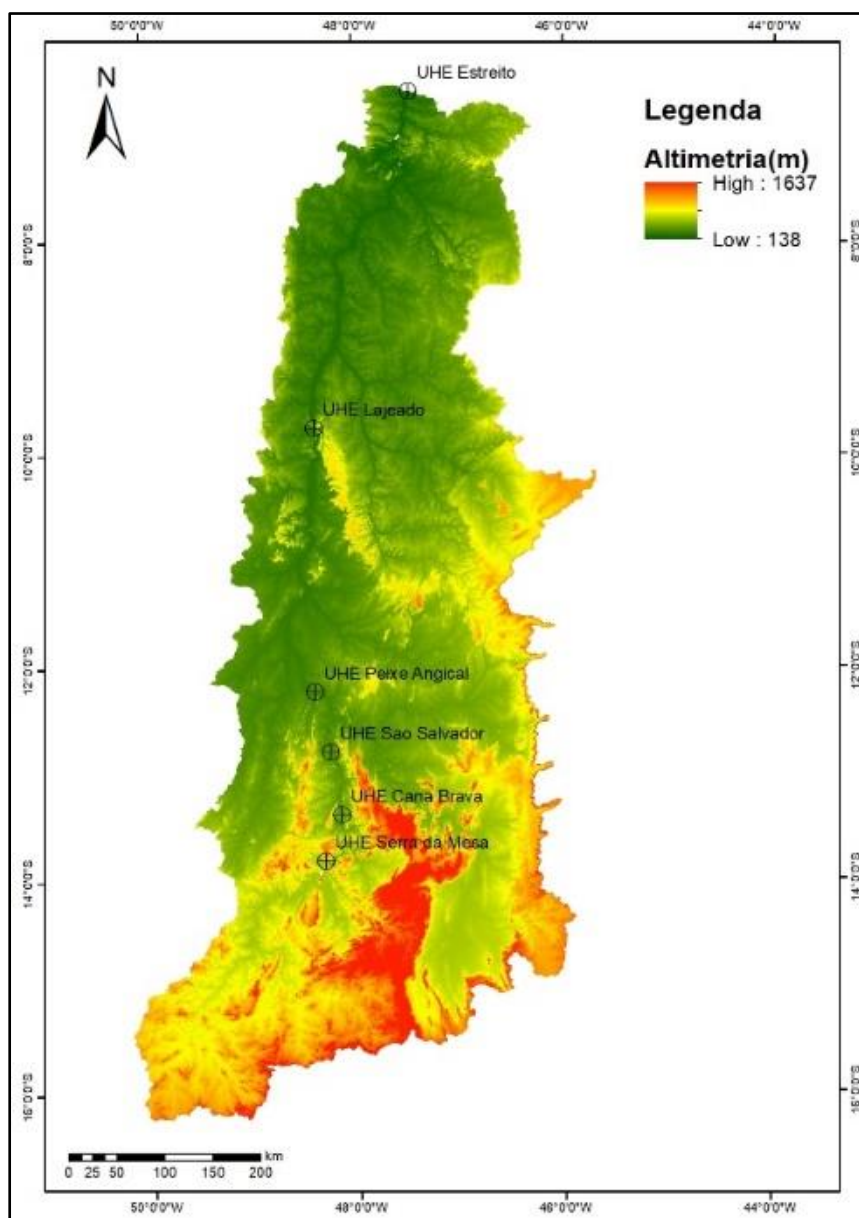
Fonte: Elaborado pelo autor, conforme dados do Mapbiomas (2023).

4.2 Características do Relevo e solo

Com base nos dados do SRTM, os resultados mostram que a variação altimétrica da SB-ESTREITO 138m a 1637m (figura 27). A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), com base nos dados do SRTM, gerado para a bacia, é possível observar as variações do relevo, em relação ao canal de drenagem principal e ao exultório de Estreito. As maiores altitudes se concentraram na parte sul da bacia, nas proximidades das usinas serra da mesa e Cana Brava, quando se aproxima de estreito, a bacia vai ficando menos acidentada.

O relevo é de grande amplitude altimétrica (>800 metros), o que confere alto potencial energético para os fluxos hídricos, com destaque principalmente na parte sul da bacia.

Figura 26 - Dados de Altitude, gerado com base nas imagens do SRTM



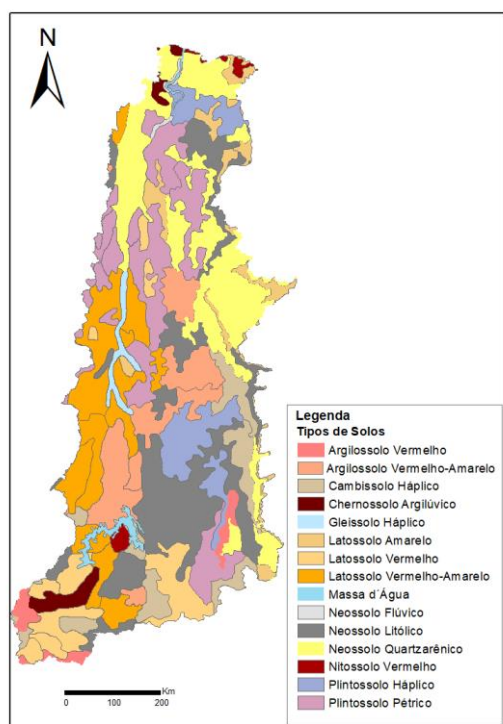
Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra característica na área de estudo são os solos (figura 28), a partir da classe de solos da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), foi feita uma classificação de quanto cada solo representa na área de estudo, as classes mais representativas foi o Neossolo Quartzarênico que quanto a capacidade de infiltração é geralmente alta devido à textura predominantemente arenosa e tem pouca ou nenhuma presença de horizontes bem definidos. A textura arenosa cria espaços porosos e vazios no solo que facilitam a infiltração da água, representam aproximadamente 18% da área de estudo.

Os Neossolos Litólicos representam 16,59% da área, tem como característica uma ampla gama de texturas, desde areia até argila, mas geralmente tendem a ter texturas mais

arenosas ou francas. Solos com textura mais arenosa tendem a ter uma capacidade de infiltração mais rápida devido aos espaços maiores entre as partículas do solo.

Figura 27 - Dados de Solos, gerado com base nas classificações e informações da EMBRAPA



Tipos de Solos	%
Neossolo Flúvico	0,28
Nitossolo Vermelho	0,70
Massa d'água	1,08
Gleissolo Háptico	1,11
Argilossolo Vermelho	1,61
Chernossolo Argilúvico	1,69
Latossolo Amarelo	4,48
Cambissolo Háptico	6,07
Plintossolo Háptico	6,38
Latossolo Vermelho	7,22
Argilossolo Vermelho-Amarelo	9,59
Latossolo Vermelho-Amarelo	12,82
Plintossolo Pétrico	13,74
Neossolo Litólico	16,59
Neossolo Quartzarênico	17,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Precipitação

Quanto a análise estatística da precipitação, apresentada na tabela 2, os valores de média, máxima, mínima e amplitude, e o acúmulo anual entre os meses para o período de 1985 a 2022 (considera-se o ano hidrológico), em que se observa que a média anual, foi de 1438,5 mm, a mínima registrada 962 mm, e a máxima chegou a 1815,4 mm.

A partir da análise da série constatou-se uma significativa diferença nos dados e constata-se duas situações. Os maiores valores médios e máximos pluviométricos (Méd e Mx) ocorreram nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março e dos períodos secos, junho, julho e agosto. A média do período chuvoso 224,5 mm, o período seco apresentou uma média de 5,04 mm. Este fato deixa bastante claro a existência de duas estações bem definidas, um período do ano em que as chuvas estão concentradas e o outro como menores índices pluviométricos.

Tabela 2 – resumo dos dados estatístico de precipitação, foram considerados o acúmulo anual para o período de 1985 a 2022

Parâmetro	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Anual
Mn	0	0	1	27	109	102	111	65	120	38	7	0	962
Mx	15	23	144	225	296	597	531	355	435	231	122	26	1815,4
Méd	2	5	33	110	199	249	239	208	220	129	38	6	1438
Amplitude	15	23	143	197	186	495	420	290	315	193	115	25	854

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os dados da alteração antrópica na bacia podem explicar os valores mais baixos da pluviometria anual, registrado para essa sub-bacia. Neste caso específico, a bacia apresentou um desvio padrão de 225,4 mm (tabela 3), em relação à dispersão dos dados.

Segundo os estudos de Santos (2019), em sua pesquisa averiguou quatro áreas de diferentes escalas, em sua pesquisa, constatou-se que à área de maior quilometragem apresentou menos dispersão nos dados de precipitação se comparado com as bacias menores. Vale ressaltar que no quesito tamanho, SB-Estreito tem tamanho semelhante ao da bacia de maior escala da pesquisa de Santos.

Tabela 3 – Estatística descritiva da SB-ESTREITO, considerando de 1985 a 2022

Bacia	N	Média	DesvPad	Mínimo	Máximo
SB-ESTREITO	38	1416,65	225,45	961,70	1815,40

Fonte: Elaborada pelo autor.

No gráfico da figura 29 e tabela 4, é possível verificar as suas condições, ao longo do período de 37 anos (1985 a 2022), onde é possível observar visualmente as oscilações e a diminuição da variável precipitação. Os anos de 1985, 1989, 1996 e 1999, por exemplo, apresentaram o maior pico de precipitação, em contrapartida, os anos de 2015, 2016 e 2020 apresentaram os menores índices pluviométricos (figura 29). Para o período de 1985 – 2022, foi aplicado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall, realizado para identificação de tendências significativas de longo prazo.

