

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PREVISÕES SOBRE O PADRÃO DE INUNDAÇÃO DAS VÁRZEAS EM
DECORRÊNCIA DA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS NA REGIÃO
AMAZÔNICA E SUAS CONSEQUÊNCIAS AO BIOMA E ÀS COMUNIDADES
LOCAIS**

Andréa Tertuliano de Oliveira
nº USP 569342

Orientador: Prof. Dr. Renato Paes de Almeida

Coorientador: João Paulo de Souza Bueno

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA

PROJETO 23/05

SÃO PAULO

2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA

**PREVISÕES SOBRE O PADRÃO DE INUNDAÇÃO DAS VÁRZEAS EM
DECORRÊNCIA DA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS NA REGIÃO
AMAZÔNICA E SUAS CONSEQUÊNCIAS AO BIOMA E ÀS COMUNIDADES
LOCAIS**

TF 23/05

Andréa Tertuliano de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Renato Paes de Almeida
Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA)

Coorientador: João Paulo de Souza Bueno
Doutorando em Geologia

SÃO PAULO
2023

À minha mãe (*In memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Difícil elencar todas as criaturas que colaboraram para a finalização deste curso. Seria injusta se tentasse, até porque inevitavelmente esqueceria de citar alguém.

Assim, agradeço a todos que conheço, amigos e nem tanto, que cruzaram seus caminhos com o meu neste mais de meio século de existência e que, direta ou indiretamente, moldaram meu caráter e fizeram de mim o que sou hoje.

Neste rol de companheiros de vida, cabe especial atenção aos amigos da “Geo 62” e de outros estudantes que fizeram disciplinas conosco; aos funcionários do Igc e às professoras e aos professores que compartilharam seus conhecimentos com tamanha dedicação, altruísmo e abnegação.

Ao Prof. Renato Paes de Almeida, pela gentileza de me aceitar como orientanda e dedicar horas inestimáveis do seu tempo para auxiliar, orientar, sugerir e ajudar a preparação desta monografia, inclusive no que tange à elaboração do código Python.

Ao meu coorientador João Paulo de Souza Bueno, por sempre ter conseguido horário em sua apertada agenda para sanar dúvidas e colaborar no tratamento dos dados.

E, principalmente aos meus meninos, Lúcifer e Jesus, que abdicaram, sem reclamar, de momentos preciosos de convívio.

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem” (João Guimarães Rosa, *in* Grande Sertão: veredas)

RESUMO

O ecossistema amazônico depende do padrão anual de enchentes e secas de seus rios. Afora a emergência climática, com alteração das médias pluviométricas em decorrência do aquecimento global, os rios da região amazônica ainda enfrentam uma sucessão de barramentos devido à construção de usinas hidroelétricas. Considerando a baixa declividade do terreno, a opção é a construção de barragens a fio d'água, as quais demandam grandes áreas de reservatório a montante. O presente trabalho pretende realizar uma previsão do padrão de inundação nas várzeas dos rios diante de tal realidade e avaliar as repercussões ao bioma e às comunidades ribeirinhas locais. A partir de dados públicos obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA), mais especificamente na fonte Hidroweb, construíram-se histogramas de vazão e cota, séries históricas de vazão e cota, dias por ano inundados a cada cota e correlação vazão-cota (*rating curve*), além de cálculos de média móvel para observação de possíveis tendências de longo prazo, sempre utilizando um código Python. Posteriormente foram analisados dois cenários: um com a liberação mínima do percentil 10 da vazão histórica; e um segundo, com a liberação do percentil de 25 da vazão histórica. Após, correlacionaram-se estes dados com a sucessão florística e a necessidade de água para a reprodução dos peixes e manutenção da cadeia alimentar, particularmente a jusante da usina de Belo Monte, no Rio Xingu. O objetivo final deste trabalho é avaliar as consequências do represamento dos rios amazônicos ao meio ambiente e às comunidades ribeirinhas e fornecer mais uma ferramenta para a tomada de decisão pelas autoridades que permitem a construção de usinas hidrelétricas na região amazônica, a fim de contribuir para a adoção de medidas paliativas ou de controle.

Palavras-chave: padrão de inundação, pulso de inundação, sucessão florística, ecossistema amazônico, Rio Xingu, Hidrelétrica de Belo Monte

ABSTRACT

The Amazon ecosystem depends on the annual pattern of floods and droughts in its rivers. Aside from the climate emergency, with changes in rainfall averages as a result of global warming, the rivers in the Amazon region still face a succession of dams due to the construction of hydroelectric plants. Considering the low slope of the land, the option is to build run-of-river dams, which require large reservoir areas upstream. The present work aims to forecast the flood pattern in river floodplains in light of this reality and evaluate the repercussions on the biome and local riverside communities. Using public data obtained from the National Water Agency (ANA), more specifically from the Hidroweb source, flow and elevation histograms, historical series of flow and elevation, days per year flooded at each elevation and flow-quota correlation were constructed (rating curve), in addition to moving average calculations to observe possible long-term trends, always using Python code. Two scenarios were subsequently analyzed: one with a minimum release of the 10th percentile of the historical flow; and a second, with the release of the 25th percentile of the historical flow. Afterwards, these data were correlated with the floristic succession and the need for water for fish reproduction and maintenance of the food chain, particularly downstream of the Belo Monte plant, on the Xingu River. The final objective of this work is to evaluate the consequences of damming Amazon rivers on the environment and riverside communities and provide another tool for decision-making by authorities that allow the construction of hydroelectric plants in the Amazon region, in order to contribute to the adoption of palliative or control measures.

Keywords: flood pattern, flood pulse, floristic succession, Amazon ecosystem, Xingu River, Belo Monte Hydroelectric Plant

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Geologia Regional.....	3
2.2 Grandes Rios Pelo Mundo.....	5
2.3 Barragens.....	6
2.4 Usina Hidrelétrica De Belo Monte.....	7
2.5 Bioma.....	8
2.6 Sucessão Florística.....	9
2.7 Comunidades Locais.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1 Modelagem.....	14
3.2 Dados	16
4. RESULTADOS OBTIDOS.....	19
4.1 Previsões.....	29
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	30
6. CONCLUSÕES.....	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
ANEXOS	38

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a crescente demanda por energia têm impulsionado a construção de barragens por todo o globo para a obtenção de energia de matriz hidrelétrica. Apesar de ser tratada como renovável e “limpa”, a construção das barragens para a acumulação de água gera consequências ao meio ambiente e às comunidades locais.

O lago que se forma a montante da construção pode ser entendido como uma grande bacia deposicional, sendo certo que a água que atravessa e movimenta as turbinas e geradores deve conter poucos sedimentos a fim de não afetar os equipamentos. Sendo assim, além de filtros, a água captada para adentrar ao sistema produtor de energia deve ser proveniente da camada superficial do lago, reduzindo ainda mais a concentração de sedimentos que será liberada a jusante da usina.

Outrossim, no período chuvoso são necessárias liberações programadas a fim de reduzir o volume armazenado no lago. Essa água despejada na calha do rio a jusante do reservatório não se submete ao mesmo controle de sedimentos usual da barragem, novamente causando mudanças ambientais.

O padrão natural de inundação das várzeas dos rios amazônicos deposita sedimentos fundamentais para o desenvolvimento da vegetação. Ribeiro (2009) analisou a redução do afluxo sedimentar a jusante, decorrente do represamento dos rios, demonstrando que o bioma existente na várzea ribeirinha é muito dependente do afluxo destes sedimentos.

Segundo Latrubesse *et al.* (2017), na região amazônica, há mais de 280 barragens (já construídas ou em planejamento) sendo 136 barragens em cursos de rios nos Andes, 146 em ambiente cratônico e 6 usinas em planície.

A partir da análise de dados públicos obtidos no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA), em particular da fonte Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>) construíram-se histogramas de vazão e cota, séries históricas de vazão e cota, dias por ano inundados a cada cota e correlação vazão-cota (*rating curve*), além de cálculos de média móvel para observação de possíveis tendências de longo prazo, sempre utilizando um código Python. Posteriormente foram analisados dois cenários: um com a liberação mínima do percentil 10 da vazão histórica; e um segundo, com a liberação do percentil de 25 da vazão histórica, com o propósito de correlacionar estes dados com a sucessão florística e a necessidade de água para a reprodução dos peixes e manutenção da cadeia alimentar, particularmente a jusante da usina de Belo Monte, no Rio Xingu.

Em 2018 estimava-se que 2,7 bilhões de pessoas habitassem ou fossem dependentes dos grandes rios do mundo e de suas planícies aluviais (Best, 2019). Tendo em vista que, segundo o Banco Mundial, em 2018 a população mundial era de 7,7 bilhões de pessoas, equivale dizer que 35% da população mundial sofre influência direta das alterações nas várzeas e deltas dos rios. A repercussão da mudança do afluxo de sedimentos pode e deve ser aquilatada e ser considerada como mais um fator a ser discutido e eventualmente

compensado no momento da produção dos estudos de impacto ecológico e ambiental que antecedem a autorização para a construção destes megaprojetos.

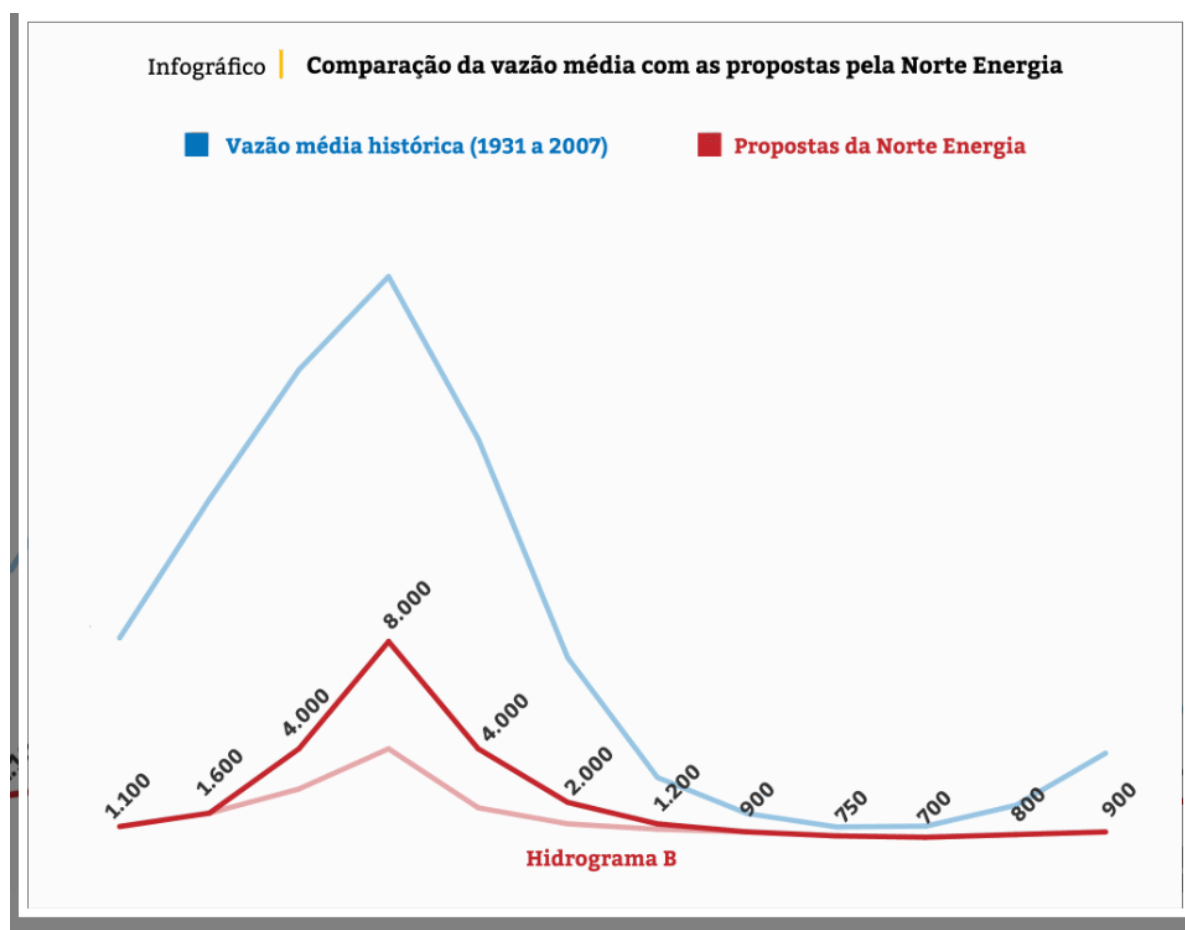


Figura 1: Gráfico de vazões médias (em m³/s) para o Rio Xingu em decorrência da construção da Usina de Belo Monte. As linhas em vermelho representam duas propostas da empresa Norte Energia de liberação de água pelas comportas: a linha vermelha mais escura é o hidrograma A e a linha vermelha mais clara representa o hidrograma B. A linha azul representa a vazão média histórica precedente à construção da usina. (fonte: <https://apublica.org/2019/12/no-xingu-finalizacao-da-ultima-turbina-de-belo-monte-pode-significar-o-fim-do-rio>).

Ademais, as espécies úteis às comunidades que se instalaram às margens do curso do rio estão na área da várzea e não na terra firme. A mudança do regime de vazão (Figura 1) e consequente deposição sedimentar interferem na subsistência dessas comunidades na medida em que as espécies economicamente relevantes aos ribeirinhos terão menos substrato para seu desenvolvimento.

O aumento das áreas alagadas a montante das usinas também interfere no bioma. Como exemplo, houve uma redução de 69% da densidade de áreas de nidificação da tartaruga-do-rio-de-mancha-amarela (*Podocnemis unifilis*) após a construção de barragens na região amazônica (Bárcenas-García, et al., 2022).

O ecossistema amazônico depende do padrão anual de enchentes e secas de seus rios. Afora a emergência climática em decorrência do aquecimento global que gera alteração das médias pluviométricas, os rios da região amazônica ainda enfrentam uma sucessão de barramentos devido à construção de usinas hidroelétricas, modificando padrões de inundação

e aporte sedimentar _ os quais comprometem a sucessão florística e a cadeia alimentar.

A interferência antrópica sobre o bioma e as comunidades locais em decorrência da alteração do padrão de inundação a jusante das grandes barragens nos rios amazônicos será analisada neste trabalho a fim de contribuir para a adoção de medidas paliativas ou de controle.

A constatação da mudança dos padrões de inundação poderá estimular políticas públicas e apoiar a tomada de decisão no que se refere à escolha de locais para a construção de hidrelétricas na região amazônica ou a mitigação de seus efeitos.

2. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geologia Regional

O presente trabalho tem como foco a região Amazônica, em especial a Bacia do Rio Xingu. A escolha se justifica pela recente implantação da Usina de Belo Monte _ cujo início da operação ocorreu em 2016 _ e pela perspectiva de construção de novas barragens em diversos locais, inclusive em países andinos (Latrubesse, 2017).

Um dos maiores afluentes do Rio Amazonas é o Rio Xingu, o qual se localiza entre os paralelos 1° e 15° de latitude sul e os meridianos 50° e 56° de longitude oeste (Mineli, 2013). O Rio Xingu corre por aproximadamente 2.000 km na direção sul-norte, com suas nascentes no Planalto dos Guimarães (MT) e foz no trecho final do Rio Amazonas, no Estado do Pará. Ainda segundo Mineli, a bacia do Rio Xingu drena área de aproximadamente 520.000 Km², cuja cobertura vegetal original é floresta tropical densa e úmida.

A usina de Monte Belo está localizada numa região denominada Volta Grande do Xingu, no município de Altamira/PA, onde a pluviosidade média anual é de 2.024,2 mm, com desvio padrão de 306,6 mm (Hoffmann, 2018). A área se situa no limite entre a Bacia Sedimentar do Amazonas e o embasamento formado por unidades mesoarqueanas a paleoproterozóicas (Mineli, 2013).

Segundo a atualização do inventário hidrelétrico da bacia do Rio Xingu, produzido pela Eletrobrás (2007), a bacia hidrográfica do Rio Xingu localiza-se no Cráton do Guaporé, onde estão bem caracterizados estágios de plutonismo, vulcanismo, dobramentos e falhamentos. A unidade mais antiga, do pré-Cambriano Inferior e Médio, é constituída por rochas cristalinas ígneas e metamórficas de alto grau, agrupadas sob a denominação de Complexo Xingu. Sobreposta a esta área cratônica, o Grupo Grão Pará é composto por rochas ricas em ferro, metamorfozadas e dobradas pelo Ciclo Orogênico Transamazônico no pré-Cambriano Médio a Superior, o qual também promoveu falhamentos transcorrentes no Complexo Xingu. Na região central e norte da bacia, acima do Complexo Xingu e Grupo Grão Pará, há sequência vulcanosedimentar, denominado Grupo Uatumã (Figura 2). Considerando a formatação deste trabalho, o mapa em suas dimensões originais foi incluído como anexo 1, ao final do texto, a fim de permitir uma melhor visualização.

Eletrobrás em 2007, são três unidades geomorfológicas na área, a saber, (i) a depressão periférica do Sul do Pará, representando cerca de 45% da superfície total da bacia do rio Xingu; (ii) a unidade Planaltos Dissecados do Sul do Pará, ocupando cerca de 15% da área da bacia e composta predominantemente por rochas sedimentares, metassedimentares dobradas e vulcânicas pré-cambrianas, sendo que seus maciços residuais de topo aplainado têm altitudes variando entre 500 e 600 m, entremeados por faixas de terrenos rebaixados, com cotas variáveis entre 200 e 250 m; (iii) o planalto rebaixado da Amazônia, ocupando os 5% restante da superfície da bacia, sustentado majoritariamente pelos sedimentos terciários da Formação Alter do Chão.

As usinas a fio d'água (Zuanon *et al.*, 2019), como a de Belo Monte, não têm grande capacidade em seus reservatórios, daí que o número de turbinas depende da vazão do rio. Por estar localizada numa área de reduzida declividade, a área alagada é extensa, mas não profunda.

As grandes barragens, afora o impacto ambiental gerado pelo represamento da água e alagamento de áreas vizinhas (morte dos vegetais, afogamento de animais, deslocamento de vilas e cidades, dentre outros), interferem diretamente no regime de vazão e transporte sedimentar.

2.2 Grandes Rios Pelo Mundo

Verifica-se, outrossim, que diversas regiões do mundo enfrentam situação semelhante. Rios como Amarelo, Bramaputra, Mekong, Yangtze, Mississipi e Nilo também estão sofrendo represamento a fim de produzir energia hidrelétrica para propiciar desenvolvimento industrial e humano. Congo, Zambezi, Indu, Colorado, Danúbio são outros exemplos de grandes rios impactados pelo represamento (Gupta, 2007).

No século passado foram construídas barragens no Rio Danúbio. Além das disputas entre os países pelo acesso à água, há comprovações da alteração do fluxo sedimentar e fluxo para aquíferos. Segundo Gupta, os países atravessados pelo Danúbio enfrentam, além do aumento da poluição do rio, uma distribuição irregular de sedimentos finos e cascalho, afetando navegabilidade e disponibilidade hídrica para culturas.

Para os países mais pobres, premidos pela necessidade de desenvolvimento, há problemas relacionados à falta de recursos e/ou capacidade estatal para gerir os rios. Se, de um lado, o fornecimento de energia derivada da construção de hidrelétricas favorece a redução da pobreza, por outro lado, a diminuição do volume de água e sedimentos a jusante da barragem prejudica as populações ribeirinhas cuja subsistência é diretamente afetada pelas alterações na planície de inundação (Gupta).

Segundo Best e Darby (2020), além das alterações no regime de fluxo, redução do aporte dos sedimentos e instabilidade das margens na região a jusante das barragens, essas construções em regiões tropicais ocasionam a liberação de gases de efeito estufa devido ao

apodrecimento da vegetação que ficou submersa. Estes autores fazem uma análise do delta do Rio Mekong, o qual estaria sofrendo um processo rápido de salinização devido à subsidência do solo em decorrência da restrição do aporte sedimentar e do bombeamento de águas subterrâneas. 18 milhões de pessoas são dependentes da agricultura de subsistência na região do delta do rio Mekong e serão impactadas por este processo de salinização.

2.3 Barragens

O desenvolvimento econômico está diretamente relacionado à oferta de energia. Em tempos de mudanças climáticas, a opção pela energia “limpa” tem sido incentivada. Dentre os modelos deste tipo de energia renovável analisaremos a matriz hidrelétrica. Neste tipo de produção energética aplica-se a força gravitacional para que a água se desloque de área de maior para área de menor potencial e, com isso, acione turbinas gerando movimento de pistões e redundando em energia (Figura 3).

Não é desejável que a água que passe por essas turbinas contenha materiais em suspensão, seja de grande volume (troncos de árvores, plásticos, lixo) seja centimétrico, eis que podem ocasionar danos no interior das turbinas. Para tanto, além dos filtros que são instalados a fim de impedir a passagem destes sedimentos, é usual a construção de reservatórios bastante profundos (usinas com reservatório, como Balbina e Samuel) para reduzir a velocidade da água e propiciar a deposição dos sedimentos no fundo destes lagos artificiais para que a água das camadas mais superficiais esteja com menos elementos dissolvidos e seja preferencialmente direcionada às turbinas. No caso da usina de Belo Monte, a usina segue o padrão de fio d-água, na qual os reservatórios são rasos, mas a área alagada é grande.

Como consequência destas técnicas, observa-se uma maior sedimentação pré-barragem e um menor afluxo de sedimentos pós-barragem. O lago artificial tende, inclusive, a ser considerado como uma grande bacia de sedimentação de formação antrópica. Por sua vez, a região dos deltas dos rios receberá menos sedimento, alterando a sazonalidade de deposição. Os mares também serão afetados, eis que receberão menos sedimentos e nutrientes, repercutindo em prejuízo para a sobrevivência da vida aquática dependente desses elementos.

Ademais, Cavalcante (2011) demonstrou que, apesar de não terem sido observadas alterações no padrão pluviométrico em decorrência da construção de barragens no Rio São Francisco, houve redução das vazões máximas, mínimas e das médias mensais e anuais no baixo Rio São Francisco, bem como mudanças na concentração de sedimentos e correlacionou o fato à aceleração da erosão nas margens e na região costeira.

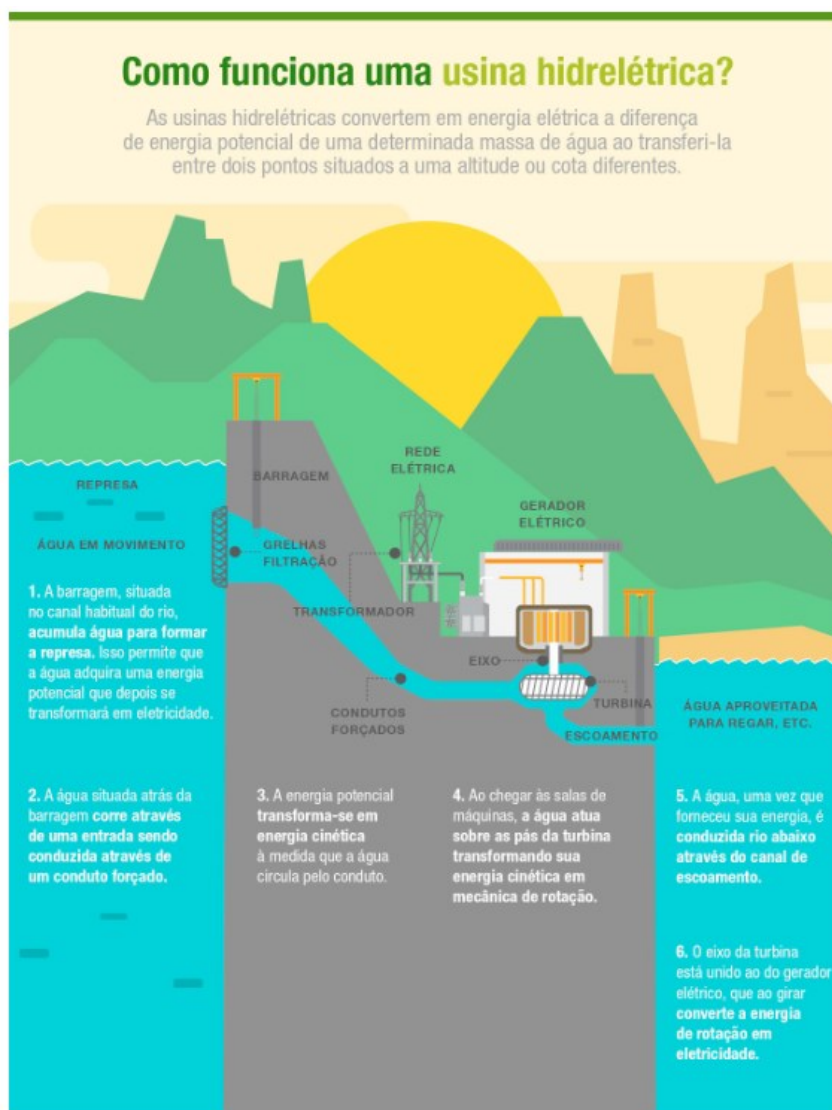


Figura 3: Ilustração esquemática de uma usina com reservatório (fonte: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/o-que-e-energia-hidreletrica>)

2.4 Usina Hidrelétrica De Belo Monte

A usina de Monte Belo está localizada numa região denominada Volta Grande do Xingu, no município de Altamira, Estado do Pará (Figura 4). Segundo a empresa Norte Energia SA, responsável pela construção e operação de Belo Monte, a área do reservatório é de 478 km² e, por se tratar de usina a fio d'água, foram construídos dois reservatórios interligados por um Canal de Derivação, com 20 km de extensão. O Reservatório Principal, formado no Rio Xingu, apresenta 359 km², enquanto o Reservatório Intermediário, com 119 km², é constituído por 28 diques e canais de transposição (Norte Energia SA).