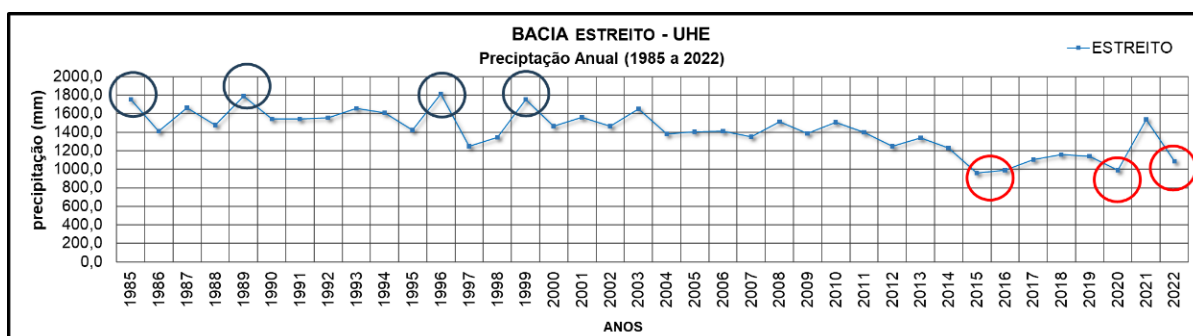
O resultado mostra que o valor **p** do teste consta como inferior ao nível de significância adotado (0,05), ou seja, apresenta uma significância estatística de tendência de diminuição dos índices pluviométricos. Verificado que há uma tendência significativa nas variáveis, a estatística Z foi gerada como sinal encontrado negativo, a tendência mostrou-se decrescente. E como observado, o valor foi $Z = -4.82$, logo a tendência da série é de diminuição, tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann -Kendall da precipitação total anual da para o período de 1985 a 2022

TESTE NÃO PARAMÉTRICO Teste de Mann-Kendall	
Tau de Kendall	-0.5476529
n	38
S	-385
Z	-4.8276
Var(S)	6327
p-valor (bilateral)	0,000001382
Alfa	0,05
Resultado	Há tendência de decréscimo estatisticamente significativa

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 28 – Acúmulo histórica anual da precipitação, referente ao período de 1985 a 2022



Fonte: Elaborada pelo autor.

O decréscimo da precipitação, pode estar relacionada a eventos climáticos, a variabilidade da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), por exemplo, no Oceano Atlântico e no Pacífico têm sido amplamente estudadas pela sua grande influência sobre o clima global e regional e no balanço hídrico (Uvo *et al.*, 2000).

A temperatura da superfície do mar (TSM) é uma forçante indispensável para variações no clima. Esta interação entre o oceano e a atmosfera interfere nas temperaturas e precipitações sobre os continentes (Bjerknes, 1969; Clarke *et al.*, 2001). A América do Sul sofre influência de diferentes padrões de teleconexões que interferem na variabilidade climática e na precipitação. De acordo com Sombroek (2001) e Marengo (2004), mostram evidências que os ventos de La Niña, são mais evidentes na estação chuvosa e menos na estação seca, já os valores de máximo são afetados por alterações nos processos climáticos globais de circulação, como

ENSO (El Niño Southern Oscillation), ou seja, as reduções das precipitações estão relacionadas com os anos de El Niño, e o aumento, com os de La Niña.

Isto pode explicar, em parte, as precipitações que estão acima ou abaixo do normal encontrado na SB-ESTREITO (figura 30). Os anos que apresentaram variações fora da normalidade e alguns podem estar associados aos eventos de ocorrência de ENOS.

Os anos 1985, 1989, 1996 e 1999 anos que ocorreram registros de eventos de La nina, mostram os índices pluviométricos na bacia se comportaram acima do normal. Os anos de 2015, 2016, 2018 e 2019 anos de El nino, ocorreram reduções das precipitações, abaixo da normal, o que se conclui que, nesses anos em específicos que o comportamento da precipitação pode estar relacionado com esses ventos (figura 30).

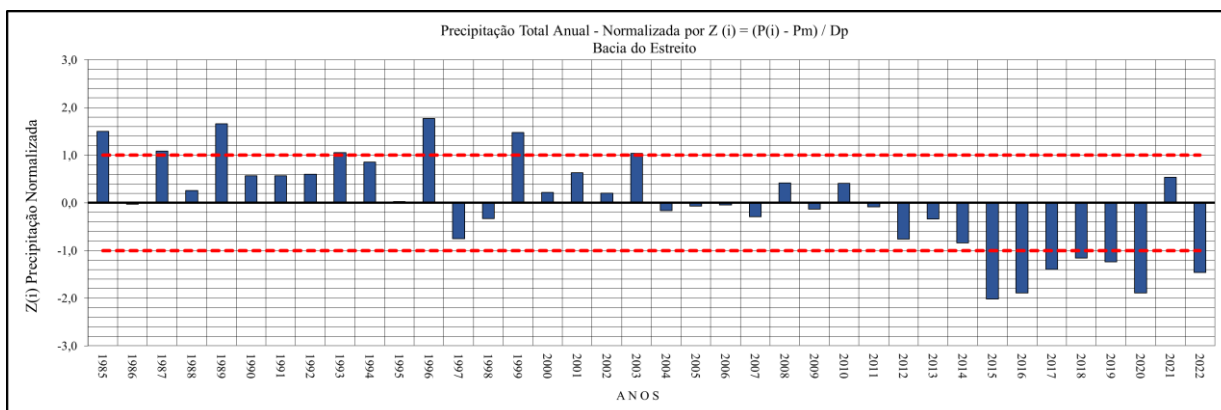
Todavia, em 1987 e 2003 anos de presença de *El Niño*, por exemplo, houve um aumento das precipitações que saíram da normalidade. No ano 2020 e 2022 anos de La nina, ocorreu uma diminuição drástica na precipitação, conclui-se que nem sempre esses eventos de ENOS têm uma influência na bacia estudada, quando se analisa o acúmulo anual de precipitação.

Apesar disso, a temperatura da superfície do mar (TSM) é uma forçante indispensável para variações no clima e outras TSM pode ter influência direta na área de estudo. Esta interação entre o oceano e a atmosfera interfere nas temperaturas e precipitações sobre os continentes (Bjerknes, 1969; Clarke *et al.*, 2001).

No gráfico da figura 29, é mostrado a ocorrência de uma variabilidade interanual da precipitação anual normalizada, para todo o período de 1985 – 2022, sucedeu-se 14 anomalias.

Durante os 37 anos, foram identificados três padrões distintos nos índices pluviométricos: o primeiro padrão de 1985 – 1999, no qual os totais anuais de precipitação, majoritariamente, apresentaram variações positivas, alguns acima do normal, com exceção de 1997 e 1998; O segundo padrão de variações foi no período 2000 – 2014, onde todas as variações se comportaram dentro da normalidade, variando entre positivo e negativo; o terceiro período de 2015 – 2022 apresentou quase todas as variações negativas e abaixo da normalidade, com exceção de 2021, figura 29.

Figura 29 – Precipitação total anual normalizada para a SB-ESTREITO, correspondente ao período de 1985 a 2022, considerado o ano hidrológico de cada ano



Fonte: Elaborada pelo autor.

Embora a floresta ainda seja a vegetação mais representativa na área de estudo, as perdas avançaram significativamente, o desmatamento apresentou-se constante com destaque para os últimos anos, criando grandes áreas desflorestadas. O resultado de tendência de decréscimos da precipitação anual encontrado para esta área confirma estudos já realizados que o desmatamento pode ter alguma influência na redução da mesma.

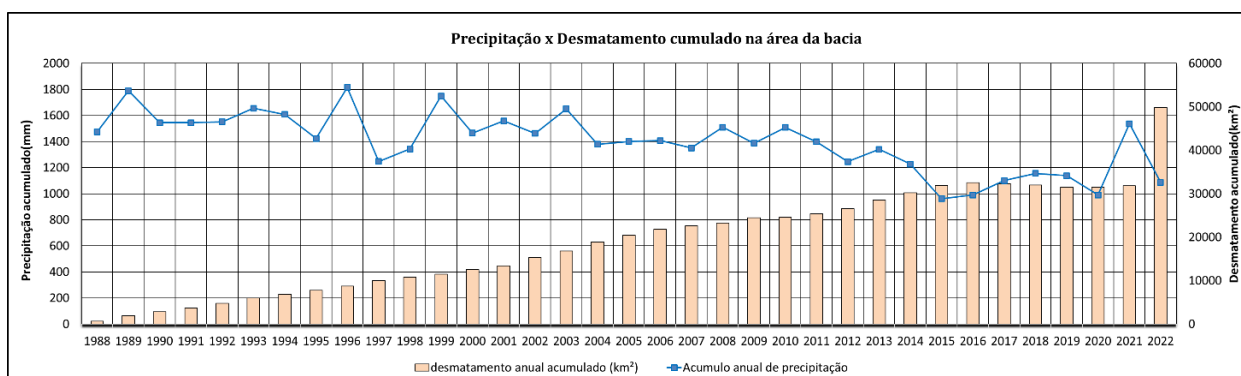
Um estudo recente publicado pela revista Nature, especificamente pelo autor Smith *et al.*, (2023), verificou-se quanto maior a redução na área de floresta, maior a redução nas precipitações de água, no estudo quantificaram a relação entre áreas de desmatamento em florestas tropicais e a redução de chuvas. Por característica, as florestas tropicais têm uma alta precipitação, regulando e influenciando o ciclo hidrológico local e regional.

Outro estudo por Silva *et al.* (2023), constataram uma redução nas chuvas em todas as regiões do Cerrado nos últimos 20 anos, enquanto o acumulado médio de chuva geral em 2001 foi de aproximadamente 1.400 milímetros (mm), em 2019 o índice estava em cerca de 1.000 mm. Os autores também constataram que o índice médio de evapotranspiração, que até 2001 era de pouco mais de 600 mm por ano, subiu para quase 1.000 mm em 2019, deduziram, cada vez mais água sai do Cerrado e cada vez menos água entra no Cerrado.

Apesar do desmatamento crescente na área de estudo, pois houve perda de 17,60 % nas áreas de APP, e 26,6% na bacia, em relação a floresta original, relacionando as duas variáveis precipitação e desmatamento (figuras 30 e 31), nota-se que o declínio da precipitação é inversamente proporcional ao desmatamento, enquanto o desmatamento acumulado é crescente a precipitação se comporta de forma decrescente na maioria das vezes.