Figura 4: Mapa de área da usina de Belo Monte (fonte: <https://apublica.org/2019/12/no-xingu-finalizacao-da-ultima-turbina-de-belo-monte-pode-significar-o-fim-do-rio>).

A usina foi oficialmente inaugurada em 27 de novembro de 2019, no entanto, a construção iniciou-se em junho de 2011 e em fevereiro de 2016 houve a conclusão do enchimento dos reservatórios, com o primeiro teste do giro mecânico da Unidade Geradora nº 1 da Casa de Força Principal (Norte Energia SA). A então Presidente Dilma Rousseff promoveu uma inauguração simbólica em 05 de maio de 2016 (Portal Brasil).

2.5 Bioma

O ecossistema circunvizinho aos grandes rios está adaptado aos cíclicos processos de alagamento e retorno das águas à calha usual. A deposição sedimentar é fundamental para a fertilização dos solos e a persistência das espécies vegetais que são a base da cadeia alimentar. As mudanças da deposição de sedimento impactarão, portanto, em todas as espécies que vivem naquele nicho ecológico.

Castelo e Macedo (2015) analisaram os impactos ao ecossistema gerados pela construção das grandes barragens na região amazônica e concluíram pela redução da biodiversidade, o aumento da temperaturas da água nos riachos, além das alterações no transporte de materiais orgânicos e inorgânicos. Juntos, esses fatores afetam a qualidade da água, reduzem a pesca e interferem na navegabilidade dos rios.

Freire (2014) analisou os impactos ambientais decorrentes da implantação da usina hidrelétrica de Belo Monte e verificou consequências geradas pelo represamento e desvio das águas do Rio Xingu, prevendo a mudança no nível das águas pela elevação ou rebaixamento, a montante e a jusante da barragem, respectivamente. Tal alteração modifica a dinâmica do relevo fluvial, com a descaracterização do aporte usual de sedimentos. A região denominada Volta Grande do Xingu, na qual a profundidade é baixa, sofreria com o afloramento rochoso devido ao ressecamento do rio e subsequente mortandade de espécies fluviais.

2.6 Sucessão Florística

O conceito de sucessão florística originou-se nos estudos de Clements em 1916 (Clements, 1916, *apud* Nascimento, 2010) que estabeleceu uma escala de alterações vegetais num determinado local. Assim, a sucessão primária ocorre num substrato originariamente desocupado. A sucessão secundária tem origem em área que fora ocupada anteriormente por uma comunidade, por exemplo, após a derrubada de uma floresta ou um campo agrícola abandonado. O último estágio é o clímax _ fase teórica em direção à qual todas as comunidades vegetais tendem.

Para este autor do século passado, a comunidade vegetal poderia ser entendida como um “superorganismo”, que evoluiria de um estado simples para outro mais complexo, sempre de forma ordenada, progressiva e previsível. Tratando-se de um sistema fechado e autorregulado, os distúrbios externos são considerados como exceções e não fundamentais ao processo da sucessão florística.

As florestas que crescem nas áreas de várzea amazônica necessitam dos sedimentos depositados no solo em decorrência dos processos de inundação (Almeida *et al*, 2004). As partículas em suspensão são provenientes da erosão, inclusive das áreas andinas, e representam importante agente facilitador do processo de colonização vegetal, o qual se inicia com gramíneas, seguidas pelas plantas lenhosas, como arbustos e ervas rizomatosas. Este estrato arbóreo mantém um microclima nas várzeas que permite a sobrevivência da fauna local. Ainda segundo Almeida, as áreas de várzea são pouco resilientes e apresentam recuperação difícil após alterações decorrentes da intervenção humana.

Destarte, nas planícies alagáveis, a variação do nível das águas, ou pulso de inundação, é importante fator para os processos ecológicos, os quais envolvem ciclos de vida e crescimento da biota em decorrência de alterações biogeoquímicas. Ademais, a dispersão de frutos e sementes que proporcionará a distribuição e regeneração das matas são influenciadas pela amplitude e duração destes pulsos de inundação (Assis, 2008).

A cota de inundação na Amazônia pode ter amplitude média de 10 metros, com regiões na várzea nas quais as árvores ficam submersas com mais de 230 dias ao ano (Junk, *apud* Assis, 2008).

Nas áreas inundáveis de várzeas, ocorre uma alternância cíclica entre fases terrestres e aquáticas. A textura do solo e a sedimentação são dependentes do tempo de inundação e da cota em relação ao rio, já que quanto mais alta, menor a deposição sedimentar. Em sua tese, Assis menciona áreas próximas aos rios amazônicos nas quais a deposição sedimentar em um ano alcançou um metro. No entanto, a inundação também provoca erosão nas margens e nas planícies alagadas, o que demonstra a instabilidade e fragilidade das várzeas.

As espécies de árvores que se desenvolvem nas várzeas são adaptadas a este ciclo e apresentam especializações como raízes adventícias e metabolismo reduzido durante a fase aquática. Sem referidas modificações, não seria possível a sobrevivência destas árvores durante a fase de inundação, daí que a variedade de espécies é menor na várzea que nas terras altas da mesma região (Assis, 2008).

A sucessão florística nas áreas de várzea respeita o gradiente de inundação. Assis esclarece que nos estágios primários de sucessão, as matas são compostas quase que exclusivamente de uma única espécie de árvore adaptada e a variedade aumenta conforme a influência da inundação se reduz. Nas áreas amazônicas menos sujeitas à inundação pode haver mais de 100 espécies de árvores num hectare (Assis, 2008), com diminuição da densidade de cada espécie, mas com os exemplares atingindo maiores alturas. A figura 5 ilustra a diferença das espécies vegetais encontradas em áreas de várzea alta e baixa.

No estágio primário de sucessão florística, crescem plantas que necessitam de alta incidência de luz e que apresentam grande velocidade de crescimento e de reprodução, mas vidas curtas. Os caules e raízes destas árvores pioneiras reduzem a energia da água, resistindo à correnteza e promovendo a sedimentação local, propiciando condições de sombreamento para outras espécies, mas que inibem o estabelecimento de novas árvores pioneiras posto que suas sementes demandam muita luz para a germinação.

No estágio mais maduro de sucessão florística há maior variedade de espécies e menor densidade de cada tipo vegetal; as árvores atingem alturas maiores e vivem mais tempo (até 400 anos, segundo Assis). Este tipo de floresta que se desenvolve na várzea alta está assentada sobre solo composto por grãos finos e com pequena sedimentação anual (menos de 1 mm/ano).

Conforme a influência das inundações se reduz, as árvores são de grande porte, com crescimento mais lento. Há maior diversidade de espécies, mas menor densidade. Na hipótese de exploração madeireira desses exemplares, é difícil e demorada a regeneração.

Em áreas mais altas, Assis (2008) menciona os chavascais _ áreas com teor de argila no solo superior a 80%, tornando o substrato impermeável. A especialização novamente é necessária para que algumas espécies consigam sobreviver, porém gerando florestas com reduzida diversidade.

A Figura 6 permite observar que nas várzeas baixas, há menos indivíduos de cada família, enquanto na várzea alta há maior quantidade de cada tipo florestal, a confirmar a sucessão florística correlacionada à inundação.

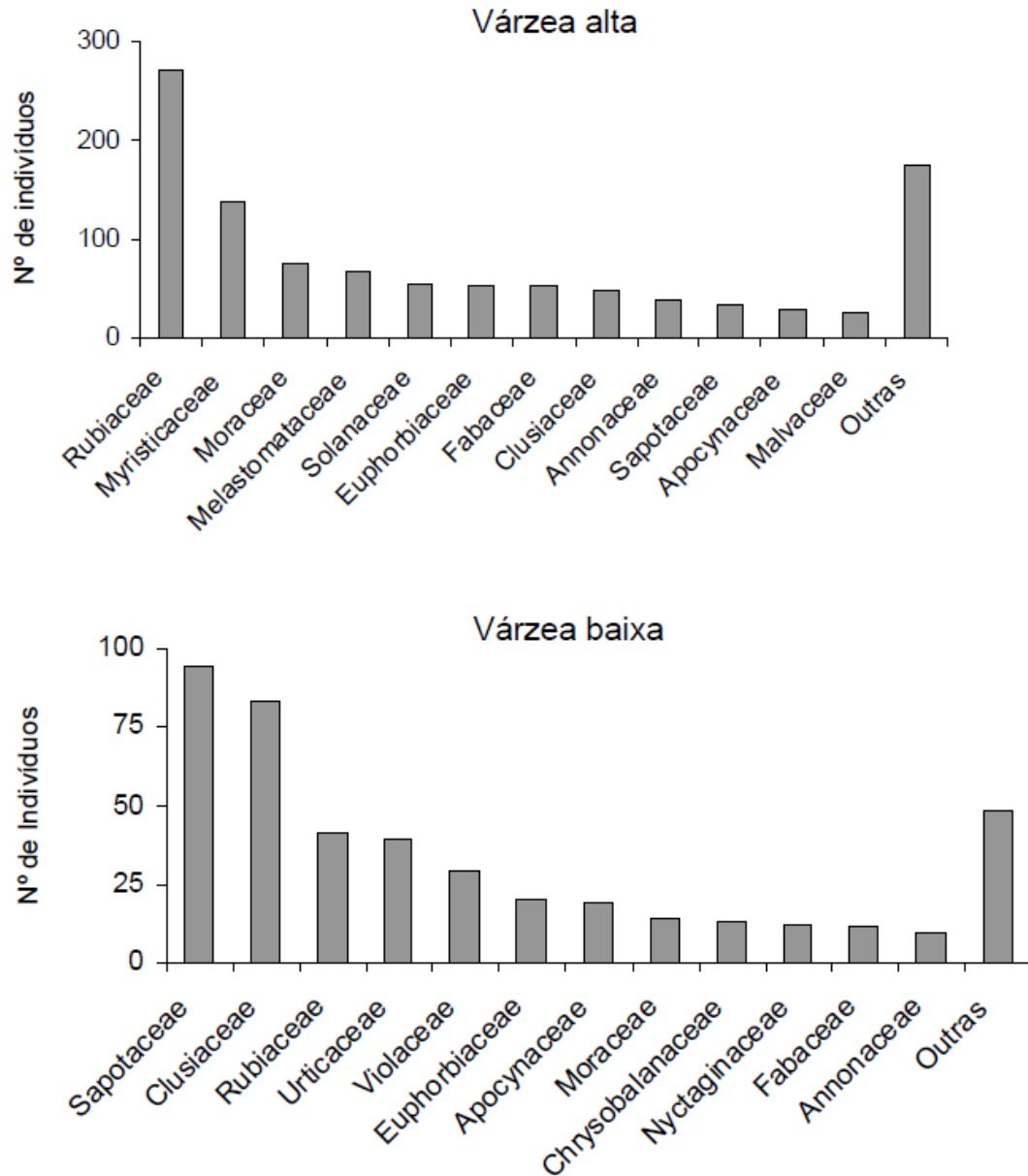


Figura 5: Distribuição das plantas arbóreas (altura mínima de 1 metro), conforme suas famílias botânicas, nas várzeas alta e baixa, na Região do médio Solimões, Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá. (fonte: Composição florística e estrutura da regeneração arbórea de florestas de várzea alta e várzea baixa na RDS Mamirauá, Amazônia, Assis, 2008).

Assim, as áreas que permanecem alagadas a maior parte do ano apresentam espécies vegetais com necessidade de alta incidência luminosa para germinação, bem como crescimento acelerado para que possam gerar sementes em pouco tempo. A sombra produzida por estas espécies adaptadas ao alagamento possibilita a germinação e o crescimento mais lento de várias outras espécies que não suportam excesso de incidência de luz, sendo que estas últimas são árvores que atingem maiores alturas e vivem por décadas.

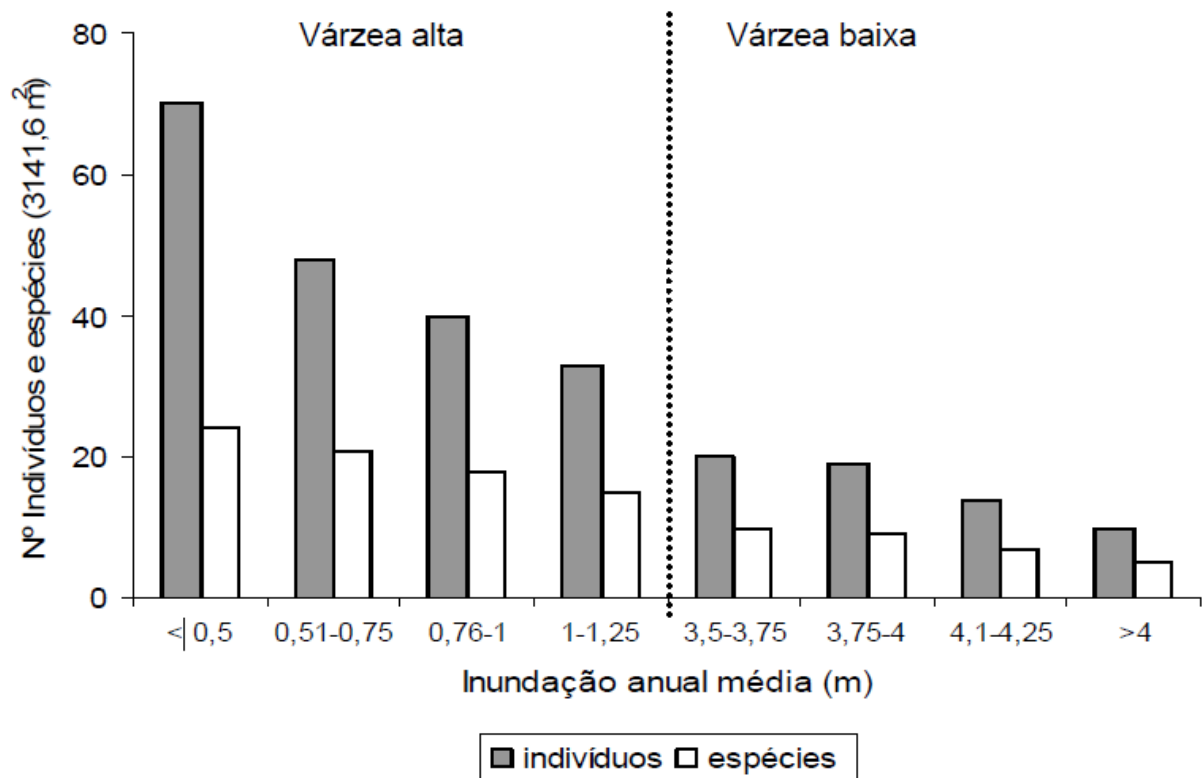


Figura 6: Número de indivíduos e espécies em relação ao gradiente de inundação em florestas de várzea alta e baixa, na Região do médio Solimões, Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá. (fonte: Composição florística e estrutura da regeneração arbórea de florestas de várzea alta e várzea baixa na RDS Mamirauá, Amazônia, Assis, 2008).

2.7 Comunidades Locais

A população que habita ao redor dos grandes rios amazônicos tira seu sustento, via de regra, da exploração das espécies vegetais (açaí, palmito, madeira) e animais que introduziu na área de várzea, posto ser a região sujeita ao ciclo de cheias do rio e aporte de nutrientes, diferentemente do observado na terra firme.

Segundo Almeida *et al* (2004), a maioria dos municípios na região amazônica está assentada sobre áreas de várzeas, sendo que em algumas destas cidades residem quase 100.000 habitantes.

A já mencionada alteração do padrão deposicional em decorrência da construção de barragens irá impactar a sobrevivência destas comunidades ribeirinhas, muitas vezes desassistidas pelo Poder Público e não privilegiadas quando do planejamento das usinas.

As populações a montante da barragem também são afetadas, eis que as dimensões do reservatório, não raro, geram desapropriações e transferência de vilas. Marinho (2019) analisou, em sua tese de doutorado, a luta camponesa e indígena relacionada ao médio Xingu devido à construção da usina de Belo Monte, discorrendo sobre as dificuldades destas populações em ver seu direito ao uso tradicional da terra desrespeitado.

Ademais, Freire (2014) afirmou que a construção da Usina de Belo Monte gerou um incremento populacional de mais de 90 mil habitantes na região, gerando impactos no uso e

ocupação desordenada do solo, especulação imobiliária, acréscimo das necessidades de serviços públicos, aumento da pressão sobre os recursos minerais, pesqueiros e florestais. A impermeabilização do solo em decorrência da pavimentação de ruas, somada à derrubada da vegetação e construção irregular de fossas sépticas contaminando o lençol freático são outros problemas associados ao crescimento populacional desorganizado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados obtidos são públicos e foram baixados do sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), considerando-se as estações fluviográficas com dados de vazão e cota na Amazônia Brasileira.

A Usina de Belo Monte foi contatada várias vezes, por e-mail e telefone, mas não disponibilizou qualquer dado. Em seu *site* (<https://www.norteenergiasa.com.br/pt-br/uhe-belo-monte>) não foram localizados dados pormenorizados em relativos à vazão prévios e/ou posteriores à construção das barragens.

Assim, foram utilizados apenas os dados públicos do sistema Hidroweb da ANA, os quais foram submetidos a um código em Python, elaborado para transformar os dados brutos em médias diárias de vazão e cota. O código utilizado foi juntado a este trabalho como anexo 2.

A partir destes dados foram gerados gráficos sintetizando a análise preliminar dos dados, também elaborados através do Python. Estes incluem histogramas de vazão e cota, séries históricas de vazão e cota, dias por ano inundados a cada cota e correlação vazão-cota (*rating curve*), além de cálculos de média móvel para observação de possíveis tendências de longo prazo.

Os dados foram submetidos à modelagem para se construir cenários possíveis sobre as repercussões da alteração do padrão natural de inundações e a subsequente modificação na camada sedimentar a se depositar no leito do rio e em sua várzea.

Para a avaliação dos efeitos da instalação de barragens com regulação da vazão, foi elaborado modelo numérico considerando dois cenários possíveis de regulação de vazão nos quais uma vazão mínima para geração de energia elétrica é imposta, levando à necessidade de armazenamento de parte da vazão de cheia nos meses seguintes.

O primeiro cenário considera vazão mínima equivalente ao percentil 10 da série histórica de vazões, enquanto o segundo avalia pelo percentil 25. Séries simuladas de vazão foram então calculadas com um código que mantém uma vazão mínima e retira esta vazão dos meses subsequentes, simulando o armazenamento de um reservatório.

Uma função polinomial foi ajustada à *rating curve* (gráfico vazão x cota) para cada estação, permitindo o cálculo das cotas a jusante dos reservatórios simulados.

Perceba-se que a mudança de padrão de sedimentação em decorrência do barramento do Rio Xingu pela construção da Usina de Belo Monte e seu reservatório já está em curso, conforme a imagem de satélite (Figura 7) espelha.



Figura 7: Imagens aéreas da bacia do Rio Xingu na área da Usina Belo Monte, demonstrando alteração do padrão deposicional antes e depois do barramento do rio (Fonte: <https://o-boto.com/blog/rio-xingu-antes-e-depois-da-construcao-do-complexo-hidreletrico-belo-monte>).

3.1 Modelagem

Desenvolver um modelo significa criar uma representação simplificada da realidade e assim prever um comportamento ou uma transformação (Christofolletti, 1999).

Zanella (2016) afirmou que um dos principais impactos ambientais decorrentes de construção de uma usina hidrelétrica é a retenção de sólidos nos reservatórios, o que pode levar ao assoreamento dos mesmos. Em sua tese de doutorado, na qual desenvolveu um modelo para o aporte sedimentar na pequena central hidrelétrica de Costa Rica em Mato Grosso do Sul, o autor analisou técnicas de predição para o volume de sedimentos gerados nas bacias hidrográficas, tendo em vista a erodibilidade dos solos, a erosividade decorrente da chuva e outras características físicas.

Ainda segundo este autor, o aporte de sedimentos pode ser determinado por meio de fórmulas e por métodos indiretos e demandam o conhecimento da seção transversal do trecho em análise, das velocidades de escoamento, além da necessidade de coletas sedimentológicas do material do leito e análise granulométrica do sedimento. As modelagens propostas em seu estudo utilizaram os *softwares* SWAT e InVEST, dentre outros.

A modelagem realizada pelo *software* Soil and Water Assesment Tool (SWAT) utiliza uma equação para prever a perda de solo e apresenta como aspectos positivos a

desnecessidade de calibração e a simulação de longos períodos na predição dos efeitos das mudanças nas características da bacia. No entanto, a limitação do *software* SWAT é a elevada variabilidade da precipitação na área de estudo, já que a modelagem avalia apenas a quantidade de precipitação e não permite a inserção da intensidade da chuva em seu modelo computacional (Zanella, 2016).

$$\text{sed} = a(H_{\text{sup}} q_{\text{pico}} \text{area}_{\text{URH}})^b K C L S P \text{CFRG}$$

sed = produção de sedimento, após evento de precipitação, no dia (mg)

a,b = coeficientes de ajuste adimensionais

H_{sup} = altura do escoamento superficial (mm de chuva por ha)

q_{pico} = vazão de escoamento de pico do evento ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

area_{URH} = área na qual é estimada o aporte de sedimentos (hectare)

K = erodibilidade do solo ($\text{mg m}^2 \text{hr m}^{-3} \text{mg}^{-1}$)

C = fator de cobertura do solo (adimensional)

P = fator das práticas conservacionistas (adimensional)

LS = fator topográfico, caracterizado pelo produto do comprimento do declive e grau do declive

CFRG = fator de fragmentação esparsa

O *software* Integrate Valuation of Environment Service Tradeoffs (InVEST) foi desenvolvido em 2007, através de uma parceria envolvendo a Universidade de Stanford, a Universidade de Minnesota e as organizações internacionais “The Nature Conservancy” e WWF (World Wildlife Fund) e aplica uma equação de perda de solo que leva em consideração tipo específico de solo, regime de chuvas e topografia, calculando a taxa média de erosão do solo para cada combinação de sistemas de cultivo em regiões agrícolas específicas (Zanella, 2016).

$$\text{Perda de solo} = R_i K_i L S_i C_i P_i$$

R_i = erosividade provocada pela chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)

K_i = erodibilidade do solo da região ($\text{mg ha ano MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$)

$L S_i$ = fator gradiente relativo ao comprimento do declive

C_i = fator de gestão relativo ao uso e ocupação do solo

P_i = fator relativo às práticas conservacionistas

Por outro lado, Prado (2020) utiliza modelo que aplica escalas espaciais e temporais bastante extensas, 10.0000 km^2 e 100.000 anos, respectivamente, analisando os padrões de erosão lateral dos canais e do fundo dos rios, além do transporte e deposição de sedimentos. Sua tese de mestrado estudou cenários na região dos rios Solimões e Juruá, sob diferentes

taxas pluviométricas e erosão e os cálculos foram realizados o modelo SPASE (Sedimentary Processes and Alluvial System Evolution).