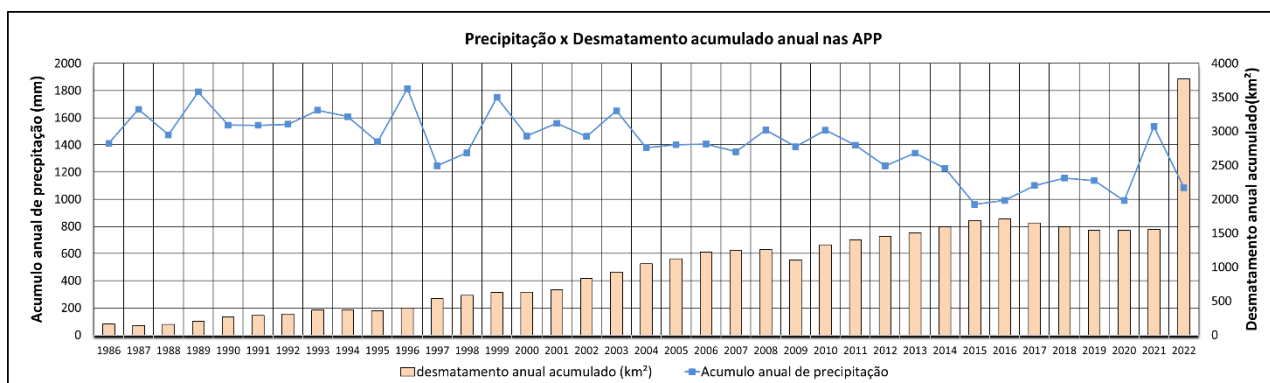
No período de 2015 a 2022, figuras 30 e 31 os índices de chuvas apresentaram na maioria das vezes variações negativas e bem abaixo da normalidade, visto na figura 29 (anterior), nesse período o desmatamento mostrou-se crescente principalmente no ano de 2022, quando se relaciona precipitação e desmatamento, ou seja, a perda de vegetação original mostrou-se crescente enquanto precipitação decrescente.

Figura 30 – Dinâmica da precipitação anual com o acúmulo de desmatamento anual na bacia como um todo



Fonte: Elaborada pelo autor.

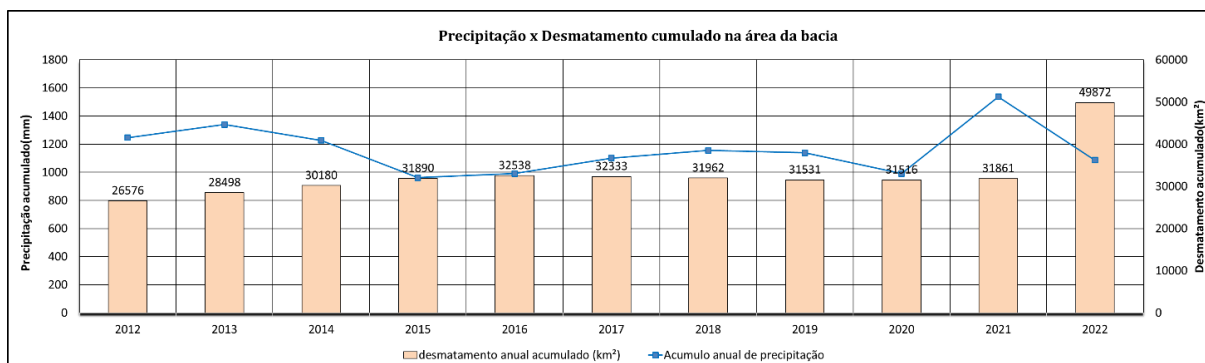
Figura 31 – Dinâmica da precipitação anual com o acúmulo de desmatamento anual nas APP



Fonte: Elaborada pelo autor.

Selecionado o período 2012 (ano de inauguração da usina e com intuito de observar algum impacto da construção da mesma) até 2022 do desmatamento acumulado em relação a precipitação (figura 31), mostra o desmatamento acumulado crescente principalmente em 2022, nesse mesmo ano ocorre declínio de precipitação. Apesar dessas ressalvas, o teste de Mann-Kendall não apresentou tendências significativas para 2012 a 2022 para o volume anual de chuva (tabela 5).

Figura 32– Dinâmica da precipitação anual com o acúmulo de desmatamento para o período de 2012 a 2022.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da precipitação total anual da para o período de 2012 a 2022

TESTE NÃO PARAMÉTRICO	
Teste de Mann-Kendall	
Tau de Kendall	-0,1636364
n	11
S	-9,0000000
Z	-0,6228
Var(S)	165
p-valor (bilateral)	0,5334
Alfa	0,05
Resultado	Não há tendência estatisticamente significativa

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 Vazão

Os dados das vazões foram convertidos de m³/s para mm, a fim de compatibilizar com a unidade da precipitação, também foi adotado o ano hidrológico par a série histórica, foi constatado que o mês que apresentou a menor vazão durante a série histórica, foi o mês de setembro com término 11 meses depois, observa-se que em relação a precipitação teve-se uma defasagem de 2 meses.

Para o resumo da análise estatística na tabela 6, observar-se os valores de média, máxima, mínima e amplitude, em que se observa que a média anual, foi de 387 mm, a mínima registrada 204,70 mm, e a máxima chegou a 599,20 mm. Os totais mensais de vazão acompanharam as tendências pluviométricas, com uma variância maior na estação chuvosa e menor na estação seca.

Os maiores valores médios e máximos da descarga liquidam (Méd e Mx) ocorreram nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março e dos períodos secos, ocorreram a partir de julho, agosto e setembro, este fato deixa bastante claro a existência de duas estações bem definidas, um período do ano em que as chuvas estão concentradas e o outro como menores índices pluviométricos.

No resumo estatístico anual foi encontrado um desvio padrão nos índices fluviométricos de 86,86 mm (tabela 7), segundo Tucci (2004), bacias como maiores áreas de drenagem tendem a apresentar maior regularidade no regime das vazões. Outros fatores podem influenciar como a geologia e topografia da região.

Tabela 6 – Resumo dos dados estatístico mensal/anual de vazão, foram considerados o acúmulo anual do ano hidrológico para o período de 1985 a 2022

Parâmetro	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Anual
Mn	7	8	11	16	17	25	27	19	12	11	8	7	204,70
Mx	18	22	32	128	138	153	99	89	72	28	20	17	599,20
Méd	13	15	21	39	54	52	63	53	32	19	15	13	387
Amplitude	11	15	21	113	121	128	72	69	59	17	11	10	394,50

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7 – Resumo dos dados estatístico anual de vazão, foram considerados o acúmulo anual do ano hidrológico para o período de 1985 a 2022

Bacia	N	Média	DesvPad	Mínimo	Máximo
SB-ESTREITO	38	387,14	86,86	204,70	599,20

Fonte: Elaborada pelo autor.

No gráfico da figura 33, verificou-se as condições, ao longo do período de 37 anos (1985 a 2022), assim como na precipitação também ocorreu a redução nos valores da descarga líquida.

Os anos de 1985, 1988, e 1999 por exemplo apresentaram o maior pico de vazão, em contrapartida os anos de 2015 e 2016 apresentaram redução. Uma das consequências, que a redução da precipitação causou na SB-ESTREITO acarretou as diminuições visíveis nos valores de vazão, o que exemplifica que os valores de precipitação estão acompanhando os de vazão.

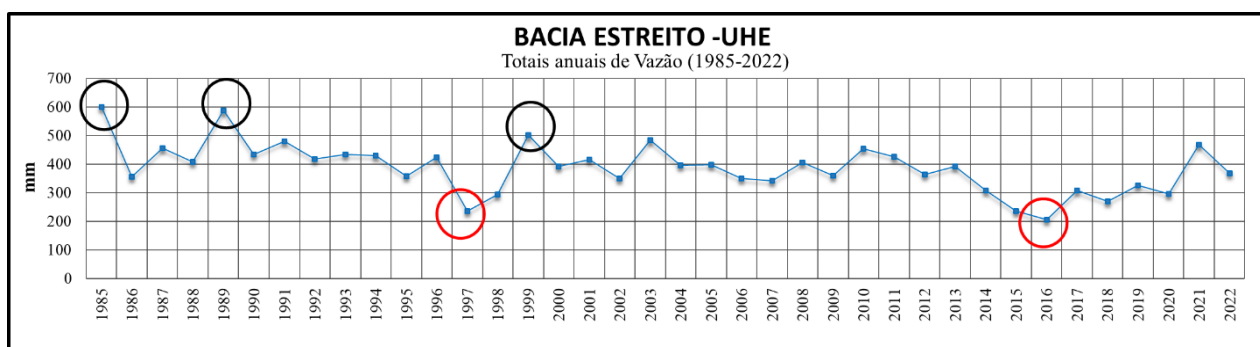
Também foi feito a identificação de tendências significativas de longo prazo, o valor **p** do teste consta como inferior ao nível de significância adotado (0,05), sendo assim, a série histórica apresenta uma estatística de significância, o valor gerado foi $Z = -3.26$, conclui-se a tendência da série é de diminuição, resultados parecidos com os da precipitação, que também apresentou um decremento (tabela 8).

Tabela 8 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da média anual de vazão para o período de 1985 a 2022

TESTE NÃO PARAMÉTRICO Teste de Mann-Kendall	
Tau de Kendall	-0.371266
n	38
S	-261
Z	-3.2687
Var(S)	6327
p-valor (bilateral)	0,00108
alfa	0,05
Resultado	Há tendência de decremento estatisticamente significativa

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 33 – Dados anuais da precipitação, referente ao período de 1985 a 2022

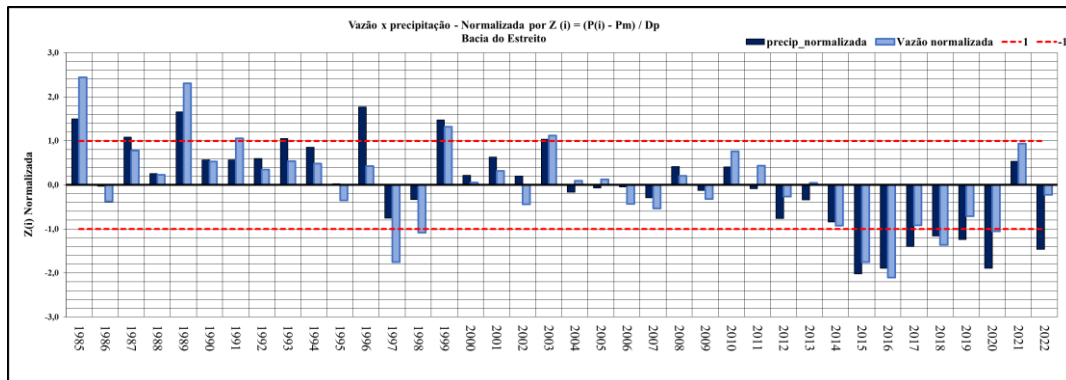


Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o cálculo de normalizada, figura 34, usou-se o acúmulo anual do ano hidrológico menos a soma da média mensal da série histórica onde esses dados foram divididos pelo desvio padrão, gráfico abaixo. Foram apresentados 3 padrões: O primeiro com índices em sua maioria positivos de 1985 a 1996; o segundo mostrou-se variado entre positivos e negativos entre os anos de 1997 a 2013; de 2014 a 2022 o padrão majoritariamente negativo.

De modo geral, percebe-se que os índices fluviométricos apresentaram o mesmo comportamento que os índices pluviométricos.

Figura 34 – Vazão total anual normalizada para correspondente ao período de 1985 a 2022



Fonte: Elaborada pelo autor.

Coe, Marcos e Soares-Filho (2009) explicam que, quando o desmatamento na bacia Amazônica ocorrer em uma escala muito grande (maior do que 100.000 km²), as interações atmosféricas poderão reduzir a precipitação regional significativamente.

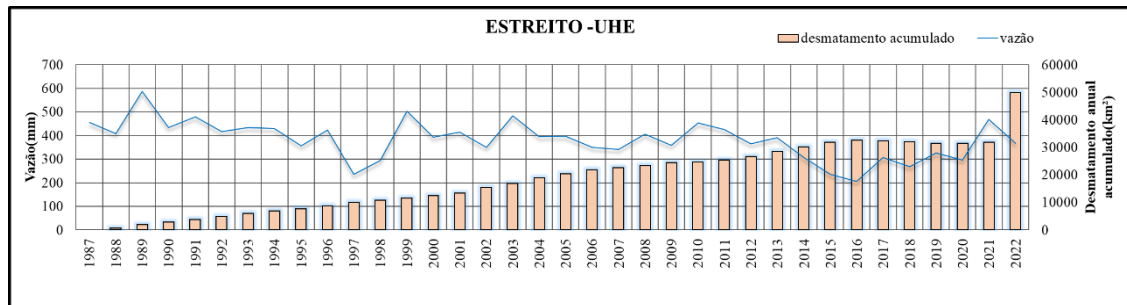
Estudos realizados por Hibbert (1976) e Bosh e Hewlett (1982) chegaram a conclusão que a resposta as modificações da cobertura vegetal é muito variável e, na maioria das vezes, não é possível prever, também conclui que a diminuição da vegetação aumenta o escoamento da água desde que a área desmatada seja superior a 20%.

Em um estudo feito por Cornish (1993) confirma que alterações menores que 20% não afetam o regime de vazão, mas as alterações entre 29% e 79% alteraram a produção de água em 150 a 250 mm anuais em bacias, que variavam entre 13 e 97 ha.

Considerando as afirmações acima citadas, a área como todo da bacia desmatada foi de 49.872 km², isso equivale, uma perda de 26,6 % de vegetação nativa original. Vale ressaltar que a perda de vegetação original atingiu mais de 20% em 2022, até 2021 eram torno de 17% de perda.

Quando se considera toda a série histórica de 1985 a 2022, a vazão continuou apresentando uma tendência de decremento (resultado de análise estatística de man-kendall) mesmo com o desmatamento acumulado crescente, percebe-se que esse déficit não provocou o aumento do escoamento da água (figura 35).

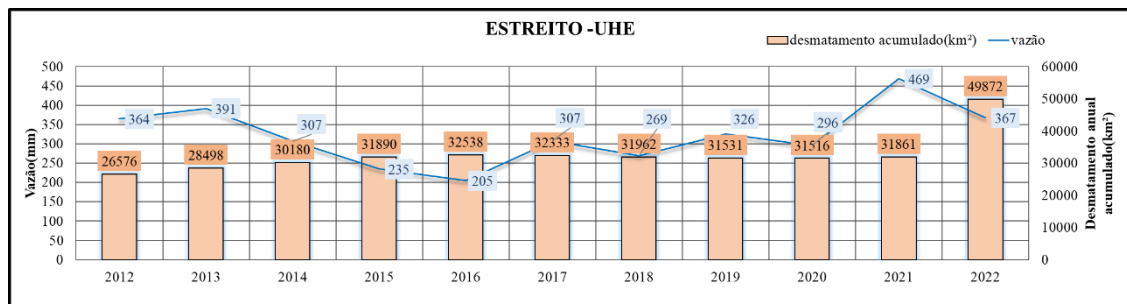
Figura 35 – Vazão total anual x acúmulo anual de desmatamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando selecionado o período 2012 até 2022 do desmatamento acumulado em relação a vazão, nos anos de 2017 a 2020 o desmatamento regride, porém em 2021 e 2022 quando ele retorna a crescer a vazão se tornar crescente provocando escoamento mais rápido consequentemente valores mais altos de vazão principalmente em 2021. Apesar dessas ressalvas, o teste de Mann-Kendall não apresentou tendências- significativas para esse período em específico, de 2012 a 2022 (figura 36 e tabela 9).

Figura 36 – Vazão total anual x acúmulo anual de desmatamento (2012-2022)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 9 – Resultado da análise estatística não paramétrica de *Mann-Kendall* da média anual de vazão para o período de 2012 a 2023

TESTE NÃO PARAMÉTRICO Teste de Mann-Kendall	
Tau de Kendall	0.127272
n	11
S	7
Z	0.4671
Var(S)	165
p-valor (bilateral)	0.6404
alfa	0,05
Resultado	Não há tendência estatisticamente significativa

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.5 Taxa de incremento de Deflúvio (TID)

A taxa de incremento de deflúvio consiste na razão entre a diferença da vazão mínima de um ano e a vazão máxima do ano seguinte e o tempo em meses decorrido entre estes dois valores.

A taxa de incremento de deflúvio está relacionada ao tempo de residência da água na bacia, pois quanto maior for a taxa, mais rapidamente a água saiu da bacia, configurando menor tempo de residência (Linhares, 2006).

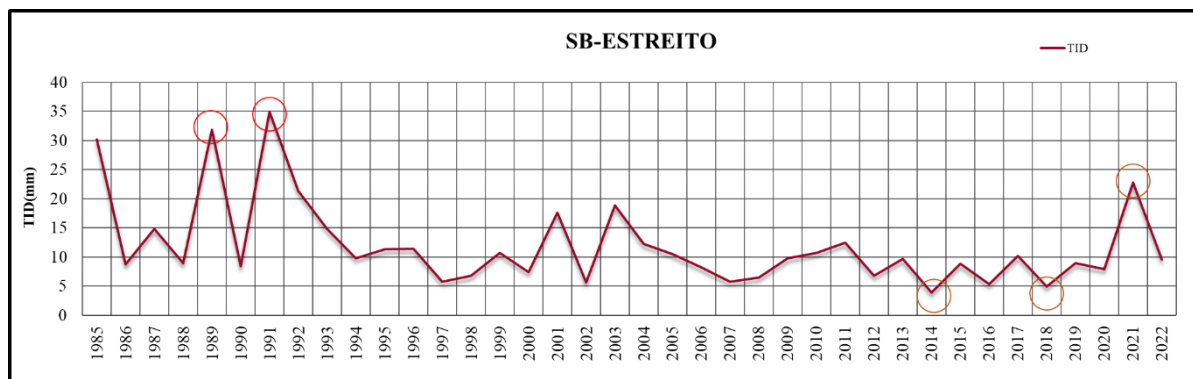
É possível verificar na SB-ESTREITO foram as que registaram uma média histórica de 11,95 mm/ mês, com o mínimo 3,94 mm/mês e o máximo 34,86 mm/mês. As menores taxas ocorreram nos anos de 2014, 2016 e 2018 (figura 38), o que pode estar relacionado com a baixas precipitações e vazões, pois as vazões no geral apresentaram comportamento parecidos, o TID mostrou-se escoamento superficial mais lento nesse período. A dispersão de toda a série histórica ficou em torno de 7,43mm, tabela 10.

Tabela 10 – Resultado da análise estatística descritiva da TID para a SB-ESTREITO, correspondente ao período de 1985 a 2022

Bacia	N	Média	DesvPad	Mínimo	Máximo	Amplitude
SB-ESTREITO	38	11,95	7,43	3,94	34,86	30,92

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 37 – Variações anual da TID



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela 11, os resultados indicaram que o p-valor calculado é menor que o nível de significância adotado $\alpha=0,05$, ou seja, conclui-se que há uma tendência significativa em nossas séries temporais quando levamos em conta o TID de 1985 a 2022. Assim como na precipitação e vazão os dados de TID se mostraram com tendência a redução. Conclui-se que o tempo de residência na bacia é maior.