Ocorre que, como mencionado alhures, não foram disponibilizados pela Norte Energia os dados reais acerca da quantidade ou qualidade do sedimento dissolvido nas águas do Rio Xingu, a jusante ou a montante da barragem de Belo Monte, dificultando a utilização das fórmulas acima transcritas, eis que os valores teriam que ser inferidos. No entanto, as fórmulas foram mantidas neste trabalho a título meramente informativo.

Para este trabalho foi utilizado um código desenvolvido em sistema Python (uma linguagem de programação), aplicada em desenvolvimento de software, ciência de dados e *machine learning*. A linguagem pode ser usada em diferentes plataformas e permite transferência de dados entre servidores com o intuito de interação entre bancos de dados. É possível, desta forma, coletar, organizar e salvar informações de páginas na *internet*, como no caso dos dados disponíveis na Hidroweb. O código é aberto e gratuito, tendo sido lançado em 1991 e apresenta um modelo de desenvolvimento comunitário, gerenciado pela organização sem fins lucrativos Python Software Foundation.

Os códigos utilizados neste trabalho foram produzidos pelo Prof. Dr. Renato Paes de Almeida, a quem agradeço publicamente pela generosidade de permissão do uso. Como dito anteriormente, os códigos estão reproduzidos no anexo 2 desta monografia.

Foram analisados, em especial, os percentis de 10 e 25, ou seja, realizada a distribuição de frequências em 100 intervalos iguais, adotaram-se as ordens 10 e 25 as quais, respectivamente, indicam o ponto no qual se observam os primeiros 10% e 25% das amostras.

Esses percentis foram selecionados tanto pela informação obtida na mídia como sendo a vazão liberada pela barragem quanto pela similaridade dos gráficos, como será discutido adiante.

3.2 Dados

A Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, criou a Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. A Lei nº 13.848, de 25 de junho de 2019, dispôs sobre a gestão, organização, processo decisório e o controle social das agências reguladoras, dentre elas, a ANA (Planalto).

O projeto inicial desta monografia pretendia analisar as repercussões sedimentares, mas não foi possível obter quantidade suficiente de dados anteriores e posteriores à construção da usina e também em pontos a montante e a jusante da barragem, relativamente aos sedimentos. Diante disso, alterou-se o projeto para análise do padrão de inundação das várzeas, uma vez que a usina promove a liberação de água a jusante da barragem conforme suas necessidades operacionais.

A estação fluviométrica de Altamira, código 18850000, está localizada na latitude 03°13'43,1"S e longitude 52°09'47,1"O e está instalada na margem esquerda do rio Xingu, em frente ao novo cais da cidade de Altamira, a montante da barragem (Figura 8). Referida estação possui uma área de drenagem de 448.000 km² (Melo, 2022).

A Figura 9 indica a localização da barragem e da usina e a Figura 10 detalha a área da barragem da mesma construção. Por sua vez, a Figura 11 representa um perfil da seção transversal do Rio Xingu na estação de Altamira.

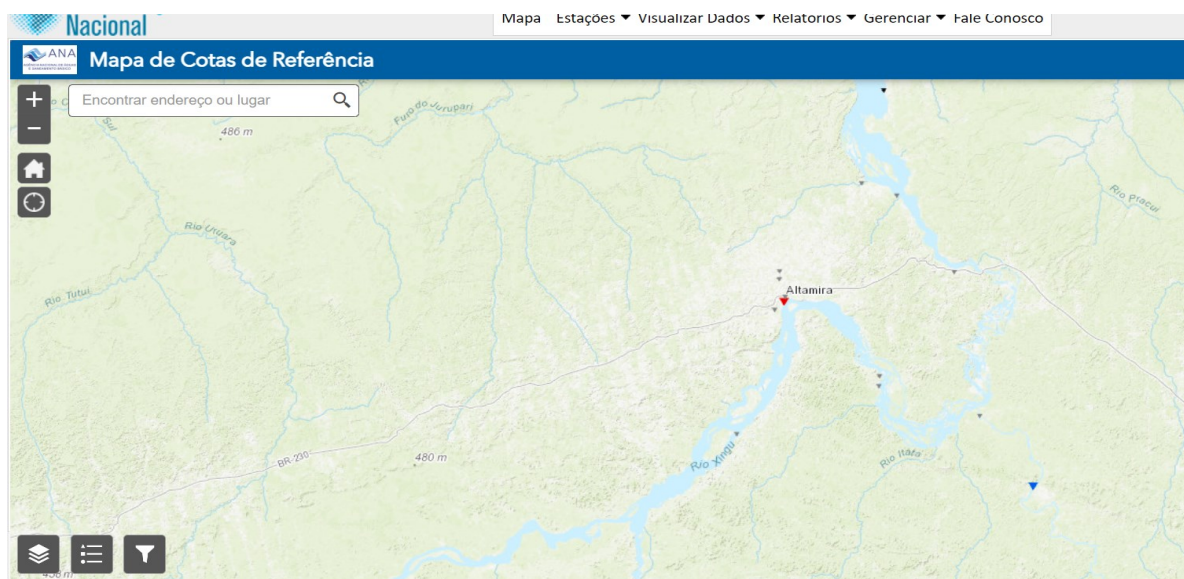


Figura 8: Localização da estação 18850000, em Altamira, indicada pela seta vermelha (Fonte: ANA <https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>).

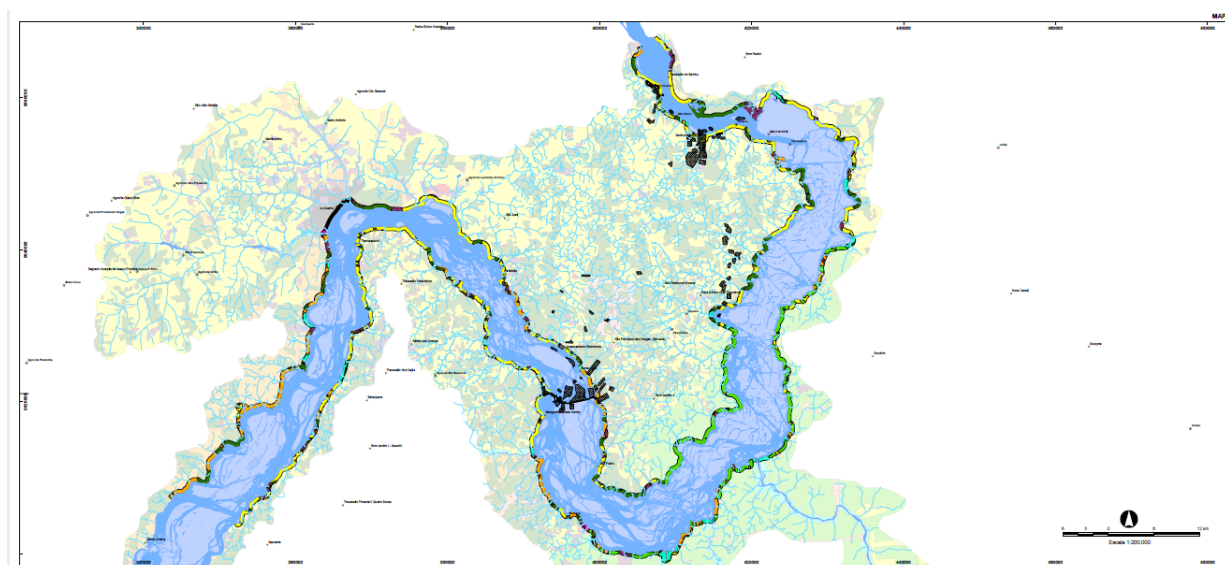


Figura 9: Localização da barragem e da usina de Belo Monte (Fonte: EIA-RIMA de Belo Monte_ Mapas; Eletrobrás).

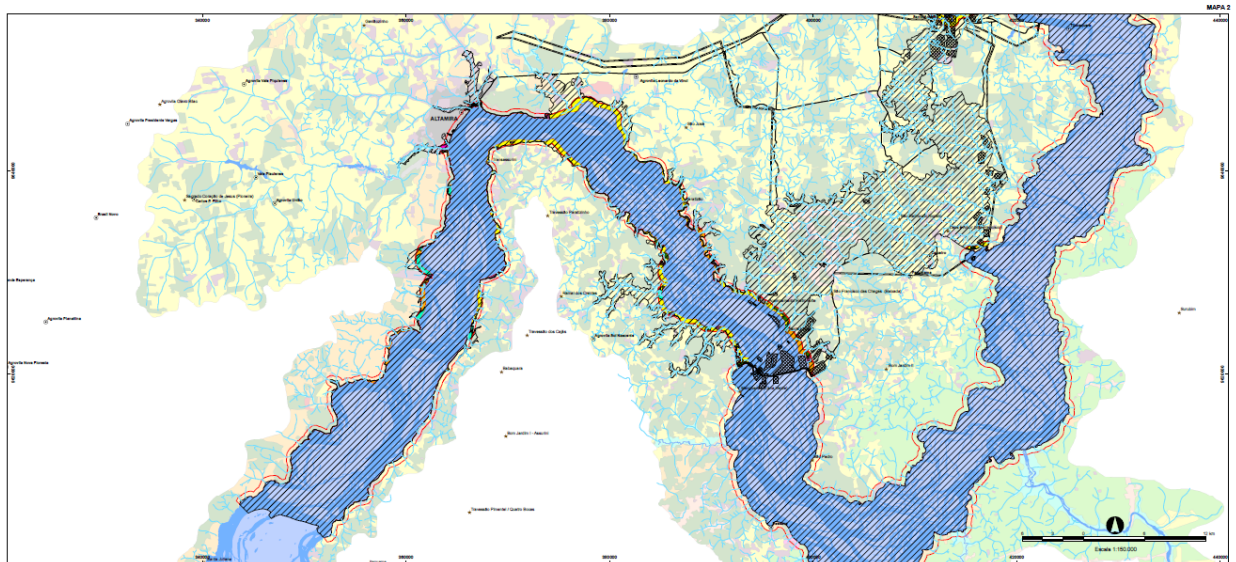


Figura 10: Detalhe da barragem da usina de Belo Monte (Fonte: EIA-RIMA de Belo Monte_Mapas; Eletrobrás)

A Agência Nacional de Águas (ANA) disponibiliza dados de vazão desta estação de Altamira, coletados entre 1968 e 2014, bem como suas cotas, mensuradas a partir de 1928, gerando um generoso conjunto de informações, as quais são acessíveis pelo portal da Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>).

Apesar da persistência da estação fluviométrica de Altamira após a finalização da usina, sua localização a montante do reservatório não auxilia nas projeções dos padrões de inundação a jusante, posto que hodiernamente seus dados espelham as condições da represa, cujo nível é administrado pela operadora de Belo Monte.

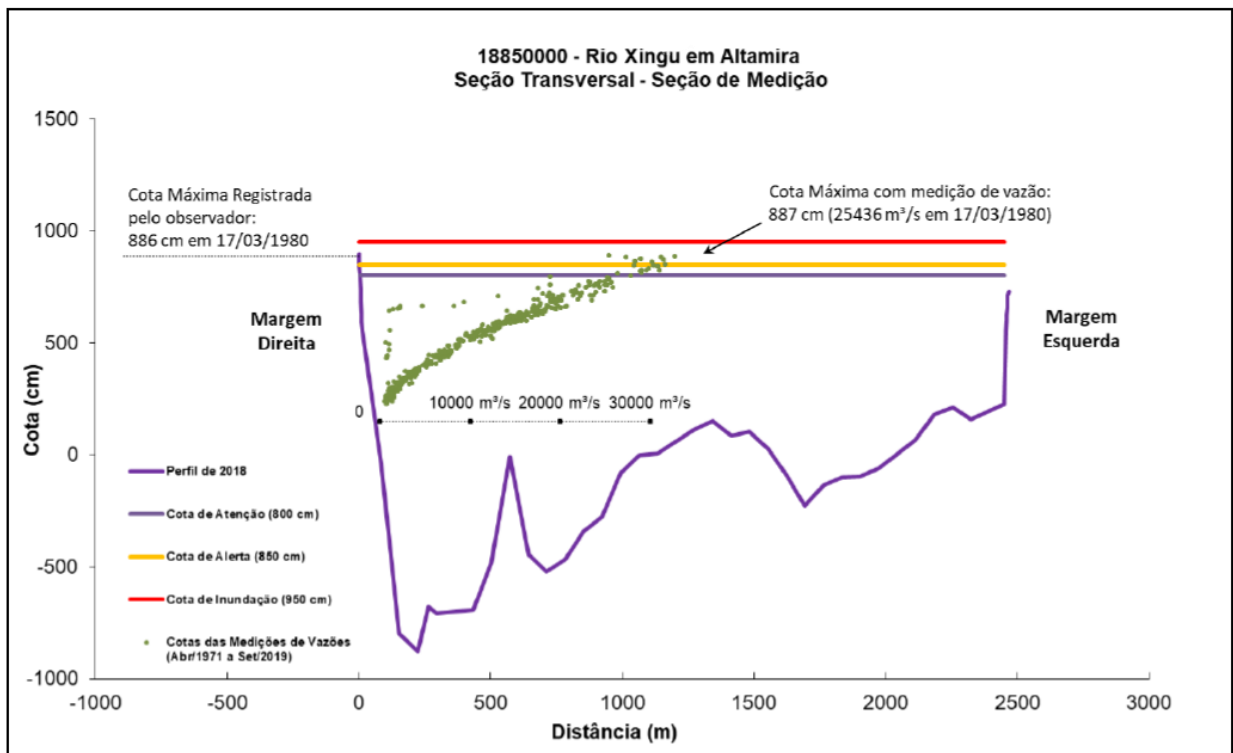


Figura 11: Perfil da seção transversal do Rio Xingu na estação de Altamira (Fonte: Melo 2022)

A Eletrobras produziu uma atualização do inventário hidrelétrico da bacia do Rio Xingu, em 2007, na qual se informam as vazões médias mensais no posto fluviométrico de Altamira (Figura 12). A linha verde representa a vazão média durante os anos de 1928 a 1959; a linha rosa mostra a vazão média no período 1968 a 2004 e a linha azul é a vazão média para todo o período. Note-se que todos os dados são anteriores ao início das atividades da usina de Belo Monte.

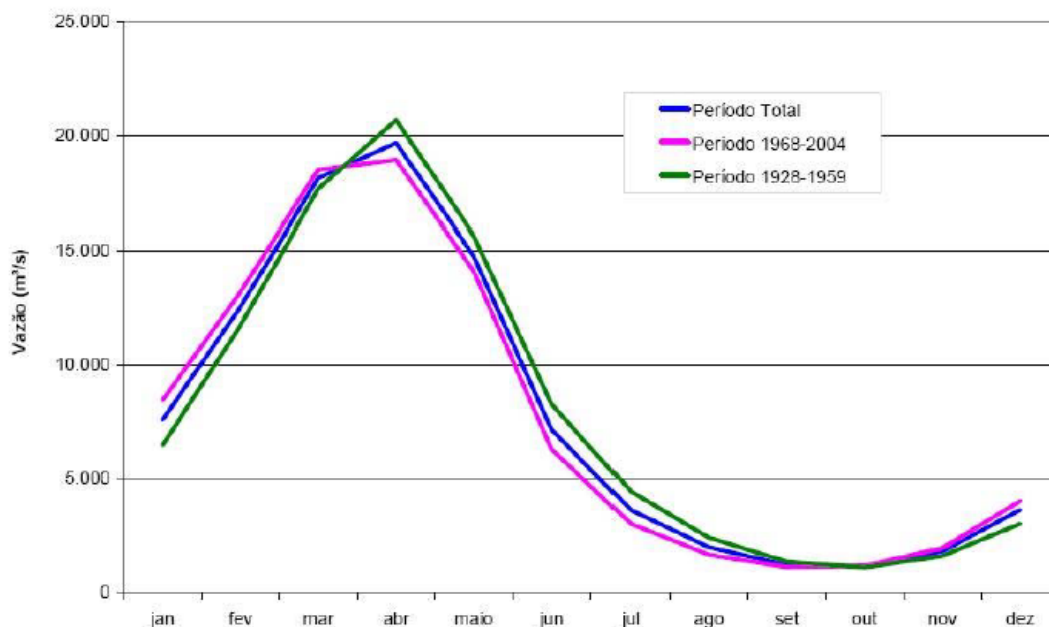


Figura 12: Vazões Médias Mensais (em m³/s) no Posto Fluviométrico de Altamira (Fonte: Atualização do Inventário Hidrelétrico da Bacia do Rio Xingu - Eletrobras).

4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados esperados eram a comprovação e a quantificação da mudança no padrão de inundação das várzeas a jusante das grandes barragens, bem como tecer comentários acerca das possíveis consequências advindas dessa alteração e contribuir para a conscientização da inclusão de mais este fator quando dos estudos ambientais de construção de barragens, bem como a fixação de critérios de liberação de água nos vertedouros para que os impactos sobre o bioma e comunidades locais sejam minimizados.

Escolhida a estação de Altamira, foram coletados dados anteriores ao início das operações da Usina de Belo Monte, relativamente aos 560 meses de vazões colhidas de junho de 1968 até dezembro de 2014. Para cada mês foram mensuradas as cotas máxima, mínima e sua média. Em cada dia foi identificada a vazão.

Tendo em vista que referida estação de Altamira se localiza a montante da usina de Belo Monte, os dados posteriores à construção obtidos naquele ponto representam apenas as condições do reservatório e não da vazão a jusante da barragem.

Ainda assim, os dados compilados e tratados permitem uma visão ampla das características hidrológicas do Rio Xingu próximo à Volta Grande, em época anterior à

construção da barragem.

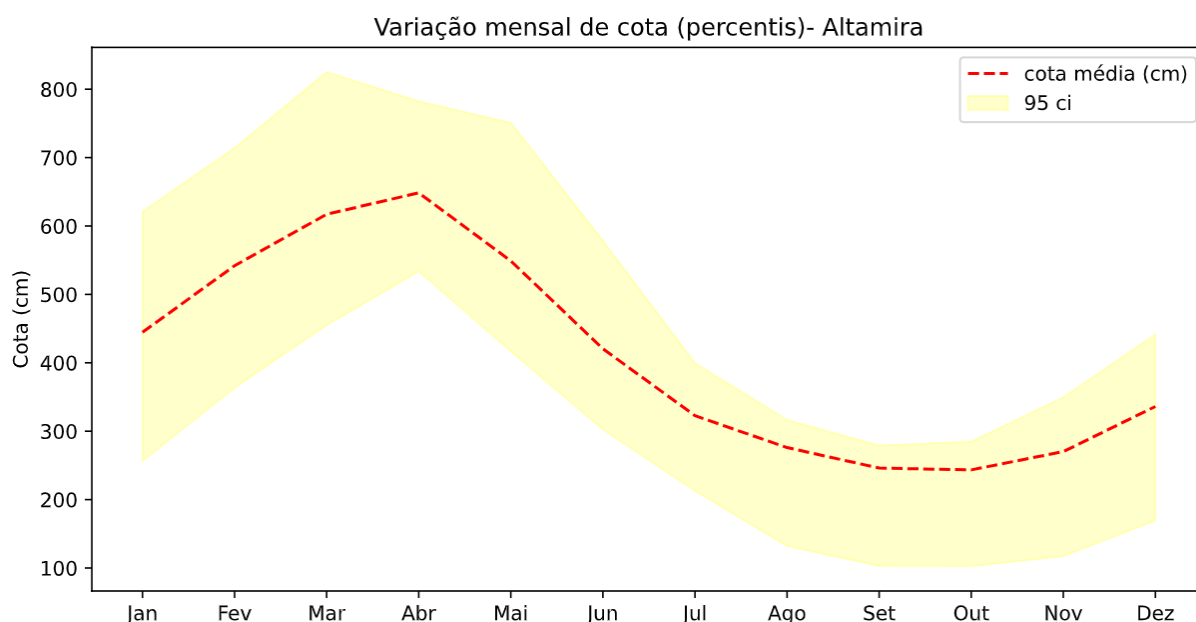


Figura 13: Variação mensal das cotas (em centímetros) na estação de Altamira indicando a média e a variação, com 95% de confiança. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

A Figura 13 representa a variação mensal das cotas na estação de Altamira. A linha tracejada em vermelho mostra a média e a área em amarelo identifica a variação possível, num intervalo com 95% de confiança. Pode-se observar o padrão usual de enchentes conforme a época do ano.

A Figura 14 representa o histograma com a quantidade de dados coletados para cada intervalo de média diária de vazão na estação de Altamira, agrupando os dados conforme intervalos pré-estabelecidos e permitindo, assim, exibir a distribuição de dados amostrais contínuos, eis que a altura da barra se relaciona com a frequência de observação do valor. Exemplificando, os maiores números de amostras coletadas estão nos primeiros intervalos, ou seja, até 7.000 m³/s, Em outras palavras, é mais comum a média diária de vazão ser igual ou superior a 7.000 m³/s.

A Figura 15 representa a variação mensal das descargas (vazão) na estação de Altamira, construída com os dados históricos anteriores à barragem. A linha azul mostra a mediana e a área em azul identifica a variação possível, num intervalo com 95% de confiança. Observe-se a similaridade do aspecto geral deste gráfico com a Figura 13, na qual se demonstrou a variação mensal das cotas históricas, comprovando o interrelacionamento entre as cotas e as vazões.