Tabela 11 – Resultado da análise estatística não paramétrica de *Mann-Kendall* da TID para o período de 1985 a 2023

TESTE NÃO PARAMÉTRICO	
Teste de Mann-Kendall	
Tau de Kendall	-0.2716927
n	38
S	-191
Z	-2.3887
Var(S)	6327
p-valor (bilateral)	0,01691
alfa	0,05
Resultado	Há tendência de decremento estatisticamente significativa

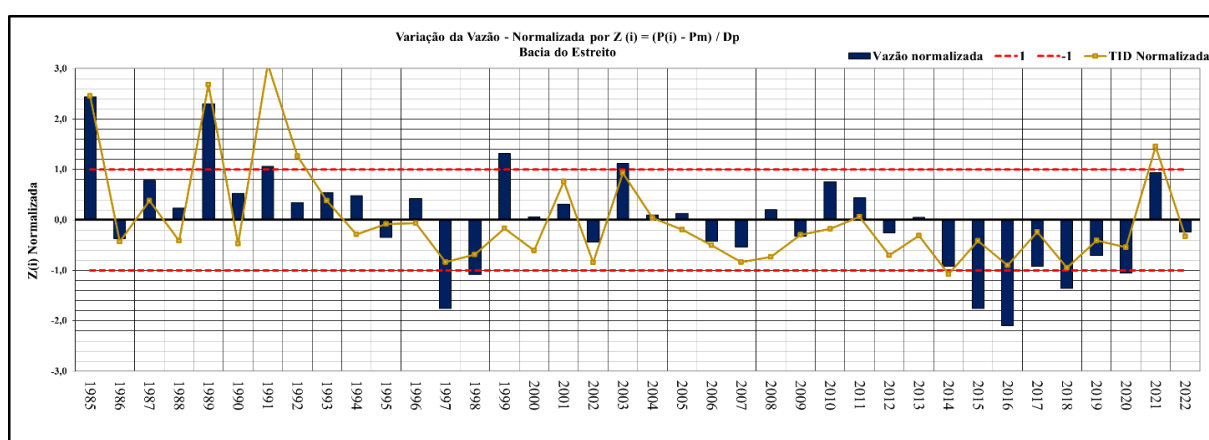
Fonte: Elaborada pelo autor.

O comportamento da TID, em relação à vazão total anual normalizada, apresentada na figura 39, mostra a relação entre as duas variáveis, o comportamento do TID mostrou-se variado.

Santos (2019), explica que o aumento da vazão é diretamente proporcional à aceleração da velocidade do fluxo de água do rio, fazendo com que diminua o tempo decorrido entre as vazões máxima e mínima registradas num mesmo ano hidrológico, acarretando, dessa maneira, a diminuição do tempo de residência da água na bacia, ou seja, aumento do TID, pois quanto maior a taxa, mais rápido a água saiu da bacia.

Todavia para a bacia de estudo ocorreu uma diminuição das vazões considerando toda a série histórica (o escoamento se tornou mais lento), o que provoca um aumento de residência de água na bacia, pois o TID se apresentou tendência de decremento durante os 37 anos.

Figura 38 – Vazão total anual normalizada X TID Normalizada, para o período de 1985 a 2022



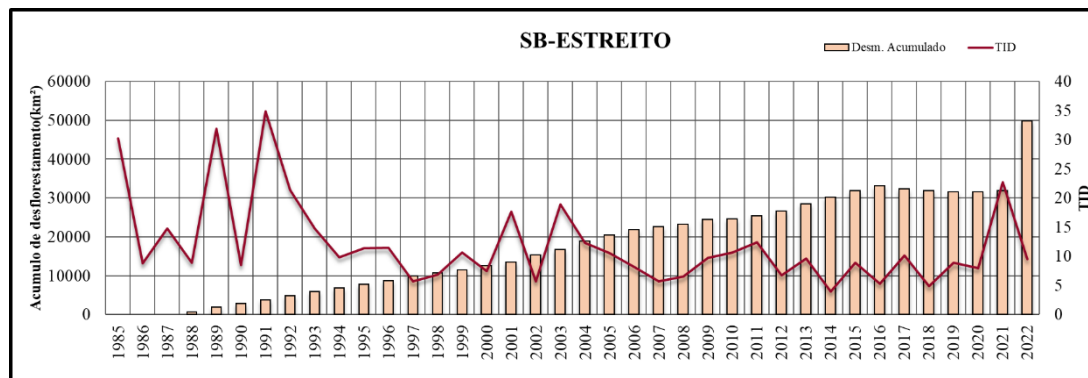
Fonte: Elaborada pelo autor.

Alcantara (2009) afirma que Bacias com grandes áreas de cobertura vegetal tendem a retardar o escoamento e aumentar a perda por evapotranspiração, ele também afirma que as modificações inseridas pelo homem nas bacias hidrográficas, como a construção de reservatórios de água, tendem a reduzir o pico e distribuir uniformemente o volume das vazões.

Sabe-se que o desmatamento proporciona o aumento do escoamento superficial e a redução da capacidade de armazenamento de água, o que ocasionaria um incremento da TID, consequentemente.

O período de 1985 a 2022 o desmatamento acumulado apresenta-se crescente, e análise estatística da TID registrou tendência de decremento, mesmo com uma supressão de 26,26% de sua cobertura original, a relação desmatamento e TID durante os anos pode ser vista abaixo (figura 40).

Figura 39 – TID X Vazão anual, período de 1985 a 2022



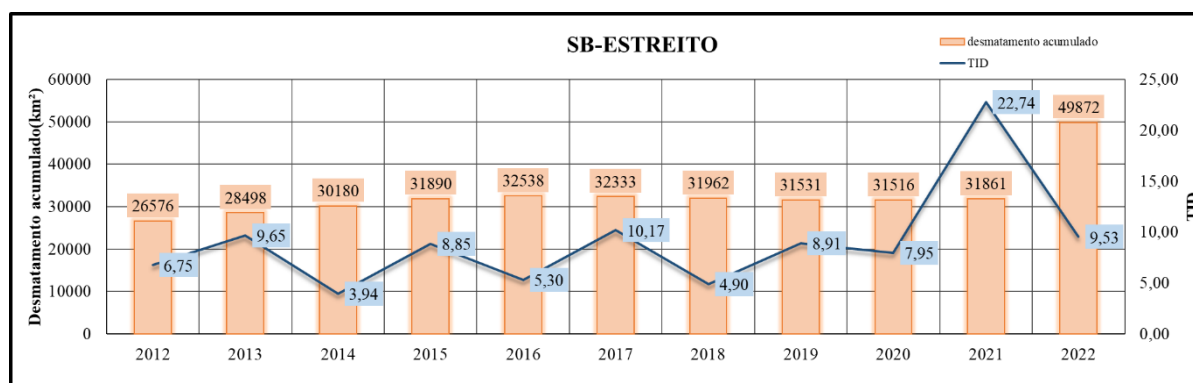
Fonte: Elaborada pelo autor.

Depois da inauguração de estreito em 2012 o comportamento do TID apresentou um comportamento padrão com exceção de 2021, que apresentou comportamento atípico, o que provocou a diminuição do tempo de residência da água na bacia.

De 2012 até 2020, predomina-se um comportamento padrão no TID, figura 41, o que beneficia a usina, afinal a água está ficando mais contida (e pelo comportamento da TID), mais controlada, beneficiando reservatórios de água.

Selecionado o período de 2012 a 2022, do TID e o acúmulo anual de desmatamento de toda a área, o TID apresenta-se de forma crescente no ano de 2021, ano que o desmatamento acumulado voltou a incrementar, todavia em 2022 mesmo com supressão muito maior, o TID mostra-se voltar a um padrão de comportamento. Quando se aplica a análise de tendência do TID para esses 10 anos, o mesmo não apresentou tendências significativas de crescimento e nem de decremento, tabela 12.

Figura 40 – TID X acúmulo anual de desmatamento, período de 2012 a 2022



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 12 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da TID para o período de 2012 a 2022

TESTE NÃO PARAMÉTRICO Teste de Mann-Kendall	
Tau de Kendall	0.2727273
n	11
S	15
Z	1.0899
Var(S)	165
p-valor (bilateral)	0.2758
alfa	0,05
Resultado	Não há tendência estatisticamente significativa

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tendo em vista que toda a série histórica do TID de 1985-2022, apontou decremento, Santos (2019) realizou um estudo em quatro áreas distintas e uma delas apresentou TID tendência de decremento, mesmo com uma supressão vegetal de 38,88%, o mesmo justificou o decremento com o tipo solo predominante na área, de textura arenosa, o que, em tese, aumenta a capacidade de infiltração e diminui, dessa forma, o escoamento superficial, mantendo a água retida por mais tempo nas camadas inferiores do solo.

Em uma análise apresentada por Alcantara (2009), verificou que duas de suas bacias que apresentam uma topografia mais acidentada, indicaram os maiores índices de TID, significando que o tempo de permanência da água foi menor.

Em se tratando da SB-ESTREITO verificou-se que ela é mais acidentada na parte sul da bacia, principalmente perto dos reservatórios de serra da mesa, quando se aproxima das UHE de Lageado e Estreito onde ocorre o escoamento da bacia, a topografia é menos acidentada, além claro de área ter presença em sua maior parte de solo arenoso.

Outro fator, seria relacionada a supressão que ocorreu de forma mais intensa apenas em 2022, em 2021 a supressão original da área foi de 17% em relação a 1985. Em 2022 passou a ser de 26,6% uma supressão de aproximadamente 10% só nesse ano. Desta maneira, a supressão ocorrida na bacia em toda a série histórica não foi o suficiente para apresentar alteração no escoamento da bacia, julgando pelos dados de vazão e TID.

4.6 Resposta Hidrológica (Rh)

A resposta hidrológica (Rh) é a forma pela qual uma bacia responde com escoamento à precipitação que cai no solo, representa a produção de água de uma bacia em função da precipitação. O resultado da Rh é obtido pela razão entre os totais anuais de descarga líquida e o precipitado em um ano hidrológico. A resposta hidrológica é uma variável adimensional relacionada com a produção de água da bacia, dada pela razão entre vazão e precipitação (Linhares, 2006).

A mínima e máxima Rh registradas, ao longo da série histórica, foram de 0,19 e de 0,34, tabela 13. A SB-ESTREITO apresentou uma média geral considerando toda a série histórica (1985 a 2022) de 0,27, o que se pode dizer que 27% da água precipitada na bacia se transforma em vazão e sai no seu exultório e o restante, 73%, ficam distribuídos nos demais processos hidrológicos (interceptação, infiltração, armazenamento e evapotranspiração).

Segundo Linhares (2005), a média mundial da precipitação, que é convertida em vazão, é de, aproximadamente, 30%, o que significa que a SB-ESTREITO está se comportando um pouco abaixo da média.