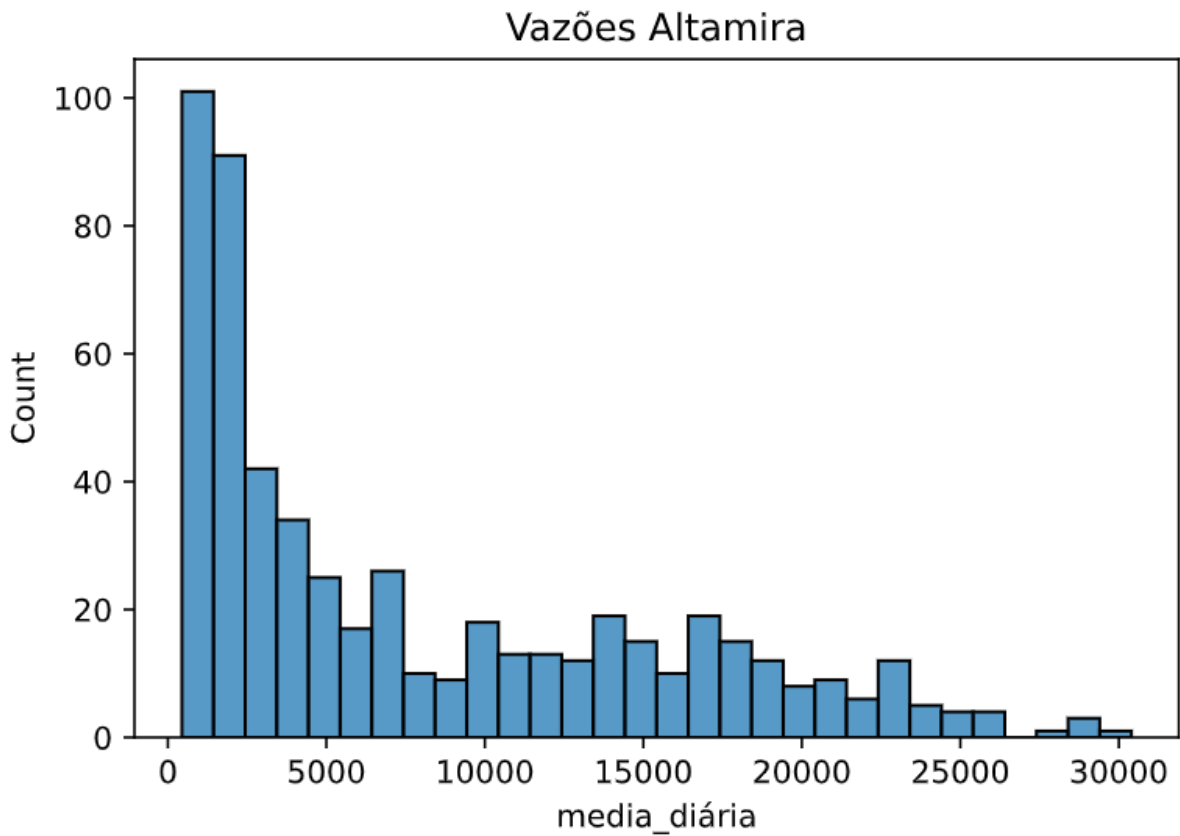


Figura 14: Histograma demonstrando a distribuição dos intervalos de média diária de vazão na estação Altamira (em m³/s). Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

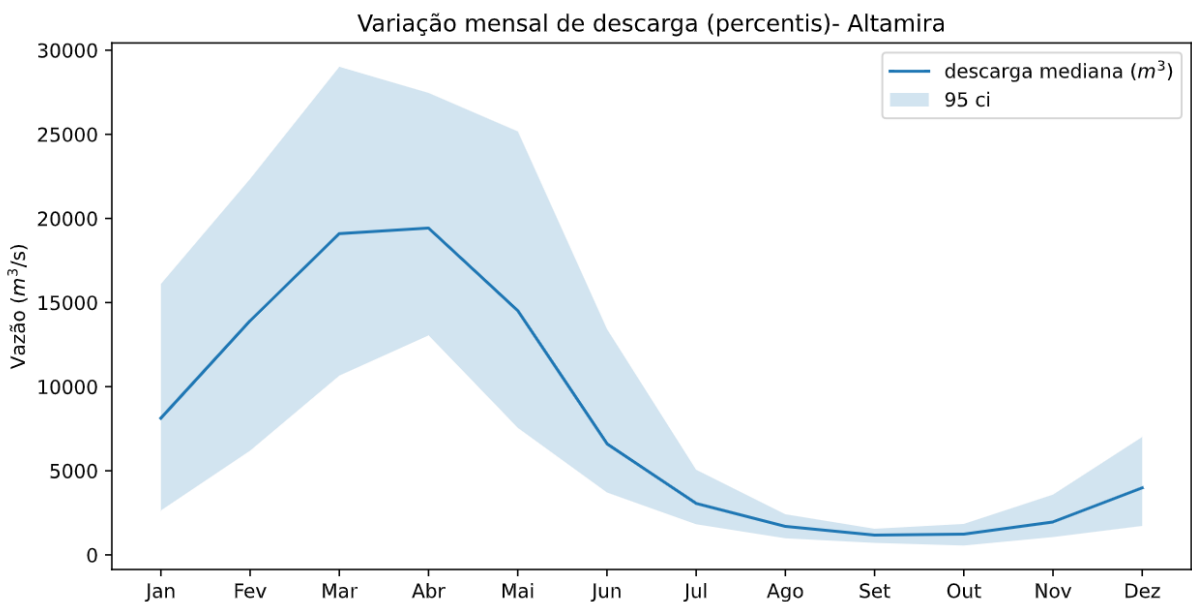


Figura 15: Variação mensal da vazão (em m³/s) na estação de Altamira indicando a mediana e a variação, com 95% de confiança. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

A Figura 16 representa a variação mensal das descargas (vazão) na estação de Altamira, construída com os dados históricos anteriores à barragem. A linha azul mostra a

vazão média e a área em azul identifica a variação possível considerando-se ± 2 desvios-padrão. Note-se a redução expressiva da vazão nos meses de agosto a outubro.

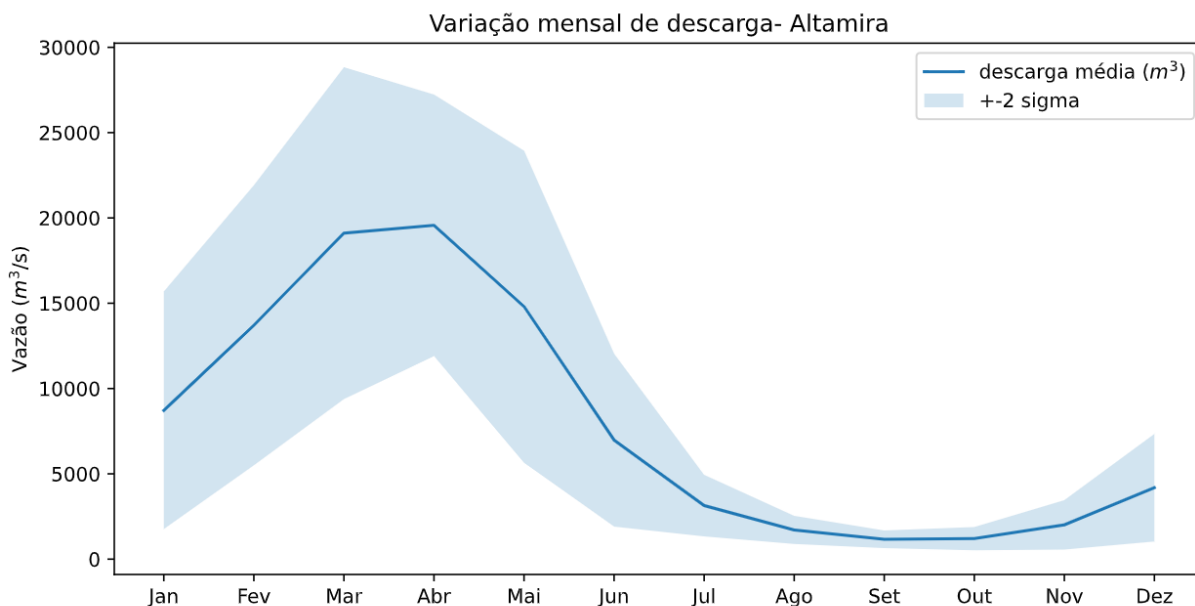


Figura 16: Variação mensal da vazão (em m^3/s) na estação de Altamira indicando a descarga média e a variação, considerando-se ± 2 desvios padrão. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

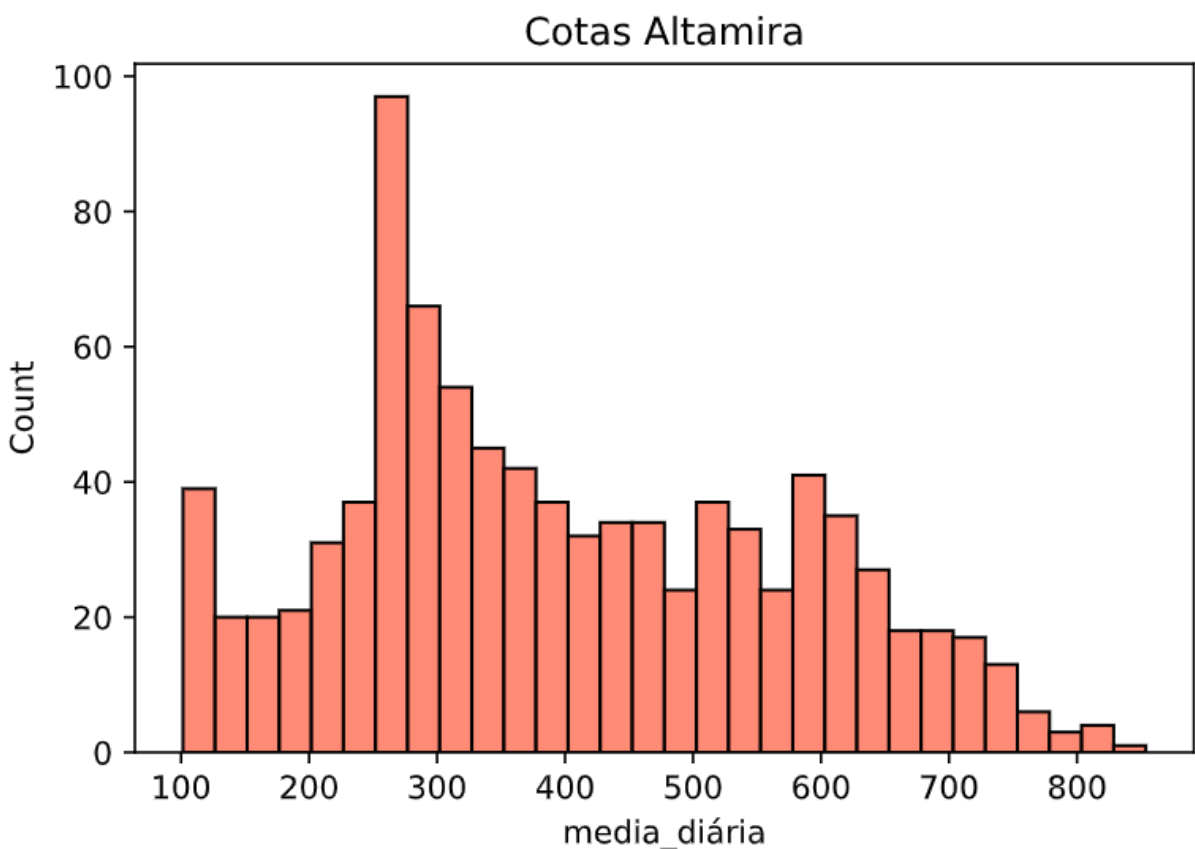


Figura 17: Histograma de distribuição das cotas (em centímetros) na estação de Altamira. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

O histograma apresentado na Figura 17 mostra a distribuição das cotas (em cm) por todo o período analisado. Observa-se que a moda é 250 a 275 cm, ou seja, esta variação de cota é a mais usualmente mensurada na estação de Altamira.

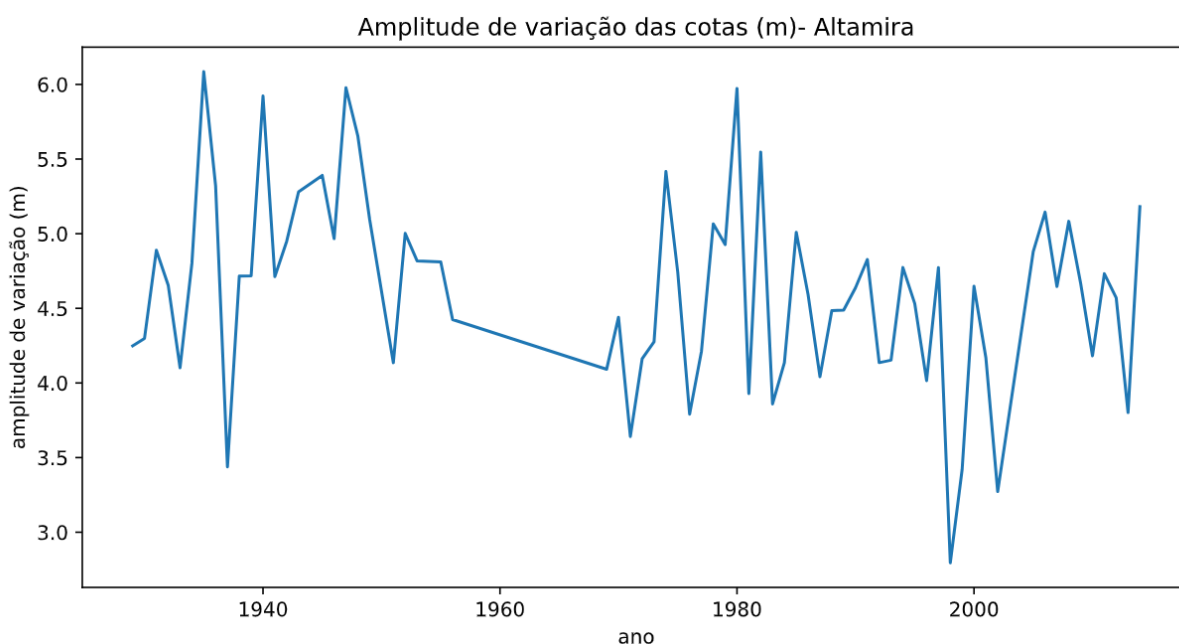


Figura 18: Amplitudes de variação (em metros) das cotas observadas na estação de Altamira entre 1930 e 2010. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

A Figura 18 mostra um gráfico com as amplitudes de variação, em metros, das cotas observadas em Altamira, entre 1930 e 2010, aproximadamente. Observa-se que a tendência de oscilação vem caindo no início deste novo milênio. Em outras palavras, a inundação aparentemente vem perdendo sua força. As medições mais recentes indicam uma variação entre 4 e 5 metros, sendo certo que houve, próximo a 1998, uma variação de menos de 3 metros. A variação antes de 1940 já foi medida em 6 metros. Há uma tendência de redução da variação, levando a uma monotonia das cotas.

A Figura 19 foi construída a partir dos dados de 61 meses avaliados e mostra quais as cotas atingidas quando apenas os dados das cotas relativas aos primeiros 15% da amostra são consideradas (linha tracejada inferior); quando levam-se em conta os dados medianos (linha cheia) e na hipótese de considerar o percentil de 85% (linha tracejada superior). A informação é extremamente útil porque permite estimar o padrão de inundação para o futuro, a considerar a vazão liberada pela barragem.

A linha contínua entre 1960 e 1968 deve-se à época em que não foram realizadas coletas sistemáticas dos dados, gerando a invariabilidade do gráfico no período.

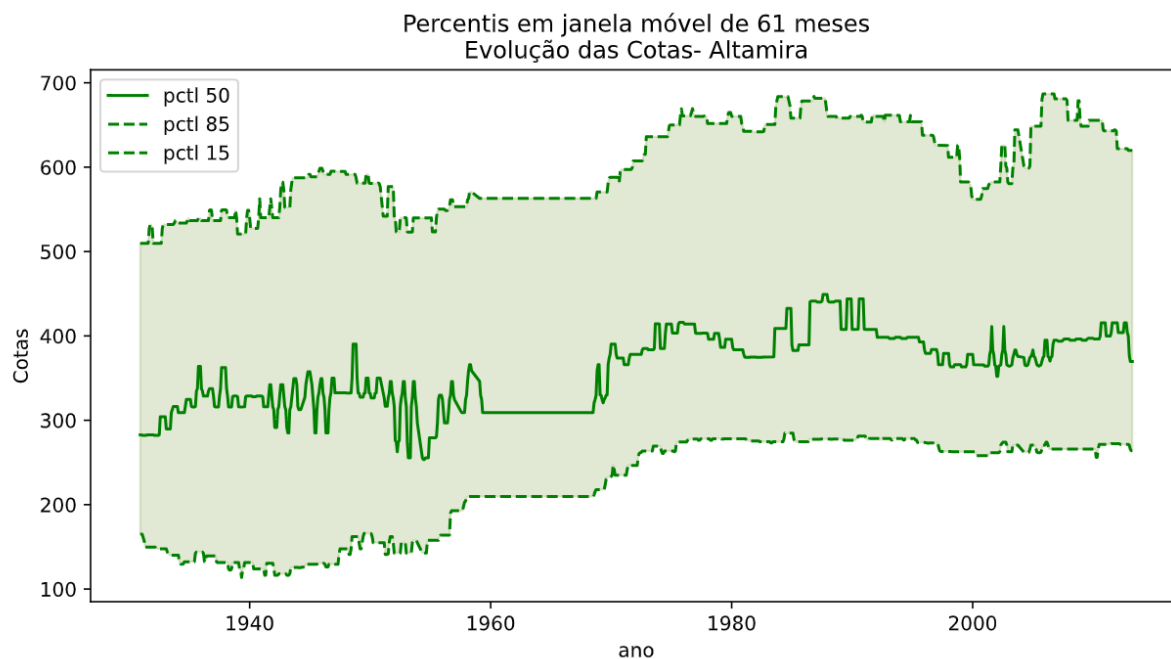


Figura 19: Evolução das cotas (em centímetros) na estação de Altamira, considerando os dados de 61 meses, entre 1935 e 2010, aproximadamente. A linha cheia representa a mediana, enquanto a tracejada superior e inferior são as cotas relativas aos percentis 85% e 15%, respectivamente. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

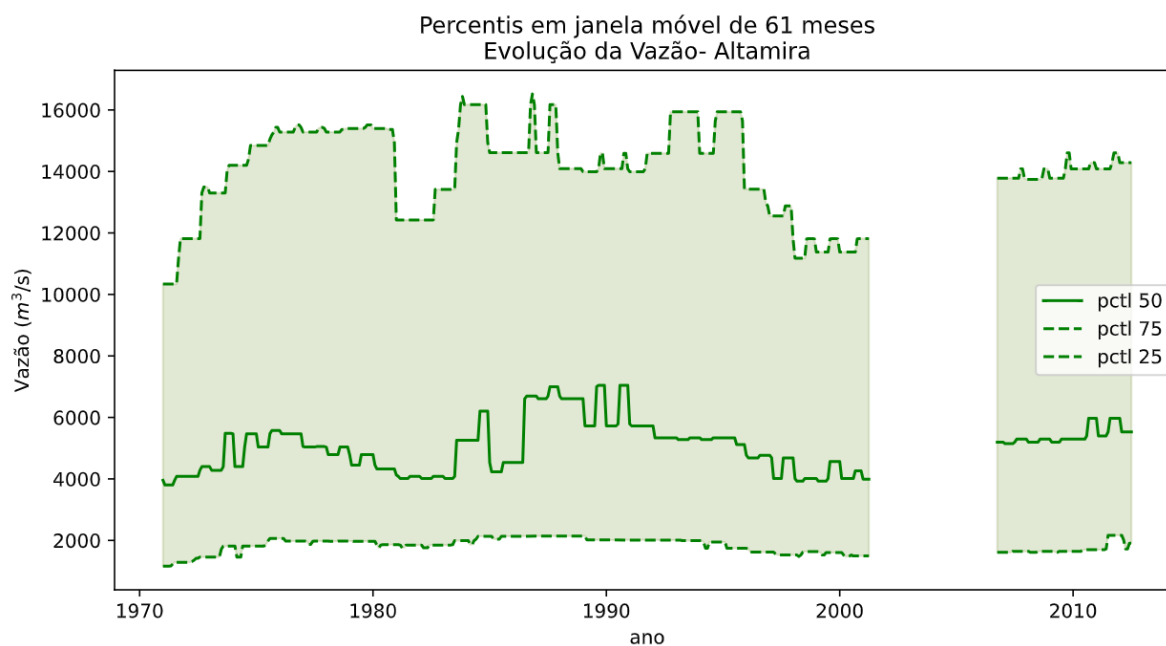


Figura 20: Evolução da vazão (em m^3/s) na estação de Altamira, considerando os dados obtidos do período de 1970 a 2010, aproximadamente. A linha cheia representa a mediana, enquanto a tracejada superior e inferior são as cotas relativas aos percentis 75% e 25%, respectivamente. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

A Figura 20 traz um recorte de 40 anos anteriores à construção da Usina de Belo Monte (1970 a 2010). Estão representados os percentis 25%, 50% e 75%. A falha no preenchimento

das linhas possivelmente ocorreu devido a um problema na leitura dos dados pelo código, mas a relevância da imagem exigiu sua manutenção, ainda que seja necessário intuir o caminho das linhas no trecho faltante. Observe-se o padrão da vazão para o percentil 25%, representado pela linha tracejada inferior, sempre próxima aos 2.000 m³/s.

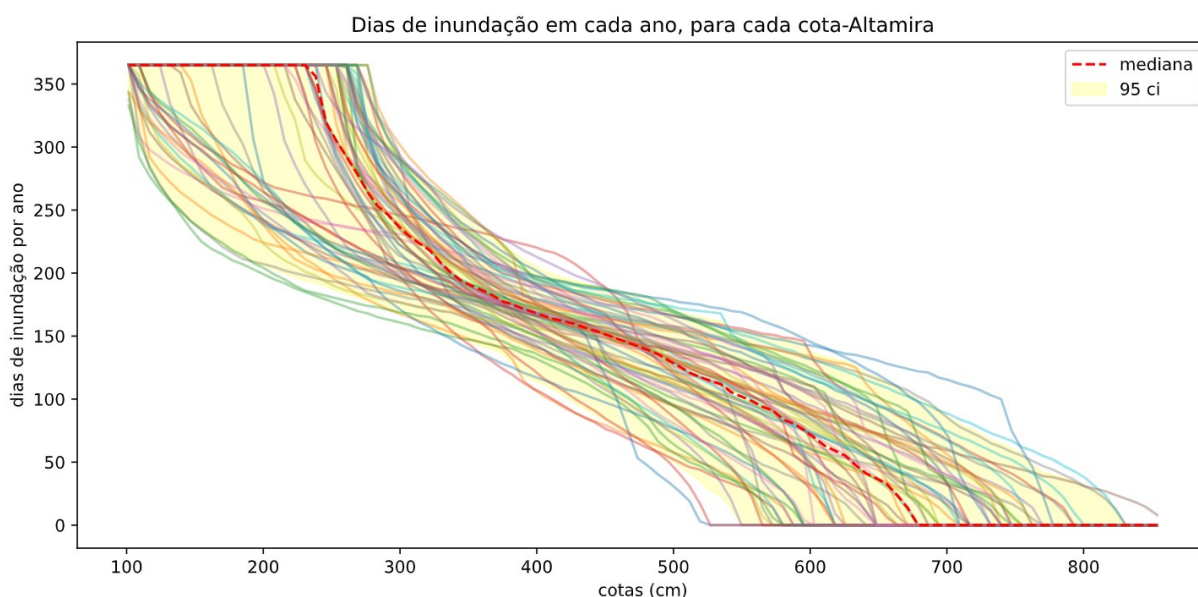


Figura 21: Gráfico *bootstrap* dos dias de inundação em cada ano, conforme a cota, construído a partir dos dados obtidos na estação de Altamira. Cada linha simula um ano, sendo certo que a linha vermelha pontilhada indica a mediana e a área em amarelo, a variação, com 95% de confiança. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

A Figura 21 representa um gráfico construído a partir do método *bootstrap*, no qual são escolhidas 365 cotas diárias e plotada uma linha do gráfico. O processo é repetido muitas vezes (cada linha do gráfico) e, ao final, são determinadas a mediana e o intervalo de confiança. Neste gráfico, a linha vermelha tracejada é a mediana e a área em amarelo identifica a variação possível, num intervalo com 95% de confiança. O número de dias fictícios representam os dias em que a cota foi atingida, num ano fictício modelado. Veja-se que as cotas além de 300 cm (3 metros) foram observadas em mais de 350 dias. No outro extremo do gráfico, verifica-se que cotas além de 5 metros praticamente não foram observadas.

O gráfico a seguir (Figura 22) representa o *bankfull*, ou seja, a vazão máxima associada à cota na qual não há extravazamento da água do canal do rio para as planícies de inundação. Com a estabilidade dos ciclos naturais anuais por longo período, a morfologia do canal se ajusta ao regime hidrológico e sedimentar da bacia em questão. A reta significa o limite calculado para a capacidade do canal e o losango vermelho o ponto de virada no coeficiente angular, o que indica o limite de capacidade do canal, ocasionando a inundação. No caso em comento, essa vazão é de 5.543,25 m³/s, numa cota de, aproximadamente, 4,1 metros.

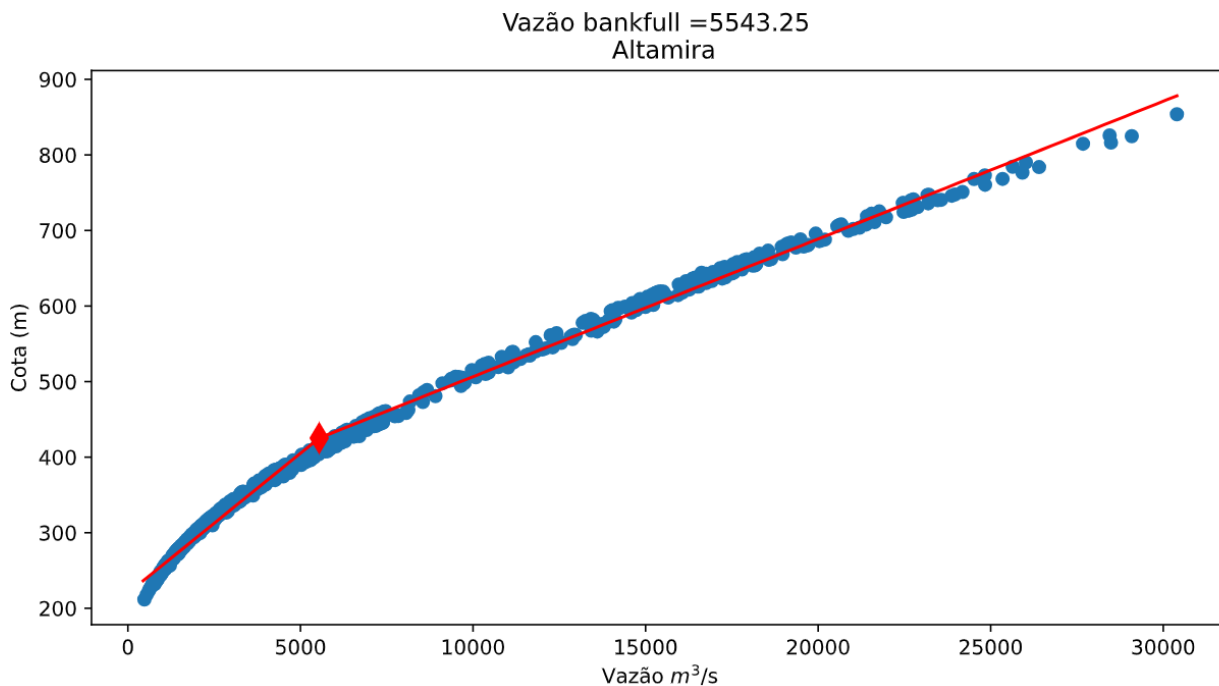


Figura 22: Correlação entre vazão máxima (em m^3/s) e cotas (em metros) plotados num gráfico *bankfull* a partir dos dados coletados na estação de Altamira. A reta significa o limite calculado para a capacidade do canal e o losango vermelho o ponto de virada no coeficiente angular, o que indica o limite de capacidade do canal, ocasionando a inundação. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

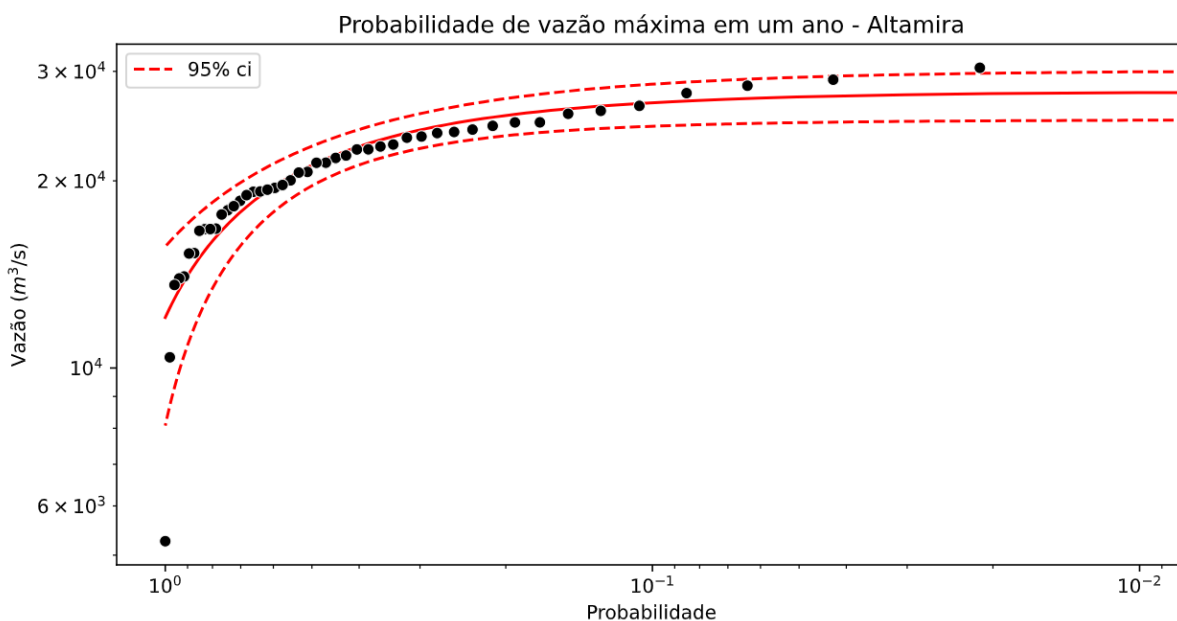


Figura 23: Probabilidade de eventos de vazão máxima num dado ano em função da vazão (em m^3/s), construído a partir dos dados coletados na estação de Altamira. As linhas tracejadas representam o intervalo com 95% de confiança, enquanto a linha vermelha representa a mediana. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

A Figura 23 demonstra a probabilidade de eventos de vazão máxima em um dado ano em função da vazão. É um gráfico de recorrência, com intervalo de confiança de 95%. Num exemplo, há somente 1% de chance de a inundação atingir ou ultrapassar $25.000m^3/s$. Outra leitura do gráfico permite intuir que inundação acima deste nível de $25.000m^3/s$ ocorrerá apenas

1 vez a cada 100 anos.

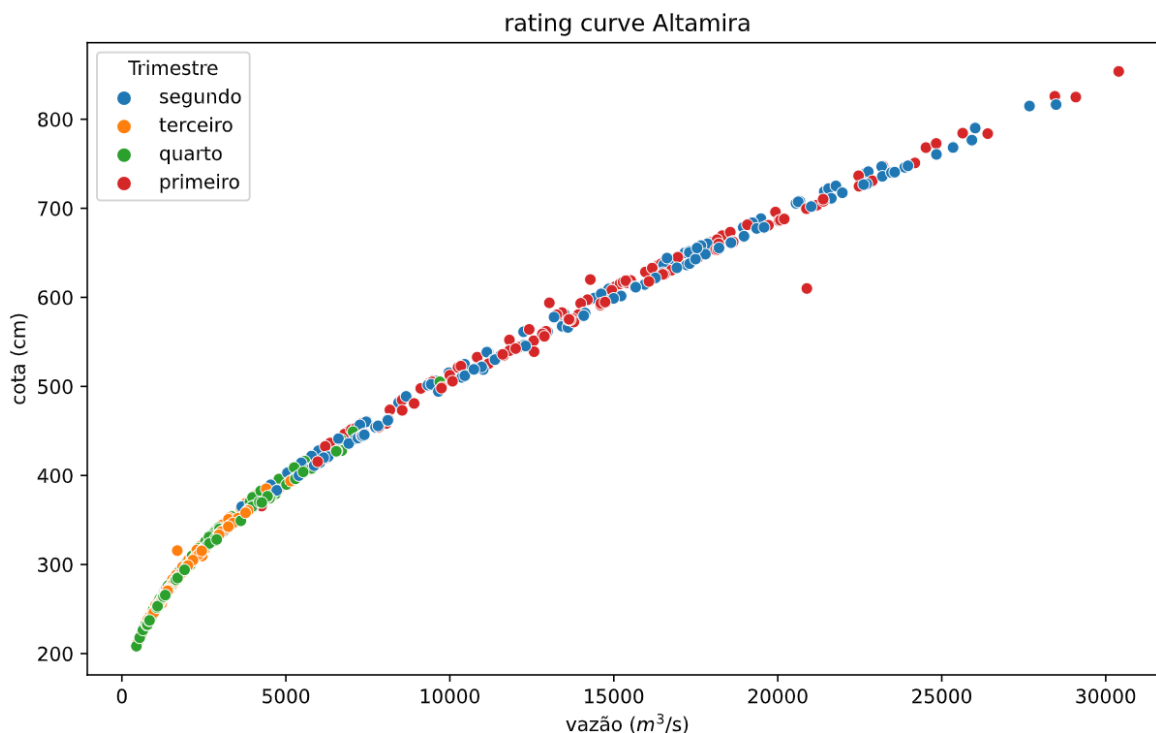


Figura 24: *Rating Curve* correlacionando cota (em centímetros) com a vazão (em m³/s), construído a partir dos dados coletados na estação de Altamira. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

A Figura 24 é a *rating curve*, ou seja, o gráfico que correlaciona cota (em centímetros) com a vazão (em m³/s). As cores dos pontos identificam o trimestre do valor plotado (vermelho para o primeiro trimestre, azul para o segundo, laranja para o terceiro e verde para o quarto trimestre). Assim, é possível verificar que cotas e vazões menores ocorrem no terceiro e quarto trimestres, enquanto as maiores cotas são verificadas no primeiro semestre do ano, acompanhando as vazões mais expressivas.

A Figura 25 mostra o histograma da série histórica das cotas agrupadas por intervalos. Com os dados totais (gráfico azul) verifica-se que cotas de aproximadamente 3 metros ocorrem com maior incidência e que cotas menores e maiores são vistas, sendo raras as cotas além dos 8 metros. Independentemente da unidade do valor da contagem, é possível comparar os três diferentes padrões de distribuição, quais sejam, atual e percentis 10% e 25%.

Quando o histograma é construído apenas com o percentil de 10 (gráfico marrom), não há mais cotas menores de 3 metros e a altura das colunas é toda reduzida, à exceção do primeiro intervalo.

Por fim, o percentil de 25 (gráfico salmão) é ainda mais dramático porque o achatamento central é maior, com os valores limites exacerbados, o que indica eventos extremos de seca e inundação. A aparente piora deste gráfico de percentil 25 em relação ao gráfico de percentil 10 pode ser interpretada como uma acomodação das águas na calha do rio durante a maior parte do ano, mantendo sempre um nível mais ou menos constante, mas com possibilidade de desastres de grandes proporções.

Histogramas de modelos cotas

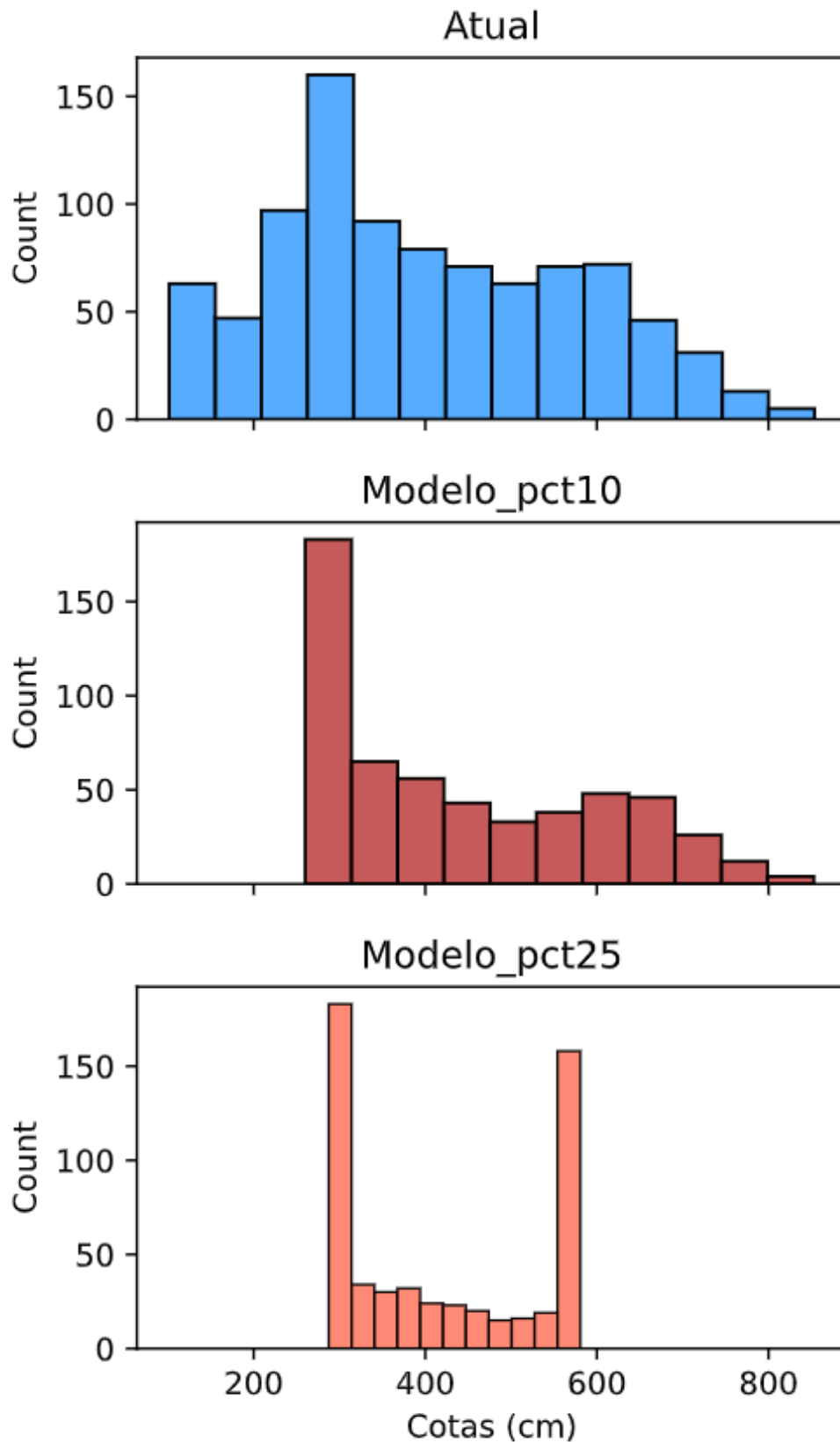


Figura 25: Histogramas representando os intervalos de cotas (em centímetros) na estação de Altamira. O primeiro gráfico, em azul, mostra a contagem da série histórica das cotas. O gráfico em marrom representa apenas os dados do percentil 10%, enquanto o gráfico salmão indica as cotas consideradas para o percentil 25%, todos construídos com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

4.1 PREVISÕES

Construídos os gráficos, passou-se à confecção das previsões sobre o padrão de inundação das várzeas, considerando os percentis 10 e 25 dos dados históricos como vazão futura.

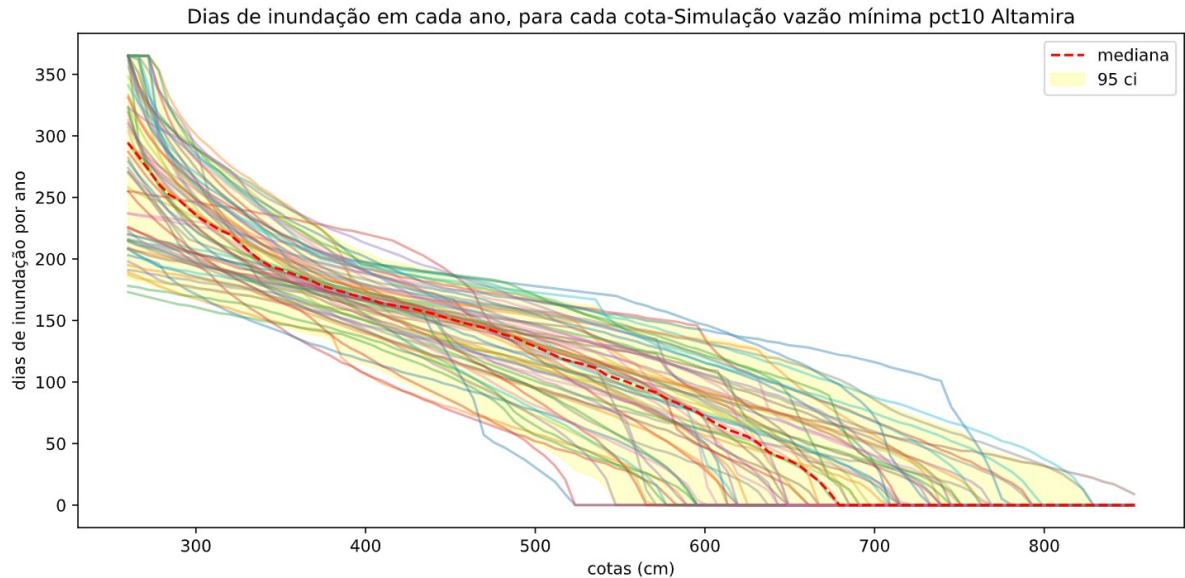


Figura 26: Gráfico bootstrap dos dias de inundação em cada ano, conforme a cota, construído a partir do percentil 10 dos dados obtidos na estação de Altamira. Cada linha simula um ano, sendo certo que a linha vermelha pontilhada indica a mediana e a área em amarelo, a variação, com 95% de confiança. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

Na Figura 26, vê-se o gráfico que correlaciona o número de dias em que cada cota se verificou, no transcorrer de um ano fictício, construído com base apenas nas cotas do percentil 10. Veja-se que a mediana (linha vermelhas tracejada) tem início em 300 dias e não mais em 365 dias, demonstrando que ao menos 60 dias por ano já não apresentam inundação. No outro extremo, a curva mediana não alcança 7 metros, indicando que, em média, não haveria dias no ano com cotas superiores a 7 metros.

A Figura 27 segue o mesmo raciocínio da figura anterior, mas tendo por base as cotas do percentil 25. Veja-se que a mediana (linha vermelhas tracejada) tem início em 250 dias e não mais em 365 dias, demonstrando que ao menos 100 dias por ano já não apresentam inundação. Note-se, também, que as cotas no eixo das abscissas sequer atinge a cota de 6 metros, enquanto nas figuras 21 e 26 o limite ultrapassava 8 metros.

Essa expectativa de concentração de valores nos dados centrais reforça o padrão verificado na Figura 25, em especial no 3º gráfico (de cor salmão).

A vazão reduzida a um percentil de 10% trará consequências catastróficas à manutenção da vida a jusante do rio, eis que o padrão de alagamento será drasticamente alterado, impedindo a deposição de sedimentos nas várzeas e o subsequente crescimento vegetal, base das cadeias alimentares.

Por outro lado, a montante das barragens os lagos artificiais inundam permanentemente

as antigas praias, inviabilizando a ovoposição dos quelônios, apenas para citar um resultado danoso ao meio ambiente.

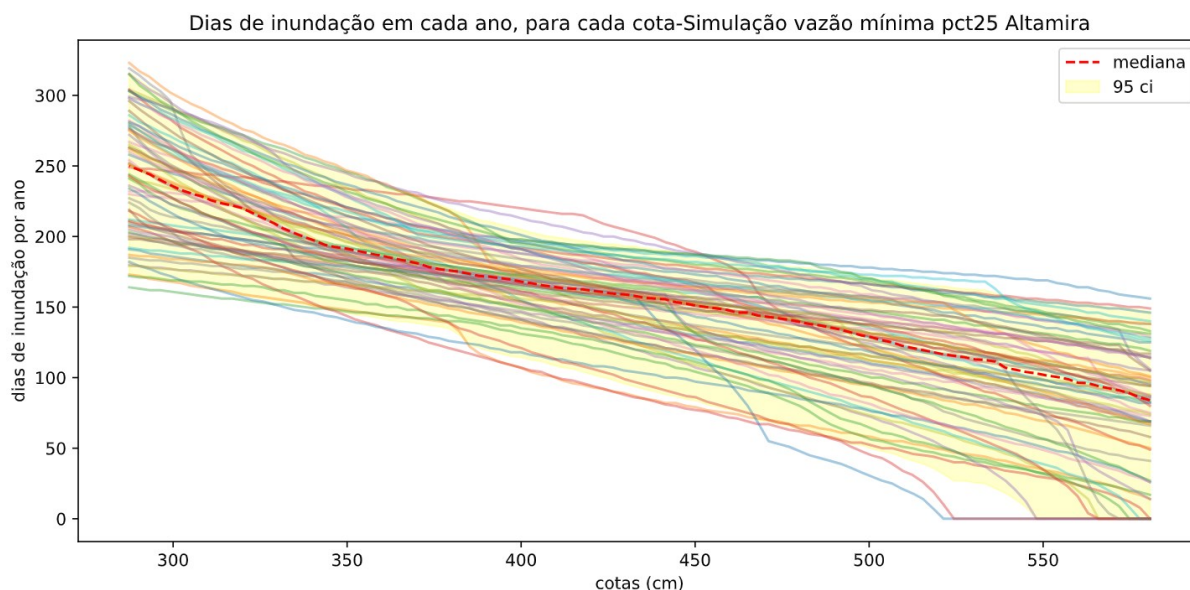


Figura 27: Gráfico bootstrap dos dias de inundação em cada ano, conforme a cota, construído a partir do percentil 25 dos dados obtidos na estação de Altamira. Cada linha simula um ano, sendo certo que a linha vermelha pontilhada indica a mediana e a área em amarelo, a variação, com 95% de confiança. Gráfico construído com os dados históricos anteriores à construção da usina de Belo Monte (Fonte: aplicação do código Python sobre os dados públicos).

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram prejuízos ao meio ambiente decorrentes da implantação de barragens em rios amazônicos.

A liberação de água a jusante da barragem não tem sido em volume suficiente para propiciar a reprodução dos peixes, a sucessão florística e a manutenção dos biomas que garante a subsistência das comunidades ribeirinhas.

Discussões acerca das alterações no padrão deposicional e aporte de água têm sido constantes. Populações ribeirinhas indígenas criaram uma organização não governamental (ONG) denominada Xingu+ (<https://xingumais.org.br>) a qual defende uma maior vazão das águas do Rio Xingu a fim de viabilizar a reprodução dos peixes e possibilitar a continuidade das atividades pesqueiras de subsistência para as populações humanas e garantir a manutenção da biodiversidade.

O Instituto Socioambiental, parceiro da ONG Xingu+, produziu a Figura 28 que indica a média das vazões históricas (dados coletados entre 1971 e 2019) e os níveis de água propostos pelos hidrogramas A e B defendidos pela hidrelétrica (mencionados na Figura 1 deste trabalho), pelo Ibama (provisório) e o ideal para a piracema (nova proposta de hidrograma apresentada pela ONG).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Média das vazões históricas (1971-2019)	8476	13544	18531	19088	14332	6743	3037	1632	1123	1169	1942	4036
Incremento / mês anterior (%)	110,0	59,8	36,8	3,0	-24,9	-53,0	-55,0	-46,3	-31,2	4,1	66,1	107,8
HIDROGRAMA A	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
Incremento / mês anterior (%)	22,2	45,5	56,3	60,0	-55,0	-33,3	-16,7	-10,0	-16,7	-6,7	14,3	12,5
HIDROGRAMA B	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
Incremento / mês anterior (%)	22,2	45,5	150,0	100,0	-50,0	-50,0	-40,0	-25,0	-16,7	-6,7	14,3	12,5
Hidrograma provisório (Ibama 133/2019)	3100	10900	14200	13400	5200	1800	1300	900	750	760	1000	1200
Incremento / mês anterior (%)	158,3	251,6	30,3	-5,6	-61,2	-65,4	-27,8	-30,8	-16,7	1,3	31,6	20,0
Proposta de ajuste no hidrograma provisório	6200	10000	13500	14000	10500	5000	2500	1200	800	850	1500	3000
Incremento / mês anterior (%)	106,7	61,3	35,0	3,7	-25,0	-52,4	-50,0	-52,0	-33,3	6,3	76,5	100,0

Figura 28: Média das vazões históricas medida entre 1971 e 2019 e os níveis de água propostos pelos diferentes hidrogramas. Unidade: m³/s (Fonte: <https://www.socioambiental.org>).

Conforme se visualiza na Figura 28, no mês de dezembro de 2019, o volume de água liberado pelo empreendimento hidrelétrico Norte Energia (que opera a usina Belo Monte) foi de 1.200 m³/s, valor que representa menos da metade do proposto (3.000 m³/s) e pouco mais de 29% do volume histórico indicado na tabela para o mês de dezembro (4.036 m³/s). Considerando que este período do final do ano é vital para que as fêmeas dos peixes realizem a piracema e a subsequente desova, a ONG Instituto Socioambiental acredita que a persistência de níveis tão baixos de liberação de água impossibilitará a perpetuidade da vida na região. Peço vênia para retomar a Figura 20, na qual se observou que o padrão da vazão para o percentil 25% mantém-se sempre próximo aos 2.000 m³/s.

A manter-se este hidrograma sugerido pela usina, o qual não atinge 30% do valor histórico, espera-se que surja um novo padrão de inundação, semelhante ao previsto na Figura 27. Significa dizer que haverá aproximadamente 100 dias a menos de inundação e que as cotas não atingirão a altura de 6 metros.

Além da situação dos peixes, a redução da sedimentação decorrente da menor vazão liberada pelas barragens inviabilizará o crescimento das árvores pioneiras na sucessão florística, ameaçando os demais estágios arbóreos. Sim, porque estas espécies crescem rapidamente sob grande incidência luminosa, retendo o substrato com suas raízes e caules. A sombra que geram permite que sementes mais sensíveis à radiação solar germinem, possibilitando a sucessão das espécies vegetais. Assim, toda a floresta corre perigo com a redução da sedimentação nas áreas de várzea.