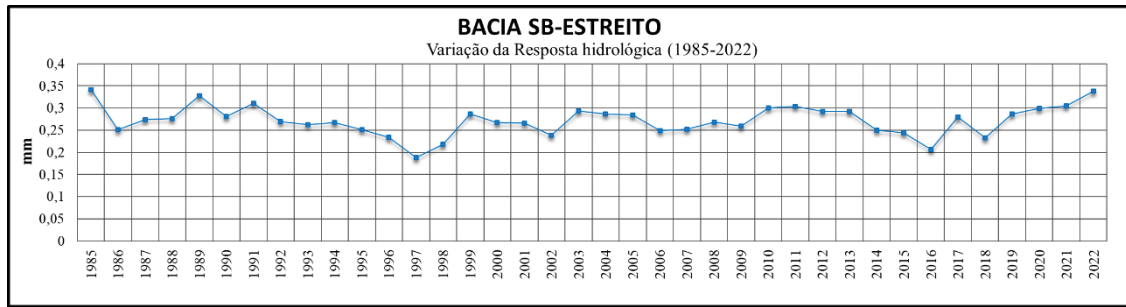
Tabela 13 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da TID para o período de 2012 a 2022

Bacia	N	Média	DesvPad	Mínimo	Máximo	Amplitude
SB-ESTREITO	38	0,27	0,03	0,19	0,34	0,15

Fonte: Elaborada pelo autor.

O resultado obtido pelo teste estatístico de Mann-Kendall mostra que não há tendências estatisticamente significativas, figura 41 é mostrado todo seu comportamento durante a série histórica, o que significa que a eficiência hídrica da bacia não apresentou tendência de incremento e nem de decremento em suas vazões.

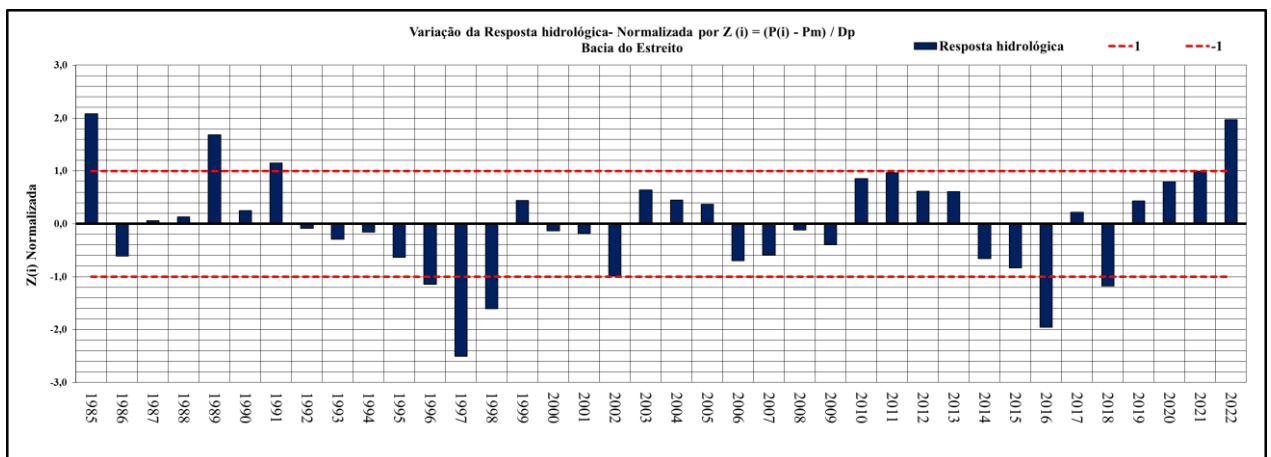
Figura 41 – Variações da resposta hidrológica (1985-2022)



Fonte: Elaborada pelo autor.

A SB-ESTREITO não registrou tendência significativa de alteração da sua Rh (tabela 14), ou seja, a ausência de tendência é uma evidência de que a dinâmica da resposta hidrológica não parece ter sido afetada pelo desflorestamento. No gráfico de normalizada abaixo a Rh (figura 42) apresentou menos anormalidade que variáveis como vazão e precipitação. No ano de 2022, houve um aumento da Rh bem acima da normalidade.

Figura 42 – Variações da Resposta hidrológica normalizada (1985-2022)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 14 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da Rh para o período de 1985 a 2022

TESTE NÃO PARAMÉTRICO	
Teste de Mann-Kendall (1985 a 2022)	
Tau de Kendall	0.03271693
n	38
S	23
Z	0.27658
Var(S)	6327
p-valor (bilateral)	0,7821
alfa	0,05
Resultado	Não Há tendência estatisticamente significativa

Fonte: Elaborada pelo autor.

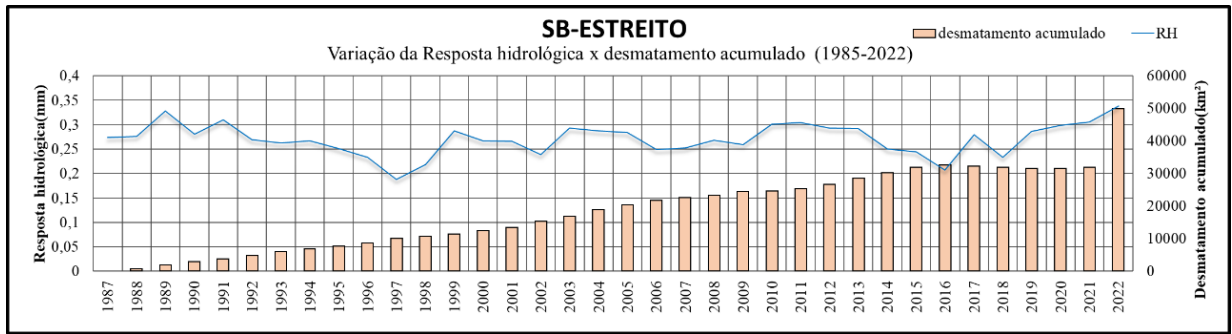
A água proveniente da precipitação pode seguir diferentes caminhos, ora transformando-se em vazão que irá alimentar os rios e canais, ora evaporando-se a partir das superfícies do solo ou das copas das árvores, ou indo alimentar os aquíferos permanecendo armazenada por longo tempo (Carriello, 2004).

A transformação da vegetação nativa em amplos pastos e grandes áreas de monocultura tende a contribuir para o aumento dos índices de evapotranspiração. Pois as plantas dessas culturas são de crescimento rápido, de modo que seu metabolismo é mais acelerado do que o das florestas nativas, explica Silva (2023).

Santos (2019) estudou quatro bacias e uma delas com supressão de 38,8% não apresentou tendências nem de aumento e nem de decréscimo na Rh, porém o TID, vazão, e precipitação apresentaram tendências de decréscimo, o mesmo aconteceu com a SB-ESTREITO. O mesmo conclui que o fator que influenciou a sua área foi o solo arenoso que tem capacidade de melhor infiltração deixando a água mais contida.

Diante das informações acima citadas, comparando os dados de desmatamento e Rh, verifica-se a Rh com um comportamento padrão sem tendências (figura 44) mesmo diante de um desmatamento crescente, nesse período e apesar da área como um todo ter tido uma supressão de 26,6 % no decorrer de toda a historicidade da bacia e as áreas de agropecuária terem aumentado consideravelmente, a Rh mostrou-se inalterada e sem tendência.

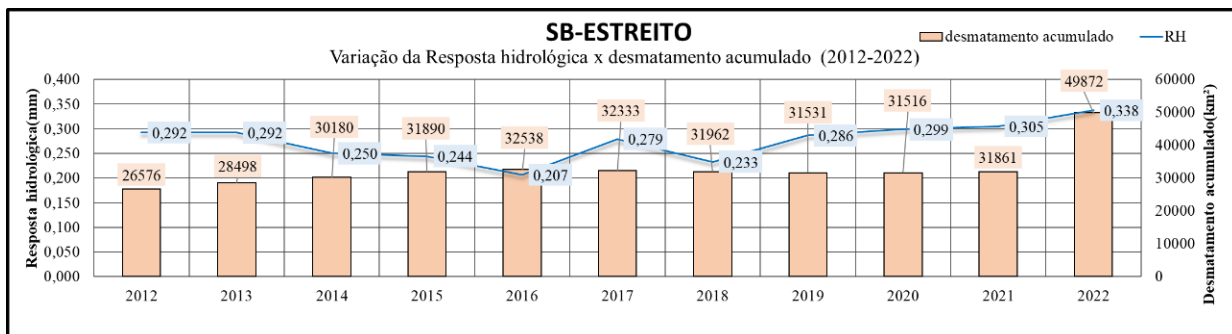
Figura 43 – Variações da Resposta hidrológica x o acumulo anual de desmatamento, de 1985 a 2022



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 44, a partir de 2018, a Rh mostrou-se crescente e acompanhando o desmatamento, inclusive no ano de maior supressão em 2022 a Rh manteve-se alta levando (recorde de Rh nessa década) em conta o período de 2012-2022, em 2022 aproximadamente 33% da água precipitada na bacia se transformou em vazão. Entretanto nesse período (2012-2022) aplicado o teste de tendência em específico mostrou-se sem tendências significativas, tabela 15.

Figura 44 – Variações do acumulo anual de desmatamento x Rh (2012 a 2022)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 15 – Resultado da análise estatística não paramétrica de Mann-Kendall da Rh para o período de 2012 a 2022

TESTE NÃO PARAMÉTRICO	
Teste de Mann-Kendall (2012 a 2022)	
Tau de Kendall	0.3090909
n	11
S	17
Z	1.2456
Var(S)	165
p-valor (bilateral)	0,2129
alfa	0,05
Resultado	Não Há tendência estatisticamente significativa

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados mostram que a supressão da cobertura florestal ocorreu, mais intensamente nos últimos anos, o desmatamento avançou de forma mais lenta na bacia como um todo, porém em 2022 intensificou, em 2021 a supressão da vegetação original era de 17% em relação a 1985, em 2022 passou a ser de 26,6%.