Com estes níveis de vazão, não se garante uma inundação que atinja cotas tradicionais. Muitas áreas, antes umidecidas e fertilizadas pela enchente, ficarão secas. Esse novo padrão repercutirá no bioma, inicialmente na vegetação, alterando a sucessão florística desde sua base. Por representar a base da cadeia alimentar, as consequências das modificações sobre as plantas impactarão em todo o ecossistema, inclusive as populações humanas.

6. CONCLUSÕES

As ações antrópicas estão alterando significativamente padrões naturais. Afora o aquecimento global e aumento do nitrogênio a níveis alarmantes, o impacto da construção das barragens não pode ser menosprezado. As inúmeras espécies ameaçadas, tanto vegetais quanto animais, têm direito a sobrevivência assim como os humanos. O entrelaçamento entre os diferentes níveis tróficos é muito mais complexo que a basilar tríade produtor, consumidor e decompositor. A extinção é para sempre. Uma frase atribuída ao gênio da física, Albert Einstein, já preconizava que o desaparecimento das abelhas acarretará o fim da agricultura e da espécie humana. Há defensores da tese de que a perseguição humana aos gatos (e pretos, principalmente) na Idade Média gerou um aumento exponencial do número de ratos e de suas pulgas. A peste bubônica transmitida pela picada deste inseto matou um terço da população europeia durante a epidemia no século XIV (Aguilar, 2023).

A recente pandemia gerada pelo coronavírus ilustra o quão intrincado é o ecossistema. A conduta irresponsável dos humanos avança a patamares de interferência irreversíveis. O alarmismo não é desfundamentado: inundações severas, ondas de calor, frio extremo, secas avassaladoras. Conforme se verifica pela mera leitura de jornais (Figuras 29 a 32), vivenciamos realidades ímpares: num extremo do país, inundações que alagaram cidades inteiras; no outro, secas sem precedentes.

Futuros trabalhos poderão correlacionar os dados de estações localizadas a montante e a jusante da barragem de Belo Monte, antes e depois de sua construção, bem como obter dados sedimentares, criando um cenário com mais elementos e subsidiando com maior autoridade as conclusões desta monografia.

Os resultados obtidos neste trabalho embora superficiais, são impactantes: espécies endêmicas amazônicas de peixes, anfíbios e quelônios podem desaparecer; a erosão das margens dos rios terá novo padrão; as florestas ribeirinhas terão dificuldades para sua manutenção.

Apesar desta conclusão bastante pessimista, ainda há possibilidade de mudança. Longe de entender esse texto como o artigo que irá reformular o pensamento dos tomadores de decisão sobre a política hídrica nacional, a proposta é manter a discussão acerca das consequências de nossas escolhas e contribuir para a adoção de medidas paliativas ou de controle, além de representar mais subsídios para a definição de critérios para a permissão da construção de barragens na região Amazônica.



Figura 29: Imagem dos moradores cruzando a pé o Rio Solimões, na terra indígena Porto Praia, município de Uarini/AM (Médio Solimões). (Fonte: Folha de São Paulo, 17/10/2023).

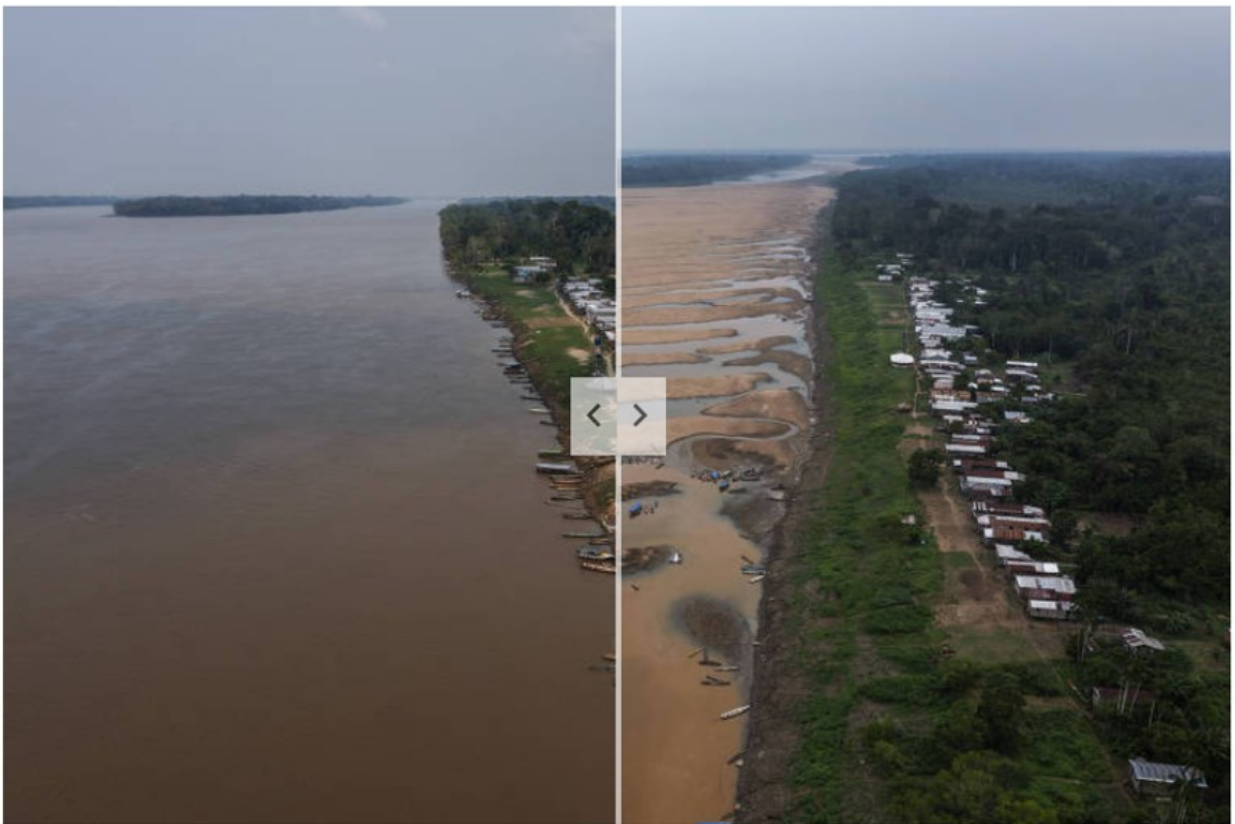


Figura 30: Imagem comparativa do Rio Solimões, na terra indígena Porto Praia, município de Uarini/AM (Médio Solimões). À esquerda, cota em 2022; à direita, a redução um ano depois. (Foto: Lalo de Almeida, *in* Folha de São Paulo, 18/10/2023).

Estiagem no rio Negro, em Manaus

Dados de medição do Porto de Manaus, em metros

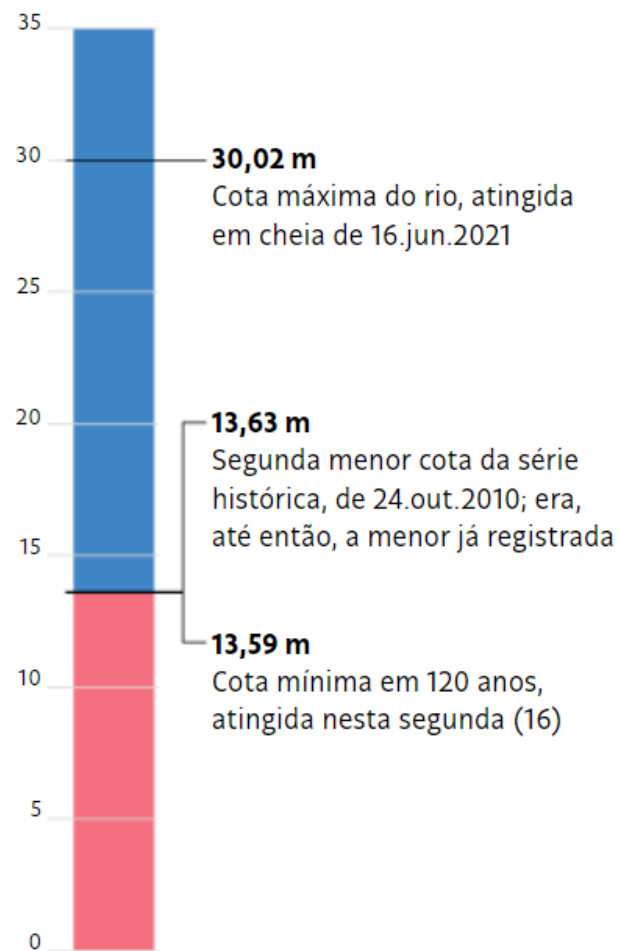


Figura 31: Cotas do Rio Negro (em metros), medidas no Porto de Manaus. (Fonte: Defesa Civil do Amazonas, *in* Folha de São Paulo, 17/10/2023).



Figura 32: Imagens dos alagamentos em Santa Catarina (Fonte: O Globo, 02/11/2023)

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, C., Tardan, B.L.P., Sianto, L. A peste, Plataforma Institucional Biodiversidade e Saúde Silvestre, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), <https://www.biodiversidade.ciiss.fiocruz.br/peste> (acessado em 01/10/2023, às 14h20min)
- Almeida, S.S., Amaral, D.D., Silva, A.S.L., 2004, Análise florística e estrutura de florestas de Várzea no estuário amazônico, *Acta Amazonica*, Vol. 34 (4), p. 513– 524
- ANA – Agência Nacional de Águas- Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>)
- Assis, R.L., 2008, Composição florística e estrutura da regeneração arbórea de florestas de várzea alta e várzea baixa na RDS Mamirauá, Amazônia. [Tese de Mestrado] Manaus, Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Botânica
- Bárcenas-García, A., Michalski, F., Gibbs, J.P., Norris, D., 2022, Amazonian run-of-river dam reservoir impacts underestimated: Evidence from a before–after control–impact study of freshwater turtle nesting areas: *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, Vol. 32 (3)
- Best, J., 2019, Anthropogenic stresses on the world’s big rivers: *Nature Geoscience*, pag 7-21, doi.org/10.1038/s41561-018-0262-x
- Best, J., Darby, S. E., 2020, The Pace of Human-Induced Change in Large Rivers: Stresses, Resilience, and Vulnerability to Extreme Events: *One Earth*, Vol. 2 (6), pag 510-514, doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.021
- Castello, L., Macedo, M. N., 2015, Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*, Vol. 22, pag 990–1007
- Cavalcante, A.J.B.D, 2011, Impactos nos processos morfológicos do baixo curso do Rio São Francisco, decorrentes da construção de barragens [Tese Mestrado]: Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Christofolletti, A., 1999, Modelagem de Sistemas Ambientais, 1ª Edição, São Paulo, Editora Blucher, pág 08
- Eletrobras. Atualização do inventário hidrelétrico da bacia do Rio Xingu – Consolidação dos estudos realizados. Relatório Geral - Volume I – texto, <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Belo-Monte.aspx> (acessado em 30/02/2023, às 10h40min)
- Eletrobras. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Usina de Belo Monte (disponível em <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Belo-Monte.aspx>)
- Folha de São Paulo https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2023/10/rio-negro-atinge-menor-nivel-em-120-anos-de-medicao-em-manaus.shtml?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=newsfolha (Acessado em 17/10/2023, às 10h20min)
- Folha de São Paulo https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2023/10/veja-rios-solimoes-e-negro-antes-e-depois-de-seca-grave-na-amazonia.shtml?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=newsfolha (acessado em 18/10/2023, às 09h28min)
- Freire, L .M. 2014, Impactos ambientais no rio xingu diante da implantação da usina hidrelétrica de Belo Monte no Estado do Pará: subsídios para o planejamento ambiental. *Revista Geonorte*, Edição Especial 4, V.10, N.10, p.341– 345

- Globo <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2023/11/02/fortes-chuvas-provocam-alagamentos-e-deslizamentos-na-regiao-sul.ghtml> (acessado em 03/11/2023, às 04h30min)
- Gupta, A., 2007, Large rivers: geomorphology and management, ISBN 978-0-470-84987-3
- Hoffmann, E.L. *et al.*, 2018, Variabilidade das chuvas no sudeste da Amazônia paraense, Brasil: Revista Brasileira de Geografia Física v.11, n.04, pág 1251-1263.
- Iberdrola _ Website da empresa. <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/o-que-e-energia-hidreeletrica> (acessado em 10/04/2023, às 21h30min)
- Instituto Socioambiental _ Website da organização. https://www.socioambiental.org/noticias-socioambientais/belo-monte-depois-de-peixes-sumirem-indigenas-e-ribeirinhos-elaboram?utm_source=isa&utm_medium=&utm_campaign= (acessado em 10/08/2023, às 16h06min)
- Latrubesse, E. M. *et al.*, 2017, Damming the rivers of the Amazon Basin: Nature, Vol. 546, pag. 363–369, doi:10.1038/nature22333
- Marinho, J.A.M., 2019, As lutas camponesas e o cerceamento do médio rio Xingu (PA): a construção da hidrelétrica Belo Monte [Tese doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
- Medeiros Filho, L. C., 2019, Análise da Morfometria e Vulnerabilidade a Perda de Solo na Região Central da Bacia do Médio Xingu, Estado do Pará [Trabalho de Conclusão de Curso]: Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, Curso de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis
- Melo, D. C. R. 2022, Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras: Análise de frequência de cotas e vazões dos sistemas de alerta: sistema de alerta Bacia do Rio Xingu, Rio Xingu: estação fluviométrica Altamira, código 18850000, municípios atendidos: Altamira - PA, Senador José Porfírio - PA e Vitória do Xingu – PA. Goiânia: CPRM ISBN 978-65-5664-314-4
- Mineli, R. C., 2013, Proveniência e retrabalhamento sedimentar das areias da Volta Grande do rio Xingu, PA [Tese Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências
- Nascimento, L.M. Sucessão secundária em áreas de Mata Atlântica de Pernambuco: mudanças florísticas e estruturais, PE [Tese Doutorado]: Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia
- Norte Energia SA, <https://www.norteenergiasa.com.br/pt-br/uhe-belo-monte/historico#:~:text=Totalmente%20conclu%C3%ADda%20e%20pronta%20para,27%20de%20novembro%20de%202019> (acessado em 30/07/2023, às 10h25min)
- O Boto _ Jornal Comunitário de Alter do Chão, Santarém/PA, outubro 2017, <https://o-boto.com/blog/rio-xingu-antes-e-depois-da-construcao-do-complexo-hidreletrico-belo-monte> (acessado em 10/04/2023, às 21h15min)
- Portal Brasil, <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/hidreletrica-de-belo-monte-e-inaugurada> (acessado em 30/07/2023, às 12h02min)
- Portal da Legislação _ Planalto, <http://www.planalto.gov.br> (acessado em 30/07/2023, às 10h50min)

Prado, A. H., 2020, Numerical model of alluvial terrace and valley Evolution Applied to the Quaternary of Central Amazonia [Tese de Mestrado], Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências

Pública _ Agência de Jornalismo Investigativo, dezembro 2019, <https://apublica.org/2019/12/no-xingu-finalizacao-da-ultima-turbina-de-belo-monte-pode-significar-o-fim-do-rio> (acessado em 10/04/2023, às 21h20min)

Ribeiro, B. M. G., 2009, Efeito das barragens no transporte sedimentar fluvial [Tese de Mestrado] Aveiro, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil

Sindicato Nacional dos Docentes das Instituições de Ensino Superior, fevereiro 2019, <https://www.andes.org.br/conteudos/noticia/brumadinho-e-um-dos-maiores-acidentes-de-trabalho-da-historia-do-brasil1> (acessado em 10/04/2023, às 21h40min)

Xingu+ _ Website da organização <https://xingumais.org.br> (acessado em 10/08/2023, às 15h56min)

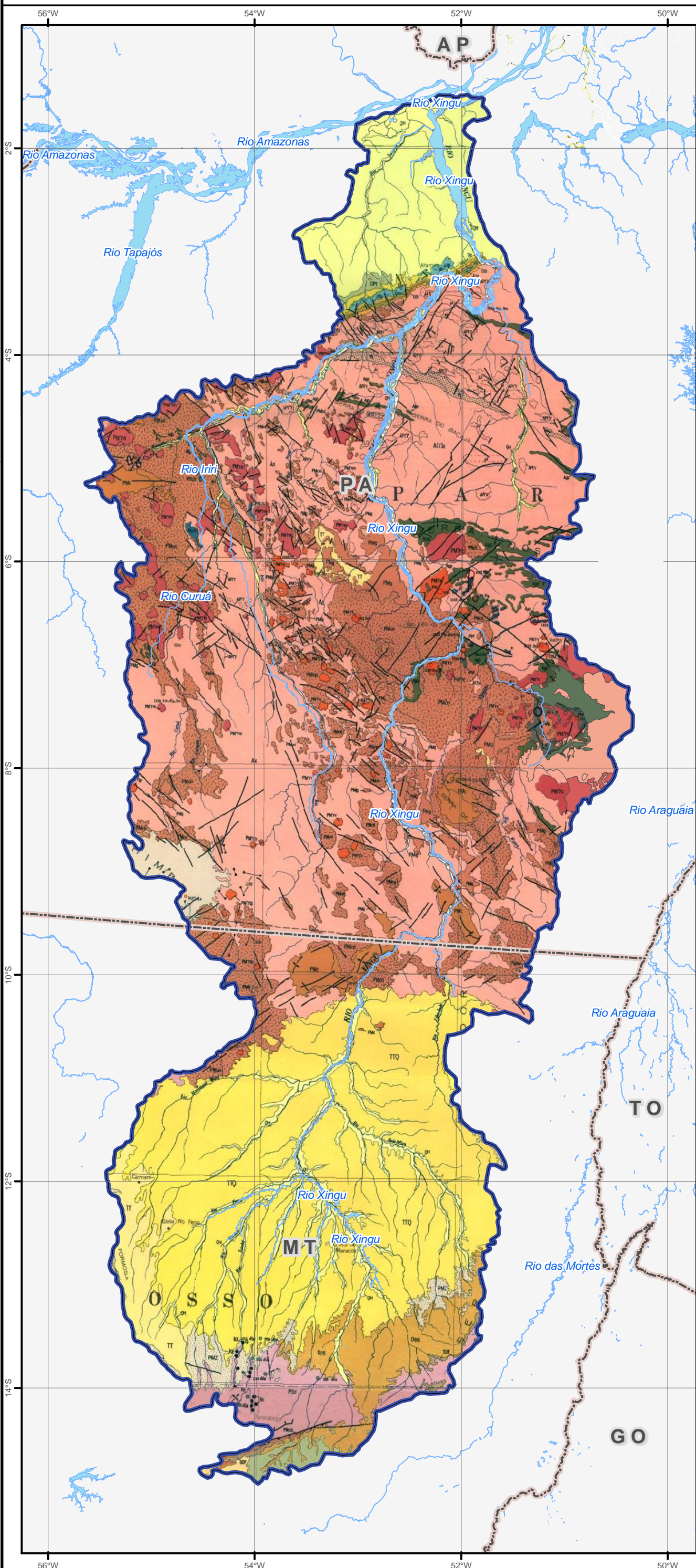
Zanella, B. P., 2016, Modelagem do aporte de sedimentos aplicada à bacia hidrográfica contribuinte da PCH Costa Rica (MS) e proposta de mitigação do assoreamento [Tese doutorado]: Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Zuanon, J., *et al.*, 2019, Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu: Paper do NAEA, Vol. 28 (2), ISSN 15169111 doi:10.18542/papersnaea.v28i2.8106

ANEXOS

1- Mapa geológico

Ilustração 1-6 - Mapa Geológico da Bacia do Rio Xingu



Legenda

- Capital Estadual
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Hidrografia
- ▨ Terras Indígenas
- ▨ Unidade de Conservação de Proteção Integral
- ▨ Unidades de Conservação de Uso Sustentável

Unidades	Litotipos	Idade	
QH	Depósitos aluviais	Argila, silte, areia, cascalhos e matéria orgânica	Pleistoceno / Holoceno
TTc, TT, TTQ,	Cobertura detrito-laterítica	Sedimentos argilo-arenosos com blocos e nódulos de concreções lateríticas e níveis de seixos de quartzo, que por vezes recobre horizonte de argila mosqueado.	Neogeno
KTTac	Formação Alter do Chão	Quartzo arenito, quartzo-grauvaca, arenito e argilito	Cretáceo superior
JJp	Diabásio Penatecaua	Diabásios	Jurássico
CPT	Formação Nova Olinda	Arenito, evaporito, folhelho, siltito	Carbonífero Permiano
Dc	Formação Curuá	Arenitos, folhelho, siltitos	Devoniano
De	Formação Ererê	Siltito, arenito, folhelhos	
Dm	Formação Maecuru	Arenito, siltito, folhelho, conglomerado	Ordoviciano-Siluriano
OSt	Grupo Trombetas	Arenitos, diamictitos, folhelho e siltito	
Kpa / PMZ	Formação Parecis	Arenitos finos a médios, feldspáticos. Apresentam níveis de arenitos grossos, conglomeráticos e lentes de argilitos e siltitos.	Cretáceo superior
Kk	Kimberlitos	Kimberlitos	Cretáceo inferior
Cpa	Formação Aquidauana	Arenitos finos a grossos, arcoseanos; com intercalações de diamictitos, folhelhos e siltitos.	Carbonífero
Dpg	Formação Ponta Grossa	Folhelhos, siltitos e arenitos finos argilosos.	Devoniano superior
SDt	Formação Fumas	Arenitos médios a grossos, ortoquartzíticos e feldspáticos, com lentes de conglomerados e de siltitos argilosos.	Devoniano Inferior
PSd	Formação Raizama	Arenitos finos a médios, com níveis de arenitos grossos, seixos e siltitos.	Proterozóico Superior
Corumbá	Formação Diamantino	Folhelhos e siltitos micáceos, com finas intercalações de arenitos arcoseanos	
PSpc	Suite Cachoeira Seca ou Ingarana	Basalto, diabásio, gabro, monzodiorito, monzogabro	Proterozóico Superior/Médio
PMc	Formação Cubencraquem	Arcóseo, arenito calcedonito, siltito	Proterozóico Médio
PMg	Formação Gorotiere	Arenito, grauavaca, grauavaca cartzosa subgrauavaca	
PMyp	Suite Teles Pires	Monzogranito e sienogranito	Proterozóico Médio
PMyc	Serra dos Carajás	Granitos porfíros	
PMym	Suite Maloquinha	Monzogranito e sienogranito	Proterozóico Médio
PMyv	Granito Velho Guilherme	Biótiíta monzogranito, biótiíta sienogranito, biótiíta anfíbólio sienogranito, monzogranito e greisen	
PMu	Grupo Iriti	Andesito, dacito, riodacito, riolito, tufto, tufó: dacítico, riodacítico e riolítico	Arqueano
APt	Suite Parauari	Granodiorito, monzogranito e sienogranito	
	Formação Parauapebas	metariodacito, metarriolito, metabasalto	Arqueano
	Grupo S. Sebastião	Formação ferrífera bandada, metabasitos, metarcóseos, quartzitos micáceos	
	Formação Rio Naja	Arcóseos, folhelhos carbonosos, grauavaca, metafolhelho, grafítico, siltito, siltito carbonoso (Greenstone Andorinhas)	Arqueano
	Anfíbólio Itatá	Anfíbólio e actinolita xisto	
	Grupo Grão Pará	Granodiorito, monzogranito, sienogranito e tonalito	Arqueano
	Grupo S. Felix	Anfíbólio, filito, formação ferrífera bandada, metabasalto, metagrauavaca, metarcóseo, metarenito, quartzito	
	Grupo Tucumã (Greenstone Andorinhas)	Metavulcânicas: actinolita xisto, anfótilita-cordierita xisto, serpentinito, talcoxisto.	Arqueano
		Metassedimentos: biótiíta xisto, filito, formação ferrífera bandada, metarcóseo, metarenito, micaxisto	
Ax/ A(T)x	Complexo Xingu	Anfíbólio, Charnockito, diorito, gnaiss granito, granitóide, granulito e metabásica	Arqueano
η	Piracilasito Rio Preto	Granulitos básicos	