Na bacia foi suprimida de 1985-2022 uma área de 49.872 km² da sua vegetação original, enquanto nas APP foram 3.776 km², ou seja, 7,57% da área suprimida como um todo foram nas áreas de APP. Em relação as áreas de agropecuária na bacia, eram de aproximadamente 19% do território da bacia, em 2022 passaram a ser de 40%, praticamente o dobro.

Para os 37 anos a precipitação apresentou tendências significativas de redução, inclusive, no ano de 2022 em que o desmatamento atinge valores significativos, entre 2014 e 2022, a precipitação mostra-se, majoritariamente, negativas e com variações bem acentuadas, fato que pode comprometer o potencial de geração de energia hidrelétrica da bacia.

As variações do El nino e La nina, mostraram ter uma certa influência na variabilidade climática da SB-ESTREITO em alguns anos, contribuindo para a alteração dos índices pluviométricos, porém em outros não, o ano de 2022 por exemplo (ano de la nina) a mesma teve precipitações bem abaixo da normal.

O decremento da precipitação refletiu na vazão da SB-ESTREITO, e consequentemente no TID que também apresentou decremento, os resultados mostram que existe uma tendencia de aumento do tempo de residência da água na bacia para serie de 37 anos, a água está ficando mais contida beneficiando reservatórios de água da usina. Vale ressaltar que o desmatamento só passou de mais de 20% no ano de 2022, e alguns estudiosos afirmam que o escoamento se torna mais rápido em uma bacia quando o desmatamento atinge mais de 20%.

Outro fator que justifique o decremento, é o tipo solo predominante na área, de textura arenosa, o que, em tese, aumenta a capacidade de infiltração e diminui, dessa forma, o escoamento superficial, mantendo a água retida por mais tempo nas camadas inferiores do solo.

Outro período estudado foi a década de 2012-2022, visto que o ano de 2012 foi marcado pela inauguração da usina de Estreito (lugar do exultório da bacia) e criação do novo código florestal. Em 2012 por exemplo, as áreas de floresta nas APPs eram em torno de 19.994 km², em 2022, somavam 17.675 km², um déficit de vegetação nativa de 2.320 km², isto é, 11,6 % a menos da vegetação em relação a 2012. O que comprova que a proteção da vegetação nativa ao redor deste rio não está sendo mantida, mesmo com a criação do código florestal que

tem como intuito a proteção desses locais.

Depois da inauguração de estreito em 2012, de forma geral, o comportamento TID foi padrão, o tempo de deflúvio mostrou-se controlada, ou seja, há um controle no tempo que a água fica ou sai da bacia. O TID apresenta-se de forma crescente no ano de 2021(maior taxa TID nessa década), o que pode estar associado ao funcionamento da usina que entrou em operação em 2012.

Quanto a eficiência hídrica, a partir de 2018, a Rh mostrou-se crescente e acompanhando o desmatamento, inclusive no ano de maior supressão em 2022 a Rh manteve-se alta (recorde da última década), ou seja, mais água precipitada se transformou em vazão, ano que se teve menos floresta para interceptar.

Para essa década 2012-2022 nenhuma variável hidrometeorológica indicou tendência seja decremento ou incremento.

Além do desmatamento, outros fatores parecem influenciar o comportamento hidrológico da bacia em questão, como as UHEs, que estão alterando o fluxo natural do rio e modificando diretamente o comportamento da vazão.

Este estudo, é de suma importância para monitorar dados hidrometeorológicos de uma bacia hidrográfica. Os dados fornecem informações vitais sobre o ciclo da água e a atmosfera na área, o que é fundamental para uma série de aplicações e para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

A compreensão das quantidades disponíveis de água é crucial para o planejamento de curto e longo prazo. Dados hidrometeorológicos ajudam a prever eventos extremos, como inundações e secas. Isso permite que as autoridades tomem medidas preventivas para mitigar os efeitos de possíveis desastres, protegendo vidas, propriedades e ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ADAS, M. **Panorama geográfico do Brasil:** contradições, impasses e desafios socioespaciais. 3ª ed. reform. São Paulo: Moderna, 1998.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, p. 257-262, 2003.
- ALCANTARA, L. H. **Análise espaço-temporal do escoamento na bacia do alto e médio rio Teles Pires.** Orientador: Peter Zeilhofer. 2009. [xv, 151f]. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. **Medição de descargas líquida em grandes rios: manual técnico.** Brasília: ANA; SGH, 2009.
- BALBINOT, R.; DE OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALÉRIO, Á. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.
- BARRELLA, W.; PETRERE JR, M.; SMITH, W. S; MONTAG, L. D. A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (org.). **Matas ciliares:** conservação e recuperação, 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.
- BECKER, B. K. **Amazônia:** geopolítica na virada do III milênio. [S.l.]: Editora Garamond, 2004. 172p.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71- 86, 2005.
- BECKER, B. K. A implantação da rodovia Belém-Brasília e o desenvolvimento regional. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 1, p. 32-46, 1977.
- BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários. **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 135-158, 2001.
- BERMANN, C. Impasses e controvérsias da Hidreletricidade. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 139-153, 2007.
- BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K. **Ambientes fluviais.** Florianópolis: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1990.
- BLAKE, G. J. The interception process. In: CHAPMAN T.G.; DUNIN, F. X. (eds.). **Prediction in catchment hydrology.** Canberra: Australian Academy of Science, 1975. p. 447-449.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration, **Journal of Hydrology**, v. 55, n. 1-4, p. 3-23, 1982. ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2).

BOZELLI, R. L.; FARIAS, D. S.; LIMA, S. K. F., LIRA, R. T. S.; NOVA, C. C.; SETUBAL, R. B.; SODRÉ, E. O. Pequenas áreas úmidas: importância para a conservação e gestão da biodiversidade brasileira. **Diversidade e Gestão**, v. 2, p. 122-138, 2019.

CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. **Prescrição de rega por modelo climático**. Campinas: Fundação. Cargill, 1990.

CARVALHO, T. M. de. Quantificação dos sedimentos em suspensão e de fundo no médio rio Araguaia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 1, n. 1, p. 55-65, 2007.

CARVALHO, T. M. de. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2008.

CARVALHO, T. M. **Transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia entre os rios Crixás-açú e Javaés**. 2006. 00f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

Achei assim e não como Dissertaçã já uma publicação nessa revista.

CARVALHO, T. M. Transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia entre os rios Crixás-Açú e Javaés. **Geosul**, Florianópolis, v. 24, n. 47, p 147-160, jan./jun. 2009.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia: Precipitação**, 2006
CARVALHO, L. G. D.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 456-465, 2011.

CARRIELLO, F. **Estimativas da resposta hidrológica das sub-bacias brasileiras**. São José dos Campos: INPE, 2004. 155p. (INPE-12886-TDI/1008).

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos cadernos NAEA**, v. 8, n. 2, p. 5-39, 2005.

COE, M. T.; MARCOS, H. C.; SOARES-FILHO, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedback. **Journal of Hydrology**, v. 369, n. 1–2, p. 165-174, 2009. ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.043>.

CRUZ, R. C.; TAVARES, I. S. Bacia hidrográfica: aspectos conceituais e práticos. *In*: RIGUES, A. A.; BURIOL, G. A.; BOER, N. (org.). **Água e educação**: princípios e estratégias de uso e conservação. Santa Maria, RS: Centro Universitário Franciscano, 2009. cap. 3.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, p. 291-323, 2008.

CUNHA-SANTINO, M B.; BIANCHINI JR, I. **Ciências do ambiente**: conceitos básicos em ecologia e poluição. São Carlos: EdUFSCar, 2010. 179p.

DASMANN, R. F.; MILTON, J. P.; FREEMAN, P. H. **Ecological principles for economic development**. Washington D. C., USA: John Wiley & Sons Ltd, 1973.

EMBRAPA. Solos. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo>. 2021.

EMBRAPA Solos. Caracterização geoambiental em áreas com barragem subterrânea no semiárido brasileiro. Rio de Janeiro, 2015.

EMBRAPA, mapa de solos. Disponível: https://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php

ESCADA, M. S. **Análise da expansão da fronteira agropecuária da Amazônia 1997 a 2009**. VII Seminário técnico científico de análise dos dados do desmatamento. Brasília, DF, 2010.

FARIA, A. S. D. **Deteção automática de desmatamentos no bioma cerrado: desafios para o monitoramento sistemático**. 2018. 95f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PRPG), Universidade Federal de Goiás, 2018.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R.; FERREIRA, M. E. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 47 - 62, 2007.

FERRARI, A. L.; VECCHIA, F. A. S.; COLABONE, R.O. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, n. 1, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v10i1.30585>.

FERREIRA, L. F.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 159-166, 2005.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FERNANDES, A. C. G.; BORGES, I. M. S.; SILVA, J. A.; SILVA, E. C. B. da; SANTOS, M. J. R.; PESSOA, D. de S.; MARTINS, M. S.; SILVA, J. A. da; CAMPOS, J. O.; MEDEIROS, L. R. de A. The use of the mann-kendall test for detection of precipitation trends in a semi-arid region of Pernambuco. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 11, p. e546111133925, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33925>.

FERNANDES, P. A.; PESSÔA, V. L. S. O cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada/Cerrado and it's impacting activities: a reading about a mine, mining and mechanized farming. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 3, n. 7, 2011.

FEARNSIDE, P. M. Desenvolvimento Hidrelétrico na Amazônia. In: FEARNSIDE, Philip M. (org.). **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Manaus: Editora INPA, 2015. p. 9-34 A.

FEARNSIDE, Philip M. Emissões de gases de efeito estufa de um Reservatório Hidrelétrico (a Represa de Tucuruí) e suas implicações para a política energética. In: FEARNSIDE, Philip M. (org.). **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Manaus: Editora INPA, 2015. p. 75-93. B.

FORSDYKE, A. G. **Previsão de tempo e clima**. São Paulo. Melhoramentos/Edusp, 1969. 60p.

FRANÇA, S. F. Processo de ocupação da Amazônia e suas estratégias de integração, desenvolvimento e segurança. **NÚMERO 18–ANO X–JUNHO**, v. 12, n. 18, p. 137-161, 2005.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados[online]**, v. 29, p. 43-68, 2015.