Localização



1:4.264.420



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum horizontal: SAD 69

Ilustração 1-6
Mapa Geológico da Bacia do Rio Xingu

Fontes:
Reduzido do Mapa Geológico do Brasil, na escala 1: 2.500.000 (DNPM,1995)
a legenda foi baseada em (DNPM 1995) e CPRM (2004).
Base Cartográfica Digital do Brasil ao Milionésimo (IBGE, 2003)
Elaboração: ARCADIS Tetraplan, 2006



```

import pandas as pd
from pandas import DataFrame
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import scipy
from scipy import stats
from scipy.stats import norm
from scipy.stats import vonmises
from scipy.stats import theilslopes
from scipy.stats import linregress
import statsmodels.api as sm
import pylab as py
import cmath
from scipy.optimize import curve_fit
from sklearn.metrics import r2_score
import os
os.chdir('/home/jobueno/Downloads/Altamira 2/')

#criando os dataframes no formato necessário.

Rio_Estação='Altamira'
Lat=-3.2147
Lon=-52.2122

Codigo_estação='18850000'

diretorio=''#Dados_formato_final/'

Dados_Vazão='sim'

#Dados para corrigir para o caso de mudança no medidor de cotas
Ano_mudança=0
Diferença=0 #(cm) ajustar pela rating curve (último gráfico)

dfC=pd.read_csv(diretorio+Codigo_estação+'_cotas.csv',skiprows=0,index_col=False, encoding='latin-1',sep=';')
dfC[dfC==0]=np.nan
dfC['ano'] = dfC.apply(lambda x: int(x['data'].split('/')[1]), axis=1)
dfC['mes'] = dfC.apply(lambda x: int(x['data'].split('/')[0]), axis=1)
dfC['data'] = ((dfC.ano*365.25)+dfC.mes*(365.25/12))/365.25#+dfC.dia)/365.25)

if Dados_Vazão=='sim':

    dfV=pd.read_csv(diretorio+Codigo_estação+'_vazoes.csv',skiprows=0,index_col=False, encoding='latin-1',sep=';')
    dfV[dfV==0]=np.nan
    dfV['ano'] = dfV.apply(lambda x: int(x['data'].split('/')[1]), axis=1)
    dfV['mes'] = dfV.apply(lambda x: int(x['data'].split('/')[0]), axis=1)
    dfV['data'] = ((dfV.ano*365.25)+dfV.mes*(365.25/12))/365.25#+dfV.dia)/365.25)

else:
    #para estacoes sem dados de vazão
    dfV=dfC.copy()
    for col in dfV.columns:
        dfV[col].values[:] = 0
    dfV[dfV==0]=np.nan

dfV=dfV.sort_values(by=['data'],ignore_index=True)
dfC=dfC.sort_values(by=['data'],ignore_index=True)

#dfV=dfV.iloc[:, :47]
dfV=dfV.drop(dfV.filter(like='Status', axis=1).columns,axis=1) # esse comando tira as colunas que tem Status no nome
dfC=dfC.drop(dfC.filter(like='Status', axis=1).columns,axis=1) # esse comando tira as colunas que tem Status no nome

dfVcalc=dfV.filter(like='Vazao', axis=1) # esse comando cria um dataframe apenas com as colunas que tem Vazão no nome
dfCcalc=dfC.filter(like='Cota', axis=1) # esse comando cria um dataframe apenas com as colunas que tem Cota no nome
dfCcalc[dfCcalc==1]=np.nan # substituindo os valores 1 que estão errados

#inseri esta linha para consertar, o problema é que ficou uma coluna a mais, a 'TipoMedicaoCotas'
dfCcalc=dfCcalc.iloc[:,1:]

#Aqui estamos criando os dataframes dfV2 e dfC2 (para vazão e cota) com as estatísticas das medidas individuais.
#Daqui pra frente usaremos basicamente a coluna 'média' de cada um desses arquivos.

dfV2=dfVcalc.agg(['mean','std','median','min','max','sem'],axis='columns')
dfC2=dfCcalc.agg(['mean','std','median','min','max','sem'],axis='columns')

##print(dfV2)

##print(dfC2)

#INSERINDO AS COLUNAS DE DATA, MES E ANO na VAZÃO:

dfV2.insert(0,'data',dfV.data)
dfV2.insert(1,'mes',dfV.mes)
dfV2.insert(2,'ano',dfV.ano)
dfV2.columns=(['data','mes','ano','media_diária','desvio_padrao_diário','mediana_diária','minimo_diário','maximo_diário','erro_padrao_media'])

#troquei o nome das colunas para nao ficar com nome de função
##print(dfV2)

#INSERINDO AS COLUNAS DE DATA, MES E ANO na COTA:

```

```

dfC2.insert(0, 'data', dfC.data)
dfC2.insert(1, 'mes', dfC.mes)
dfC2.insert(2, 'ano', dfC.ano)
dfC2.columns=(['data', 'mes', 'ano', 'media_diária', 'desvio_padrao_diário', 'mediana_diária', 'minimo_diário', 'maximo_diário', 'erro_padrao_media'])
#Corrigindo para o caso de mudança no medidor de cotas
dfC2.media_diária.loc[dfC2.data>Ano_mudança]=dfC2.media_diária.loc[dfC2.data>Ano_mudança]+Diferença
dfC2.mediana_diária.loc[dfC2.data>Ano_mudança]=dfC2.mediana_diária.loc[dfC2.data>Ano_mudança]+Diferença
dfC2.minimo_diário.loc[dfC2.data>Ano_mudança]=dfC2.minimo_diário.loc[dfC2.data>Ano_mudança]+Diferença
dfC2.maximo_diário.loc[dfC2.data>Ano_mudança]=dfC2.maximo_diário.loc[dfC2.data>Ano_mudança]+Diferença

```

```
#INSERIDO
```

```
# Tirando a media das medidas na mesma data
```

```
dfC2=dfC2.groupby(['data'], as_index=False).mean() # media de cada estatística por mês
```

```
dfV2=dfV2.groupby(['data'], as_index=False).mean() # media de cada estatística por mês
```

```
##print(dfV2)
```

```
def percentiles_moveis(x,y,janela=9,percentile=50,percentile_inf=25,percentile_sup=75,title=Rio_Estação,ylegend=''):

```

```

    if int(janela)%2 == 0:
        print('janela precisa ser impar')

```

```

    lag= int((janela-1)/2)
    cont= lag
    central=[]
    alto=[]
    baixo=[]
    while cont<len(x)-(janela/2):
        p1= np.percentile(y[cont-lag:cont+1+lag],percentile)
        p2= np.percentile(y[cont-lag:cont+1+lag],percentile_inf)
        p3= np.percentile(y[cont-lag:cont+1+lag],percentile_sup)
        central=np.append(central,p1)
        baixo=np.append(baixo,p2)
        alto=np.append(alto,p3)
        cont+=1

```

```
x_new=x[lag:- (lag)]
```

```

plt.figure('Moving_pcts '+str(y[0]),figsize=(10,5))
plt.plot(x_new,central,'g',label=f'pctl {percentile}')
plt.plot(x_new,alto,'g--',label=f'pctl {percentile_sup}')
plt.plot(x_new,baixo,'g--',label=f'pctl {percentile_inf}')
plt.fill_between(x_new,alto,baixo,color='olivedrab',alpha=0.2)
plt.title(f'Percentis em janela móvel de {janela} meses\n{title}')
plt.ylabel(ylegend)
plt.xlabel('ano')
plt.legend()
plt.savefig('Moving_pcts2'+str(y[0])+'.svg')
plt.close()

```

```
def percentiles_boot_err(x,y,janela=9,percentile=50,ci=95,itera=2000):

```

```

    if int(janela)%2 == 0:
        print('janela precisa ser impar')

```

```

    lag= int((janela-1)/2)
    cont= lag
    central=[]
    alto=[]
    baixo=[]
    while cont<len(x)-(janela/2):
        dado=y[cont-lag:cont+1+lag]
        p1= np.percentile(dado,percentile)
        cont2=0
        boots=[]
        while cont2<itera:
            amostra=np.random.choice(dado,len(dado),replace=True)
            boots= np.append(boots, np.percentile(amostra,percentile))
            cont2+=1

        ci1= np.percentile(boots,(100-ci)/2)
        ci2= np.percentile(boots,ci+((100-ci)/2))
        central=np.append(central,p1)
        baixo=np.append(baixo,ci1)
        alto=np.append(alto,ci2)
        cont+=1

```

```
x_new=x[lag:- (lag)]
```

```

plt.figure('Moving_pcts2 '+str(y[0]),figsize=(10,5))
plt.plot(x_new,central,'r',label=f'pctl {percentile}')
plt.plot(x_new,alto,'r--')
plt.plot(x_new,baixo,'r--')
plt.fill_between(x_new,alto,baixo,color='tomato',alpha=0.2,label=f'ci= {ci}')
plt.title(f'Percentil {ci} em janela móvel de {janela} meses - {Rio_Estação}')
plt.legend()
plt.savefig('Moving_pcts2'+str(y[0])+'.svg')
plt.close()

```

```
#GERANDO OS HISTOGRAMAS:
```

```

plt.figure(1)
plt.title(f'Vazões {Rio_Estação}')

```

```

sns.histplot(dfV2.media_diária,bins=30)
plt.savefig('Vazões'+'.svg')
plt.close()

plt.figure(2)
plt.title(f'Cotas {Rio_Estação}')
sns.histplot(dfC2.media_diária,bins=30,color='tomato')
plt.savefig('Cotas'+'.svg')
plt.close()

if Dados_Vazão=='sim':
    #print('\nEvolução da Vazão')
    percentiles_moveis(dfV2.data,dfV2.media_diária,janela=61,percentile=50,percentile_inf=25,percentile_sup=75,title=f'Evolução da Vazão-
{Rio_Estação}',ylegend='Vazão ($m^3$/s)')

#demora para rodar
#print('\nEvolução da Vazão e intervalo e confiança')
#percentiles_boot_err(dfV2.data,dfV2.media_diária,janela=61,percentile=85)

#print('\nEvolução das Cotas')
percentiles_moveis(dfC2.data,dfC2.media_diária,janela=61,percentile=50,percentile_inf=15,percentile_sup=85,title=f'Evolução das Cotas-
{Rio_Estação}',ylegend='Cotas (m)')

#demora para rodar
#print('\nEvolução das Cotas')
#percentiles_boot_err(dfC2.data,dfC2.media_diária,janela=61,percentile=15)

#Análise de frequência de enchentes

enchentes=dfV2.groupby(['ano']).max()
order = enchentes.media_diária.argsort()
ranks = order.argsort()
enchentes.insert(3,'ranks',ranks)
###print(enchentes)

pct_years_flooded=enchentes.ranks/len(enchentes.ranks)
prob_flood=1-pct_years_flooded

#bootstapping
cont=0
vazoes_boot=[]
pct_y_flood_boot=[]
while cont<2000:
    sample=np.random.choice(enchentes.media_diária,size=len(enchentes.media_diária),replace=True)

    order = sample.argsort()
    rank_sample = order.argsort()

    pct_years_flooded_boot=1-(rank_sample/len(rank_sample))

    vazoes_boot=np.append(vazoes_boot,sample)
    pct_y_flood_boot=np.append(pct_y_flood_boot,pct_years_flooded_boot)
    cont+=1

dfEnch=pd.DataFrame({'Prob':pct_y_flood_boot,'Vazao':vazoes_boot})

dfEnchPct025=dfEnch.groupby(['Prob'],as_index=False).quantile([0.025]) # Percentil 2,5

dfEnchPct975=dfEnch.groupby(['Prob'],as_index=False).quantile([0.975]) # Percentil 97,5

#plt.figure('enchentes',figsize=(8,5))
#sns.histplot(enchentes.media_diária,bins=35,cumulative=True,stat='probability')
if Dados_Vazão=='sim':
    fit=np.poly1d(np.polyfit(pct_y_flood_boot,vazoes_boot,2))
    xplot=np.linspace(0,1,100)
    yplot=fit(xplot)

    fit025=np.poly1d(np.polyfit(dfEnchPct025.Prob,dfEnchPct025.Vazao,2))
    yplot025=fit025(xplot)

    fit975=np.poly1d(np.polyfit(dfEnchPct975.Prob,dfEnchPct975.Vazao,2))
    yplot975=fit975(xplot)

plt.figure('flood_probabil',figsize=(10,5))
plt.title(f'Probabilidade de vazão máxima em um ano - {Rio_Estação}')
sns.scatterplot(x=prob_flood,y=enchentes.media_diária,color='black',zorder=10)
plt.plot(xplot,yplot,'r')
plt.plot(xplot,yplot025,'r--',label='95% ci')
plt.plot(xplot,yplot975,'r--')
#plt.plot(pct_y_flood_boot,vazoes_boot,'ko',ms=2,alpha=0.02,zorder=1)
plt.gca().invert_xaxis()
plt.xlabel('Probabilidade')
plt.ylabel('Vazão ($m^3$/s)')
plt.yscale('log')
plt.xscale('log')
plt.legend()
plt.savefig('flood_probabil.svg')
plt.close()

AEP1=fit(0.01)
#print(f'\n 1% annual exceedance probability flood (AEP1%) = {np.round(AEP1,1)} $m^3$/s + {np.round(fit975(0.01)-fit(0.01),1)} -
{np.round(fit(0.01)-fit025(0.01),1)} com ci de 95%')

#Análise sazonal

#Agrupando os dados de vazão por mês e tirando estatísticas para cada mês

dfVMedias=dfV2.groupby(['mes']).mean() # media de cada estatística por mês
#print('\n Média de cada estatística')
###print(dfVMedias)

```

```
dfVstds=dfV2.groupby(['mes']).std() # desvio padrão de cada estatística por mês
#print('\n Desvio Padrão de cada estatística')
###print(dfVstds)
```

```
dfVcount=dfV2.groupby(['mes']).count() # desvio padrão de cada estatística por mês
#print('\n Contagem de cada estatística')
###print(dfVcount)
```

```
dfVmediana=dfV2.groupby(['mes']).median() # desvio padrão de cada estatística por mês
#print('\n Mediana de cada estatística')
###print(dfVcount)
```

```
dfVpct025=dfV2.groupby(['mes']).quantile([0.025]) # desvio padrão de cada estatística por mês
#print('\n 1quartil de cada estatística')
###print(dfVpct025)
```

```
dfVpct975=dfV2.groupby(['mes']).quantile([0.975]) # desvio padrão de cada estatística por mês
#print('\n 3quartil de cada estatística')
###print(dfVpct975)
```

```
if Dados_Vazão=='sim':
x=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]
plt.figure('Vazão mensal',figsize=(10,5))
plt.title(f'Variação mensal de descarga- {Rio_Estação}')
plt.plot(x,dfVMedias.media_diária,label='descarga média ($m^3$)')
plt.fill_between(x,dfVMedias.media_diária+2*dfVstds.media_diária,dfVMedias.media_diária-2*dfVstds.media_diária,alpha=0.2,label='+-2 sigma')
plt.xticks(ticks=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12],labels=['Jan','Fev','Mar','Abr','Mai','Jun','Jul','Ago','Set','Out','Nov','Dez'])
plt.ylabel('Vazão ($m^3/s$)')
plt.legend()
plt.savefig('Vazão mensal.svg')
plt.close()
```

```
plt.figure('Vazão mensal2',figsize=(10,5))
plt.title(f'Variação mensal de descarga (percentis)- {Rio_Estação}')
plt.plot(x,dfVmediana.media_diária,label='descarga mediana ($m^3$)')
plt.fill_between(x,dfVpct975.media_diária,dfVpct025.media_diária,alpha=0.2,label='95 ci')
plt.xticks(ticks=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12],labels=['Jan','Fev','Mar','Abr','Mai','Jun','Jul','Ago','Set','Out','Nov','Dez'])
plt.ylabel('Vazão ($m^3/s$)')
plt.legend()
plt.savefig('Vazão mensal pcts.svg')
plt.close()
```

#Agrupando os dados de cota por mês e tirando estatísticas para cada mês

```
dfCMedias=dfC2.groupby(['mes']).mean() # media de cada estatística por mês
#print('\n Média de cada estatística')
###print(dfCMedias)
```

```
dfCstds=dfC2.groupby(['mes']).std() # desvio padrão de cada estatística por mês
#print('\n Desvio Padrão de cada estatística')
###print(dfCstds)
```

```
dfCcount=dfC2.groupby(['mes']).count() # contagem de cada estatística por mês
#print('\n Contagem de cada estatística')
###print(dfCcount)
```

```
dfCmediana=dfC2.groupby(['mes']).median() # mediana padrão de cada estatística por mês
#print('\n Mediana de cada estatística')
###print(dfCcount)
```

```
dfCpct025=dfC2.groupby(['mes']).quantile([0.025]) # percentil 25 de cada estatística por mês
#print('\n 1quartil de cada estatística')
###print(dfCpct025)
```

```
dfCpct975=dfC2.groupby(['mes']).quantile([0.975]) # percentil 75 de cada estatística por mês
#print('\n 3quartil de cada estatística')
###print(dfCpct975)
```

```
x=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]
plt.figure('Cotas mensal',figsize=(10,5))
plt.title(f'Variação mensal de cota- {Rio_Estação}')
plt.plot(x,dfCMedias.media_diária,'r--',ms=30,label='cota média (cm)',zorder=11)
plt.fill_between(x,dfCMedias.media_diária+2*dfCstds.media_diária,dfCMedias.media_diária-2*dfCstds.media_diária,color='yellow',alpha=0.2,label='+-2 sigma',zorder=5)
plt.xticks(ticks=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12],labels=['Jan','Fev','Mar','Abr','Mai','Jun','Jul','Ago','Set','Out','Nov','Dez'])
plt.ylabel('Cota (cm)')
plt.legend()
plt.savefig('Cotas mensal.svg')
plt.close()
```

```
plt.figure('Cotas mensal2',figsize=(10,5))
plt.title(f'Variação mensal de cota (percentis)- {Rio_Estação}')
plt.plot(x,dfCmediana.media_diária,'r--',ms=30,label='cota média (cm)',zorder=11)
plt.fill_between(x,dfCpct975.media_diária,dfCpct025.media_diária,color='yellow',alpha=0.2,label='95 ci',zorder=5)
plt.xticks(ticks=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12],labels=['Jan','Fev','Mar','Abr','Mai','Jun','Jul','Ago','Set','Out','Nov','Dez'])
plt.ylabel('Cota (cm)')
plt.legend()
plt.savefig('Cotas mensal pct.svg')
plt.close()
```

```
def scatt_r2(x,y,xerr=None,yerr=None,title=Rio_Estação,marker='ko',linecolor='firebrick'):
```

```
if xerr=='none':
xerr = np.zeros(len(x))
```

```
if yerr=='none':
yerr = np.zeros(len(x))
```

```

def pearsonr_meu(x, y):

    return (np.cov(x, y) [0,1] / (np.cov(x, y) [0,0]*np.cov(x, y) [1,1]))

def linf(x, a, b):

    return ((a*x)+b)

popt, pcov = curve_fit(linf, x, y)
y_reg=(popt[0]*x)+popt[1]
R2= np.round(r2_score(y, y_reg), 2)
pos_text_y=min(y)+(max(y)-min(y))*0.9
if pearsonr_meu(x, y)>0:
    pos_text_x=min(x)+(max(x)-min(x))*0.1
else:
    pos_text_x=min(x)+(max(x)-min(x))*0.8

plt.figure(title, figsize=(13, 8))
plt.title(title)
plt.plot(x, y, marker, alpha=0.4, zorder=10)
plt.errorbar(x, y, yerr, xerr, fmt='none', zorder=1)
plt.plot(x, y_reg, color=linecolor)
plt.text(pos_text_x, pos_text_y, f'R²= {R2}')
plt.savefig(title+'.svg')
plt.close()

res=y-y_reg

figRes, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2)
ax1=sns.distplot(res, bins=10, ax=ax1)
ax1.set_title('Resíduos')
ax2=sns.distplot(np.log(res[res>0]), bins=10, ax=ax2)
ax2.set_title('Log Resíduos')
plt.savefig('Distribuição dos resíduos.svg')
plt.close()

#Tempo submerso de cada cota
def duracao_inund(cotas, anos, figname='Duração inundação'):
    #CORRIGIDO
    # Calculando o tempo de duração da cheia em cada cota, para cada ano

    cota_máxima=max(cotas)
    cota_minima=min(cotas)
    n_cotas=100

    anos=np.unique(anos)
    cotas_saida=np.round(np.linspace(cota_máxima, cota_minima, n_cotas), 1)

    M=[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]
    matriz=np.zeros((len(anos), n_cotas))
    cont=0
    amplitude=[]
    mes_pico=[]
    mes_baixa=[]
    anos_cut=[]

    while cont< len(anos):
        ##print(anos[cont])
        ##print(dfc.ano)
        dados=dfc2[dfc2.ano==anos[cont]] # CORRIGIDO antes era dfc2[dfc.ano
        ##print(len(dados))
        ##print('este', anos[0])
        x_meses=np.array(dados.mes)
        y_cotas=np.array(dados.media_dia)
        ##print(y_cotas)
        falta=list(set(M)-set(dados.mes.tolist()))
        if len(falta)<2:
            amplitude=np.append(amplitude, max(y_cotas)-min(y_cotas))
            mes_pico=np.append(mes_pico, x_meses[y_cotas==max(y_cotas)])
            mes_baixa=np.append(mes_baixa, x_meses[y_cotas==min(y_cotas)])
            anos_cut=np.append(anos_cut, anos[cont])

        # substituindo mes ausente pela média dos vizinhos

        ##print(falta)
        if len(falta)==1:
            ft=int(falta[0])

            if ft!= 12:

                insert_value=(y_cotas[ft-1]+y_cotas[ft-2])/2
                x_meses=np.insert(x_meses, ft-1, ft)
                y_cotas=np.insert(y_cotas, ft-1, insert_value)

        #interpolando os valores para desenhar a curva
        ##print(len(y_cotas))
        if len(y_cotas)==12: # se não for 12 depois da substituição é pq tem mais de um mês faltando, então não usaremos esse ano
            x_interp=np.linspace(1, 12, 365)
            f=scipy.interpolate.interpld(x_meses, y_cotas, kind='quadratic')
            y_interp=f(x_interp)

        este_ano=[]