GILMAN, C. S. R. In: **Handbook of applied hydrology**. Ven te chow Ed. McGrawHill. Book Co., p 9-1 a 9-68, 1964.

HIBBERT, A. R. Forest treatment effects on water yield. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOREST HYDROLOGY, 1967, Pergamon, Oxford. **Proceedings[...]**. Pergamon, Oxford 1967. p. 527-543,

HURSH, C. R. **Local climate in the copper basin of tennessee as modified by the removal of vegetation**. United States, 1948. (Related Information: Circular No. 774).

HOGAN, D. J.; D'ANTONA, A. O.; CARMO, R. L. Dinâmica demográfica recente da Amazônia. In: BATISTELLA, M.; MORAN, E. F.; ALVES, D. S. **Amazônia: natureza e sociedade em transformação**. São Paulo: EDUSP, 2008. 304p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE. **Estado bioma**. 2023. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2023/11/nota-inpe-desmatamento-cerrado-2023.pdf>

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P. L. B; AGUIAR NETTO, A. D. O. Manejo de bacias hidrográficas na produção de água. In: LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; ARAÚJO, A.S.F. da. **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 11, p. 579-598.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 37-61, 2002.

LACEY, G. C.; GRAYSON, R. B. Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. **Journal Hydrology**, v. 204, p. 231-250, 1998.

LINHARES, C. de A. Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do rio Ji-Paraná/RO. 2006. 58f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 2006.

LIMA, W. P.; ZAKIA M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 33-43, 2000.

LUI, G. H.; MOLINA, S. M. G. Ocupação humana e transformação das paisagens na Amazônia brasileira. **Amazonica**. **Revista de Antropologia**, v. 1, n. 1, 2009. DOI: <https://doi.org/10.18542/amazonica.v1i1.156>.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento na Amazônia Brasileira**. Brasília, DF: Banco Mundial, 2003. 100p.

MARCOVITCH, J.; PINSKY, V. Bioma Amazônia: atos e fatos. **Estudos Avançados**, v. 34, p. 83-106, 2020.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853 - 858, 2000.

MEDEIROS, K. M. O planejamento ambiental e exploratório no bioma cerrado. **E-Revista Facitec**, v.1 n.1, p.1-17, mar. 2007.

MARENGO, J.A.; FISCH, G.; MORALES, C.; VENDRAME, I.; DIAS, P.C. Diurnal variability of rainfall in Southwest Amazonia during the LBA-TRMM field campaign of the Austral summer of 1999. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p.593 – 603, 2004.

MATHER, J. R. **Water resources**: distribution, use, and management. United States, 1984.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. **Caderno Setorial de recursos hídricos: agropecuária**. Secretaria de Recursos Hídricos – Brasília, 2006, 96 p.

MOSTER, C.; LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. B.; CÂMARA, C. D. Determinação do ano hidrológico visando a quantificação do balanço hídrico em microbacias experimentais. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, n. 197, p. 1-6, 2003. ISSN 0100-3453.

NASCIMENTO, A. F., da SILVA, M. S. L., MARQUES, F., de OLIVEIRA NETO, M. B., PARAHYBA, R., & do AMARAL, A. J. (2015). Caracterização geoambiental em áreas com barragem subterrânea no Semiárido brasileiro.

NGUYEN, L.H.; MOHAN, G.; JIAN, P.; TAKEMOTO, K.; FUKUSHI, K. Low-Carbon watershed management: potential of greenhouse gas reductions from wastewater treatment in rural Vietnam. **The Scientific World Journal [online]**, p. 1-12, 2016.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. D.; DIAS, H. C. T.; Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, 2005.

OLIVEIRA, A. E. Ocupação humana. In: SALATI, E.; JUNK, W.J.; SHUBART, H.O.R. **Amazônia**: desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Brasiliense, p. 327, 1983.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **LCE 306-** meteorologia agrícola. ESALQ, USP: Departamento de Ciências Exatas, 2007.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. (org.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: terias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2002. p. 8 – 27.

PINTO, J. E. S. de Siqueira. **Precipitação atmosférica**. (Aula 7). Disponível em: https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15011124022014Climatologia_Sistematica_Aula_7.pdf. Acesso em: 17/11/2023.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS- PNRH. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: ????.
 RENNÓ, C. D.; BORMA, L. D. S. **Processos Hidrológicos**. CST 318/ SER 456, 2017.

RAD. 2023. Relatório anual do desmatamento no Brasil do Mapbiomas. Link disponível: https://storage.googleapis.com/alerta-public/dashboard/rad/2022/RAD_2022.pdf.

RIBEIRO C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. Odesafio da delimitação de Áreas de Preservação Permanente. **Revista Árvore**, v. 29, p. 203-212, 2005.

RIBEIRO, W. Dossiê: água, política e natureza. **Ambientes Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 1, n. 2, p. 9 – 10, 2019.

ROCHA, G. F.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. **Deteção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009**: padrões, tendências e impactos, 2011.

ROCHA, J. C. S. **Dinâmica de ocupação no bioma cerrado**: caracterização dos desmatamentos e análise das frentes de expansão, 2012.

SAITO, E. A. **Caracterização de trajetórias de padroes de ocupação humana na Amazônia legal por meio de mineração de dados**. Orientada pelas Dras. Leila Maria Garcia Fonseca, e Maria Isabel Sobral Escada. 2011. xxvi, 132 f. Dissertação(Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos: INPE, 2011.

SALATI, E. Modificações da Amazônia nos últimos 300 anos: suas conseqüências sociais e ecológicas. In: BRITO, S. S. **Desafio amazônico**: o futuro da civilização dos trópicos. Brasília: CNPQ, 1990. 247p.

SALOMÃO, F. X. Erosão e ocupação rural e urbana. In: **Curso de geologia de engenharia aplicada a problemas ambientais**, p. 31-57.v. 3, 1992.

SÁNCHEZ, L. E. Projetos de recuperação: usos futuros e a relação com a comunidade. Encontro de Mineração no Município de São Paulo. **Anais[...]** São Paulo: Secretaria dasAdministrações Regionais da Prefeitura do Municipalde São Paulo, 1995. p. 53-73.

SANTANA, D. P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. [S.l.]: Embrapa Milho e Sorgo, 2003.

SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; FARIAS, M. H. C. S.; AIRES, U. R. V.; SERRÃO, E. A. O. Análise estatística da não estacionariedade de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do rio pardo holos,vol.7,2016,pp.179-193.ISSN:1518-1634.DOI: 10.15628/holos.2016.4892.

SANTOS, F. A. A. Efeitos da variabilidade climática global e do usos e cobertura da terra sobre o comportamento hidrológico do rio Xingu. **Tese de Doutorado**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (ed.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba : Editus, 2002.

SCHLOSSER, I. J.; KARR, J. R. Water quality agricultural watersheds: impact of riparian vegetation during base flow. **Journal of the American Water Resources Association** [online], v. 17, p. 233-240, 1981.

SERRA, J. P.; OLIVEIRA, T. A. Impactos ambientais decorrentes da construção de barragens de usinas hidrelétricas: reflexões e desdobramentos físico-naturais. **Ciências Ambientais: Diagnósticos Ambientais**, Ribeirão Preto, p. 64-83, 2020.

SHAMSODDINI, S.; EMAMI, S.N.; BAHMANI, S. Analyzing effective factors on rural participation in watershed management activities (Case study: Cheshmeh Zainal Broujen). **Iranian Journal of Watershed Management Science**, v. 13, n. 46, p. 102-111, 2019.

SMITH, C.; BAKER, J.C.A.; SPRACKLEN, D.V. Tropical deforestation causes large reductions in observed precipitation. **Nature**, v.615, p. 270–275, 2023.
<https://doi.org/10.1038/s41586-022-05690-1>

SILVA, A.; FONSECA, A.; MONTEIRO, J.; SANTOS, L. A gestão e monitoramento das águas: uma abordagem das legislações em Portugal e Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** [online], v. 11, p. 1512-1525, 2018.

SILVA, C.; MANZIONE, R.L.; CALDAS, M.M. Net water flux and land use shifts across the Brazilian Cerrado between 2000 and 2019. **Reg Environ Change**, v. 23, p. 151, 2023.
<https://doi.org/10.1007/s10113-023-02127-x>

SILVA, F. L.da; FUSHITA, Â. T.; CUNHA-SANTINO, M. B.da; BIANCHINI JÚNIOR, I.; VENEZIANI JÚNIOR, J. C. T. V. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, p. 1626-1653, 2021.

SILVA, F. L.; MOITAS, M. L.; BIANCHINI JR., I. B; CUNHASANTINO, M. B., 2016. Qualidade dos sedimentos do rio Monjolinho: índice de geoacumulação. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente** [online], v. 4, p. 79-87, 2016.

SILVA, F. L.; OLIVEIRA-ANDREOLI, E. Z.; MACHADO, R.; TEODORO, C. C.; LÓPEZ, F. M. A., FUSHITA, A. T.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JR, I. Aspects that should be considered in a possible revision of the Brazilian Guideline Conama Resolution 357/05. **MOJ Ecology & Environmental Sciences**, v. 4, n. 5, p. 195-197, 2019.

SIQUEIRA, A.H.B. **Variabilidade do clima da América do Sul e sua relação com os índices oceânicos e atmosféricos**. 2012. 77f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosférica, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012. Acessado em:
<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/2065>.

SOMBROEK, W. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall - consequences for the planning of agricultural, occupation and the protection of primary forests. **Ambio**, v. 30, n. 7, p. 388-396, 2001.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuária**, Belo Horizonte, v. 21; n. 207, p. 15-20, 2000.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H.C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE -Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. In: TUCCI, C.E.M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. cap. 11, p. 391-441.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TRIMBLE, S. W.; WEIRICH, F. H.; HOAG, B. L. Reforestation and the reduction of water yield on the southern Piedmont since circa 1940. **Water Resources Research**, v. 23, p. 425-437, 1987.

VIEIRA, C.P. Alterações na cobertura vegetal: interferência nos recursos hídricos. **Silvicultura**, v. 20, n. 82, p. 26-27, 2000.