```

```

cont2=0
while cont2<len(cotas_saida):
    dias_inundado=len(x_interp[y_interp>=cotas_saida[cont2]])
    este_ano=np.append(este_ano,dias_inundado)
    matriz[cont,cont2]=dias_inundado

    cont2+=1
plt.figure(figsize=(12,5.5))
plt.plot(cotas_saida,este_ano,alpha=0.4,zorder=10)

# tirar esse plot de figura CORRIGIDO

cont+=1
dfInund= pd.DataFrame(data=matriz,index=anos,columns=cotas_saida)

dfInund=dfInund.loc[(dfInund != 0).any(axis=1)] #para tirar anos sem dados

###print(dfInund)

cont3=0
medianas=[]
pctsup=[]
pctinf=[]
while cont3<np.shape(dfInund)[1]:
    medianas=np.append(medianas,np.median(dfInund.iloc[:,cont3]))
    pctsup=np.append(pctsup,np.percentile(dfInund.iloc[:,cont3],2.5))
    pctinf=np.append(pctinf,np.percentile(dfInund.iloc[:,cont3],97.5))
    cont3+=1

plt.figure(figsize=(12,5.5))
plt.title('Dias de inundação em cada ano, para cada cota-'+ figname)
plt.plot(cotas_saida,medianas,'r--',ms=30,label='mediana',zorder=11)
plt.fill_between(cotas_saida,pctsup,pctinf,color='yellow',alpha=0.2,label='95 ci',zorder=5)
plt.xlabel('cotas (cm)')
plt.ylabel('dias de inundação por ano')
plt.legend()
plt.savefig(figname+'.svg')
plt.close()

return(cotas_saida,medianas,pctsup,pctinf,anos_cut,amplitude,mes_pico,mes_baixa,M)

cotas_saida,medianas,pctsup,pctinf,anos_cut,amplitude,mes_pico,mes_baixa,M= duracao_inund(dfC2.media_diaria,dfC.ano,figname=Rio_Estação)

plt.figure(figsize=(10,5))
plt.title(f'Amplitude de variação das cotas (m)- {Rio_Estação}')
plt.plot(anos_cut,amplitude/100)
plt.ylabel('amplitude de variação (m)')
plt.xlabel('ano')
plt.savefig('Amplitude cotas.svg')
plt.close()

plt.figure(figsize=(10,5))
plt.title(f'Amplitude de variação das cotas (m)- {Rio_Estação}')
sns.histplot(amplitude/100,bins=15,color='olivedrab')
plt.savefig('Histogrmaa amplitude cotas.svg')
plt.close()

plt.figure(figsize=(10,5))
plt.title(f'Mes de pico e baixa nas cotas- {Rio_Estação}')
plt.plot(anos_cut,mes_pico,label='pico')
plt.plot(anos_cut,mes_baixa,label='baixa')
plt.legend()
plt.ylabel('mes')
plt.yticks(ticks=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12],labels=['Jan','Fev','Mar','Abr','Mai','Jun','Jul','Ago','Set','Out','Nov','Dez'])
plt.xlabel('ano')
plt.savefig('Mes de pico e baixa.svg')

plt.figure(figsize=(10,5))
plt.title(f'Variação mensal de cota- {Rio_Estação}')
plt.plot(x,dfCmediana.media_diaria,'r--',ms=30,label='cota mediana (cm)',zorder=11)
plt.fill_between(x,dfCpct975.media_diaria,dfCpct025.media_diaria,color='yellow',alpha=0.2,label='95 ci',zorder=5)
plt.legend()
plt.savefig('Variação mensal de cota.svg')

def lineplot_non_param(x,y,janelas=20,percentile=50,percentile_inf=25,percentile_sup=75):

    janela=(max(x)-min(x))/janelas
    x2 = [int(i/janela)*janela for i in x]
    x2_values=np.unique(x2)
    #print(x2_values)

    y2=[]
    sup=[]
    inf=[]
    cont=0
    while cont<len(x2_values):
        y_i= np.percentile(y[x2==x2_values[cont]],percentile)
        y2=np.append(y2,y_i)

        sup_i= np.percentile(y[x2==x2_values[cont]],percentile_sup)
        sup=np.append(sup,sup_i)

        inf_i= np.percentile(y[x2==x2_values[cont]],percentile_inf)
        inf=np.append(inf,inf_i)

        cont+=1

    fig23, (ax11, ax22) = plt.subplots(1, 2,figsize=(10,5))
    fig23.suptitle('Percentis da rating curve')

```

```

ax11.scatter(x,y,c='r',alpha=0.1)
ax11.set_ylabel('cota (cm)')
ax11.set_xlabel('vazão ($m^3$/s)')
ax22.scatter(x2,y,s=4,c='k')
ax22.plot(x2_values,y2,'r',label=f'pctl {percentile}')
ax22.plot(x2_values,sup,'r--',label=f'pctl {percentile_sup}')
ax22.plot(x2_values,inf,'r--',label=f'pctl {percentile_inf}')
# ax22.set_ylabel('cota (cm)')
ax22.set_xlabel('vazão ($m^3$/s)')
ax22.fill_between(x2_values,sup,inf,color='tomato',alpha=0.2)
ax22.legend()
plt.savefig('Percentis da rating curve.svg')
plt.close()
return(x2_values,y2)

#Rating

def piecewise_linear(x, x0, y0, k1, k2):
    return np.piecewise(x, [x < x0, x >= x0], [lambda x:k1*x + y0-k1*x0, lambda x:k2*x + y0-k2*x0])

if Dados_Vazão=='sim':
dfv_plot=dfV2
dfv_plot.index=dfV_plot.data
dfC_plot=dfC2
dfC_plot.index=dfC_plot.data
dfV_plot.insert(1,'cota',dfC2.media_dia)

dfv_plot=dfv_plot[pd.notnull(dfv_plot.cota)]
dfv_plot=dfv_plot[pd.notnull(dfv_plot.media_dia)]
###print(dfv_plot)

# tirando os outliers

x=np.array(dfv_plot.media_dia)
y=np.array(dfv_plot.cota)

pol=np.polyld(np.polyfit(x, y, 7))

#yprevisto=f(x,*popt)
yprevisto=pol(x)
resid=yprevisto-y
y_filtrado=y[abs(resid)<y*0.03]
x_filtrado=x[abs(resid)<y*0.03]

x3,y3= lineplot_non_param(x_filtrado,y_filtrado,janelas=50,percentile=50)
#plt.plot(x3, y3, "o")

p, e = curve_fit(piecewise_linear, x_filtrado, y_filtrado)
Vazão_Bankfull=p[0]
Cota_Bankfull=piecewise_linear(p[0], *p)

xd = np.linspace(min(x), max(x), 100)
x2= np.linspace(min(x_filtrado), max(x_filtrado), 100)
plt.figure(55,figsize=(10,5))
plt.title(f'Vazão bankfull =(np.round(Vazão_Bankfull,2)) \n {Rio_Estação}')
plt.plot(x_filtrado, y_filtrado, "o")
plt.xlabel('Vazão $m^3$/s')
plt.ylabel('Cota (m)')
plt.plot(xd, piecewise_linear(xd, *p),'r')
plt.plot(Vazão_Bankfull,Cota_Bankfull,'rd',markersize=10)
plt.savefig('Cota bankfull.svg')
plt.close()

f1= scipy.interpolate.interp1d(dfC2.data,dfC2.media_dia)
x_interp2=np.linspace(min(dfV2.data),max(dfV2.data),12000) #CORRIGIDO (max(dfC2 para dfC2))
y_interpC=f1(x_interp2)

f2=scipy.interpolate.interp1d(dfV2.data,dfV2.media_dia)
y_interpV=f2(x_interp2)

#INSERIDO

R_Curve= pd.concat([dfC2.media_dia, dfV2.media_dia], axis=1, join="inner") #com essa função criamos um dataframe apenas com os dados de
vazão e cota com mesmo índice (data)
R_Curve.columns=(['Cotas','Vazões'])

trimestre= dfC2.mes.copy() # CORRIGIDO
trimestre.columns=['trimestre']
trimestre[(trimestre==1) | (trimestre==2) | (trimestre==3)]= 'primeiro'
trimestre[(trimestre==4) | (trimestre==5) | (trimestre==6)]= 'segundo'
trimestre[(trimestre==7) | (trimestre==8) | (trimestre==9)]= 'terceiro'
trimestre[(trimestre==10) | (trimestre==11) | (trimestre==12)]= 'quarto'
#print(trimestre)

```

```

plt.figure('rating curve', figsize=(10, 6))
sns.scatterplot(x=dfV2.media_diária, y=dfC2.media_diária, hue=trimestre, palette='tab10')
plt.title('rating curve {Rio_Estação}')
plt.ylabel('cota (cm)')
plt.xlabel('vazão ($m^3/s$)')
plt.legend(title='Trimestre')
plt.savefig('rating curve.svg')
plt.close()

fig, ax1 = plt.subplots()
plt.title('Série histórica de vazões e cotas')
color = 'tab:red'
ax1.set_xlabel('tempo (ano)')
ax1.set_ylabel('Vazão $m^3/s$', color=color)
ax1.plot(R_Curve.Vazões, color=color)
#ax1.set_xlim([1990, 2000])
ax1.tick_params(axis='y', labelcolor=color)

ax2 = ax1.twinx() # instantiate a second axes that shares the same x-axis

color = 'tab:blue'
ax2.set_ylabel('Cota (m)', color=color) # we already handled the x-label with ax1
ax2.plot(dfC2.data, dfC2.media_diária, color=color)
ax2.tick_params(axis='y', labelcolor=color)
#ax2.set_xlim([1990, 2000])
fig.set_figheight(5)
fig.set_figwidth(12)
fig.tight_layout() # otherwise the right y-label is slightly clipped
plt.savefig('Série histórica de vazões e cotas.svg')
plt.close()

#Descarga média anual
#como faltam muitos meses em alguns anos, precisamos ver a média de cada mês e ponderar pelo número de dias
dias_no_mes=[31,27.25,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]
dfCMensal=dfC2.groupby(['mes']).mean().media_diária # media de cada estatística por mês
C_anual=np.sum(dfCMensal*dias_no_mes/365.25)

if Dados_Vazão=='sim':
dfVMensal=dfV2.groupby(['mes']).mean().media_diária # media de cada estatística por mês
##print(dfCMensal)
V_anual=np.sum(dfVMensal*dias_no_mes/365.25)

#print('Descarga média anual',V_anual)
#print('Cota média anual',C_anual)

#Arquivo de saída

Amplitude_cotas_media=np.mean(amplitude/100) #m
Amplitude_cotas_std=np.std(amplitude/100, ddof=1) #m

if Dados_Vazão=='sim':

dfS=pd.DataFrame({'Nome estação':Rio_Estação, 'Código':dfC.EstacaoCodigo[0], 'Latitude':[Lat], 'Longitude':[Lon],
'Meses com descarga medida':[len(dfV2)],
'Descarga Média Anual (m3/s)':[V_anual],
'STD Descarga':[np.std(dfV2.media_diária, ddof=1)],
'Descarga máxima medida':[np.max(dfV2.media_diária.dropna())],
'Descarga pct 97.5':[np.percentile(dfV2.media_diária.dropna(), 97.5)],
'Descarga pct 75':[np.percentile(dfV2.media_diária.dropna(), 75)],
'Descarga mediana':[np.percentile(dfV2.media_diária.dropna(), 50)],
'Descarga pct 25':[np.percentile(dfV2.media_diária.dropna(), 25)],
'Descarga pct 2.5':[np.percentile(dfV2.media_diária.dropna(), 2.5)],
'Descarga mínima medida':[np.min(dfV2.media_diária.dropna())],
'Descarga AEP1%':[AEP1], 'Descarga Bankfull':[Vazão_Bankfull],
'Mês Pico':[M[np.argmax(dfVMedias.media_diária)]], 'Descarga Média Mês Pico':[np.max(dfVMedias.media_diária)],
'STD Descarga Pico':[dfVstds.media_diária[np.argmax(dfVMedias.media_diária)]],
'Descarga Mediana Mês Pico':[dfVmediana.media_diária[np.argmax(dfVMedias.media_diária)]],
'Percentil 97.5 Descarga Mês Pico':[np.array(dfVpct975.media_diária)[np.argmax(dfVMedias.media_diária)]],
'Percentil 2.5 Descarga Mês Pico':[np.array(dfVpct025.media_diária)[np.argmax(dfVMedias.media_diária)]],
'Mês Baixa':[M[np.argmin(dfVMedias.media_diária)]], 'Descarga Média Mês Baixa':[np.min(dfVMedias.media_diária)],
'STD Descarga Baixa':[dfVstds.media_diária[np.argmin(dfVMedias.media_diária)]],
'Descarga Mediana Mês Baixa':[dfVmediana.media_diária[np.argmin(dfVMedias.media_diária)]],
'Percentil 97.5 Descarga Mês Baixa':[np.array(dfVpct975.media_diária)[np.argmin(dfVMedias.media_diária)]],
'Percentil 2.5 Descarga Mês Baixa':[np.array(dfVpct025.media_diária)[np.argmin(dfVMedias.media_diária)]],
'Meses com cota medida':[len(dfC2)],
'Cota Média Anual (m)':[C_anual/100],
'STD Cota':[np.std(dfC2.media_diária/100, ddof=1)],
'Cota máxima medida':[np.max(dfC2.media_diária.dropna()/100)],
'Cota pct 97.5':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 97.5)],
'Cota pct 75':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 75)],
'Cota mediana':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 50)],
'Cota pct 25':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 25)],
'Cota pct 2.5':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 2.5)],
'Cota mínima medida':[np.min(dfC2.media_diária.dropna()/100)],
'Cota Bankfull':[Cota_Bankfull],
'Amplitude Média Cotas (m)':[Amplitude_cotas_media], 'STD Amplitude Cotas':[Amplitude_cotas_std],
})

else:
dfS=pd.DataFrame({'Nome estação':Rio_Estação, 'Código':dfC.EstacaoCodigo[0], 'Latitude':['X'], 'Longitude':['X'],
'Meses com descarga medida':0,
'Meses com cota medida':[len(dfC2)],
'Cota Média Anual (m)':[C_anual/100],
'STD Cota':[np.std(dfC2.media_diária/100, ddof=1)],
'Cota máxima medida':[np.max(dfC2.media_diária.dropna()/100)],
'Cota pct 97.5':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 97.5)],
'Cota pct 75':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 75)],
'Cota mediana':[np.percentile(dfC2.media_diária.dropna()/100, 50)],
})

```

```

'Cota pct 25': [np.percentile(dfC2.media_difusiva.dropna() / 100, 25)],
'Cota pct 2.5': [np.percentile(dfC2.media_difusiva.dropna() / 100, 2.5)],
'Cota mínima medida': [np.min(dfC2.media_difusiva.dropna() / 100)],
'Amplitude Média Cotas (m)': [Amplitude_cotas_media], 'STD Amplitude Cotas': [Amplitude_cotas_std],
})

```

```
#CENÁRIOS DE REGULAÇÃO DA VAZÃO
```

```
#ajustando a curva de rating a uma função
```

```
#def f(a,b,c,d,e,x):
# return -a*x**4+b*x**3+c*x**2+d*x+e
```

```
#popt,pcov=scipy.optimize.curve_fit(f, R_Curve.Vazões,R_Curve.Cotas,)
```

```
#yprevisto=f(R_Curve.Vazões,*popt)
yprevisto=pol(R_Curve.Vazões)
resid=yprevisto-R_Curve.Cotas
Cotas_filtrado=R_Curve.Cotas.loc[abs(resid)<R_Curve.Cotas*0.05]
Vazões_filtrado=R_Curve.Vazões.loc[abs(resid)<R_Curve.Cotas*0.05]
```

```
#fit sem os outliers
#popt,pcov=scipy.optimize.curve_fit(f, Vazões_filtrado,Cotas_filtrado)
```

```
xplot=np.linspace(min(R_Curve.Vazões),max(R_Curve.Vazões),500)
#yplot=f(xplot,*popt)
yplot=pol(xplot)
```

```
plt.figure('nova')
plt.plot(Vazões_filtrado,Cotas_filtrado,'bo')
plt.plot(xplot,yplot,'r--')
```

```
#Vazão mínima no percentil 10
```

```
Vaz_mod_10=R_Curve.copy()
Vaz_mod_25=R_Curve.copy()
```

```
PCT10_vaz=np.percentile(R_Curve.Vazões,10)
PCT25_vaz=np.percentile(R_Curve.Vazões,25)
PCT75_vaz=np.percentile(R_Curve.Vazões,75)
PCT90_vaz=np.percentile(R_Curve.Vazões,90)
```

```
#Vazão mínima = pct10
```

```
cont=0
Defict_Cummul10=0
```

```
while cont<len(R_Curve.Vazões):
```

```
if R_Curve.Vazões.iloc[cont]<PCT10_vaz:
    Vaz_mod_10.Vazões.iloc[cont]=PCT10_vaz
    Defict_Cummul10+= PCT10_vaz-R_Curve.Vazões.iloc[cont]
```

```
if (R_Curve.Vazões.iloc[cont]>PCT90_vaz) & (Defict_Cummul10>0):
    Vaz_mod_10.Vazões.iloc[cont]=PCT90_vaz
    Defict_Cummul10+= PCT90_vaz-R_Curve.Vazões.iloc[cont]
```

```
#print(cont,len(R_Curve.Vazões))
cont+=1
```

```
Cota_mod_10=pol(Vaz_mod_10.Vazões)
```

```
figPct10, ax1 = plt.subplots(figsize=(12,5))
plt.title(f'Série modelada de vazões e cotas\n- vazão mínima - percentil 10 da série histórica')
color = 'tab:red'
ax1.set_xlabel('tempo (ano)')
ax1.set_ylabel('Vazão $m^3/s$', color=color)
ax1.plot(Vaz_mod_10.index,Vaz_mod_10.Vazões,color=color,linestyle='--')
#ax1.set_xlim([1990, 2000])
ax1.tick_params(axis='y', labelcolor=color)
```

```
ax2 = ax1.twinx() # instantiate a second axes that shares the same x-axis
```

```
color = 'tab:blue'
ax2.set_ylabel('Cota (m)', color=color) # we already handled the x-label with ax1
ax2.plot(Vaz_mod_10.index,Cota_mod_10, color=color,alpha=0.3)
ax2.tick_params(axis='y', labelcolor=color)
#ax2.set_xlim([1990, 2000])
fig.tight_layout() # otherwise the right y-label is slightly clipped
plt.savefig('vazões e cotas pct10.svg')
plt.close()
```

```
cotas_saida10,medianas10,pctsup10,pctinf10,anos_cut,amplitude,mes_pico,mes_baixa,M= duracao_inund(Cota_mod_10,dfC.ano,figname='Simulação vazão mínima pct10 '+ Rio_Estação)
```

```
#Vazão mínima = pct25
```

```
cont=0
Defict_Cummul25=0
```

```
while cont<len(R_Curve.Vazões):
```

```
if R_Curve.Vazões.iloc[cont]<PCT25_vaz:
    Vaz_mod_25.Vazões.iloc[cont]=PCT25_vaz
    Defict_Cummul25+= PCT25_vaz-R_Curve.Vazões.iloc[cont]
```

```
if (R_Curve.Vazões.iloc[cont]>PCT75_vaz) & (Defict_Cummul25>0):
```

```
Vaz_mod_25.Vazões.iloc[cont]=PCT75_vaz
Defict_Cummul10+= PCT75_vaz-R_Curve.Vazões.iloc[cont]
```

```
#print(cont,len(R_Curve.Vazões))
cont+=1
```

```
Cota_mod_25=pol(Vaz_mod_25.Vazões)
```

```
figPct25, ax1 = plt.subplots(figsize=(12,5))
plt.title(f'Série modelada de vazões e cotas\n- vazão mínima - percentil 25 da série histórica')
color = 'tab:red'
ax1.set_xlabel('tempo (ano)')
ax1.set_ylabel('Vazão $m^3/s$', color=color)
ax1.plot(Vaz_mod_25.index,Vaz_mod_25.Vazões,color=color,linestyle='--')
#ax1.set_xlim([1990, 2000])
ax1.tick_params(axis='y', labelcolor=color)

ax2 = ax1.twinx() # instantiate a second axes that shares the same x-axis
```

```
color = 'tab:blue'
ax2.set_ylabel('Cota (m)', color=color) # we already handled the x-label with ax1
ax2.plot(Vaz_mod_25.index,Cota_mod_25, color=color,alpha=0.3)
ax2.tick_params(axis='y', labelcolor=color)
#ax2.set_xlim([1990, 2000])
fig.tight_layout() # otherwise the right y-label is slightly clipped
plt.savefig('vazões e cotas pct25.svg')
plt.close()
```

```
cotas_saida25,medianas25,pctsup25,pctinf25,anos_cut,amplitude,mes_pico,mes_baixa,M= duracao_inund(Cota_mod_25,dfC.ano,figname='Simulação vazão
mínima pct25 '+ Rio_Estação)
```

```
plt.figure('Duração inundaçã por cota')
plt.title('Dias de inundaçã em cada ano, para cada cota')
plt.plot(cotas_saida,medianas,'r',ms=30,label='Situaçã atual',zorder=11)
plt.plot(cotas_saida,pctsup,'r--',label='95 ci',zorder=5)
plt.plot(cotas_saida,pctinf,'r--',zorder=5)
plt.plot(cotas_saida10,medianas10,'b',ms=30,label='Vazã mínima regulada para pct10',zorder=11)
plt.plot(cotas_saida10,pctsup10,'b--',zorder=5)
plt.plot(cotas_saida10,pctinf10,'b--',zorder=5)
plt.plot(cotas_saida25,medianas25,'g',ms=30,label='Vazã mínima regulada para pct25',zorder=11)
plt.plot(cotas_saida25,pctsup25,'g--',zorder=5)
plt.plot(cotas_saida25,pctinf25,'g--',zorder=5)
plt.xlabel('cotas (cm)')
plt.ylabel('dias de inundaçã por ano')
plt.legend()
```

```
dfModelos=pd.DataFrame({'Atual':R_Curve.Cotas,'Modelo_pct10':Cota_mod_10,'Modelo_pct25':Cota_mod_25})
plt.figure('Alteraçães por regulaçã de vazã')
plt.title('Alteraçães por regulaçã de vazã')
sns.violinplot(data=dfModelos)
plt.ylabel('Frequência da cota de enchente (cm)')
plt.savefig('Violinplots vmodelos cotas.svg')
plt.close()
```

```
fig, (ax1,ax2,ax3) = plt.subplots(3,sharex=True, figsize=(4,7))
fig.suptitle('Histogramas de modelos cotas')
sns.histplot(ax=ax1,data=dfC2.media_dia_ria,color='dodgerblue')
ax1.title.set_text('Atual')
sns.histplot(ax=ax2,data=Cota_mod_10,color='firebrick')
ax2.title.set_text('Modelo_pct10')
sns.histplot(ax=ax3,data=Cota_mod_25,color='tomato')
ax3.title.set_text('Modelo_pct25')
plt.xlabel('Cotas (cm)')
plt.tight_layout()
plt.savefig('Histogramas de modelos cotas.svg')
plt.close()
```

```
dfs['Mod25_Descarga_máxima_medida']=np.max(Vaz_mod_25.Vazões)
dfs['Mod25_Descarga_pct_97.5']=np.percentile(Vaz_mod_25.Vazões,97.5)
dfs['Mod25_Descarga_pct_75']=np.percentile(Vaz_mod_25.Vazões,75)
dfs['Mod25_Descarga_mediana']=np.percentile(Vaz_mod_25.Vazões,50)
dfs['Mod25_Descarga_pct_25']=np.percentile(Vaz_mod_25.Vazões,25)
dfs['Mod25_Descarga_pct_2.5']=np.percentile(Vaz_mod_25.Vazões,2.5)
dfs['Mod25_Descarga_mínima_medida']=np.min(Vaz_mod_25.Vazões)
dfs['Mod25_Cota_máxima_medida']=np.max(Cota_mod_25)
dfs['Mod25_Cota_pct_97.5']=np.percentile(Cota_mod_25,97.5)
dfs['Mod25_Cota_pct_75']=np.percentile(Cota_mod_25,75)
dfs['Mod25_Cota_mediana']=np.percentile(Cota_mod_25,50)
dfs['Mod25_Cota_pct_25']=np.percentile(Cota_mod_25,25)
dfs['Mod25_Cota_pct_2.5']=np.percentile(Cota_mod_25,2.5)
dfs['Mod25_Cota_mínima_medida']=np.min(Cota_mod_25)
```

```
dfs['Mod10_Descarga_máxima_medida']=np.max(Vaz_mod_10.Vazões.dropna())
dfs['Mod10_Descarga_pct_97.5']=np.percentile(Vaz_mod_10.Vazões.dropna(),97.5)
dfs['Mod10_Descarga_pct_75']=np.percentile(Vaz_mod_10.Vazões.dropna(),75)
dfs['Mod10_Descarga_mediana']=np.percentile(Vaz_mod_10.Vazões.dropna(),50)
dfs['Mod10_Descarga_pct_25']=np.percentile(Vaz_mod_10.Vazões.dropna(),25)
dfs['Mod10_Descarga_pct_2.5']=np.percentile(Vaz_mod_10.Vazões.dropna(),2.5)
dfs['Mod10_Descarga_mínima_medida']=np.min(Vaz_mod_10.Vazões.dropna())
dfs['Mod10_Cota_máxima_medida']=np.max(Cota_mod_10).dropna()
dfs['Mod10_Cota_pct_97.5']=np.percentile(Cota_mod_10,97.5).dropna()
dfs['Mod10_Cota_pct_75']=np.percentile(Cota_mod_10,75).dropna()
dfs['Mod10_Cota_mediana']=np.percentile(Cota_mod_10,50).dropna()
dfs['Mod10_Cota_pct_25']=np.percentile(Cota_mod_10,25).dropna()
dfs['Mod10_Cota_pct_2.5']=np.percentile(Cota_mod_10,2.5).dropna()
dfs['Mod10_Cota_mínima_medida']=np.min(Cota_mod_10).dropna()
```

```
dfs.to_csv(Rio_Estação+'.csv')
```

```
#plt.show()
```