



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
EMBRAPA - UFPA - MPEG**

VÂNIA DOS SANTOS FRANCO

**PREVISÃO HIDROLÓGICA DE CHEIA SAZONAL DO RIO XINGU EM
ALTAMIRA-PA**

**BELÉM – PARÁ
2014**

VÂNIA DOS SANTOS FRANCO

**PREVISÃO HIDROLÓGICA DE CHEIA SAZONAL DO RIO XINGU EM
ALTAMIRA-PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a EMBRAPA Amazônia oriental.

Área de concentração: Física do Clima.
Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza.

BELÉM – PARÁ

2014

VÂNIA DOS SANTOS FRANCO

**PREVISÃO HIDROLÓGICA DE CHEIA SAZONAL DO RIO XINGU EM
ALTAMIRA-PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a EMBRAPA Amazônia oriental.

Área de concentração: Física do Clima.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza.

Data da aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA

Dr. Roberto Porro - Membro
Doutor em Antropologia Cultural
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Profa. Aline Maria Meiguins de Lima - Membro
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará - UFPA

Prof. Adriano Marlisom Leão de Sousa – Membro Externo
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Dedico este trabalho à minha
querida mãe e ao meu orientador.

AGRADECIMENTOS

O meu maior agradecimento será ao meu DEUS, pelo seu amor e fidelidade, pois sem ELE nada seria possível.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Dr. Everaldo Barreiros de Souza, pela orientação, por muitos conhecimentos científicos compartilhados, pela oportunidade e principalmente pelo voto de confiança.

À minha querida mãe Arleth Franco, pelo amor, ajuda e por todo incentivo que recebi durante a realização desse trabalho.

À minha amada filha Sofya Sodré, pelas vezes que me alegrou com seu sorriso e aquele pedido para brincar ao qual não se pode negar, mesmo com o cansaço do dia-dia.

Ao meu esposo Edson Sodré pelo seu amor e carinho.

A CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado.

Aos membros da banca, Prof. Roberto Porro, Prof^a. Aline Meiguins e ao Prof. Dr. Adriano Marlisom pela disponibilidade e contribuição neste trabalho.

À Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará (RPCH), pela estrutura física para realização deste trabalho.

A Agência Nacional de Águas (ANA), ao NCEP (National Centers for Environmental Prediction), CPC (Climate Prediction Center), e ao Censo Demográfico do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) pelo fornecimento dos dados.

À turma de Mestrado de 2012, por todo companheirismo e pelos conhecimentos compartilhados. Foi uma turma unida e maravilhosa!

Às minhas amigas-irmãs Amanda Nascimento e Thaianne Dias (as chulés rrsrs) e aos meus amigos do coração Maurício Moura, Ana Paula Assunção, Thiago Azevedo, Jaqueline do Carmo e Carlos Dias por todos os conhecimentos compartilhados, por todo carinho, momentos de descontração e amizade que construímos durante esses anos.

Na última etapa desta pesquisa, agradeço o apoio e o incentivo dos professores Midori Makino, Paulo Souza, Maria do Carmo, Aline Meiguins e demais professores da FAMET e também aos amigos do Curso de Meteorologia.

A todos o meu muito obrigada!

Na adversidade, não percas a coragem e guarda a esperança; pois só a esperança não abandona o homem nem no momento da morte.

Dionísio Catão (Sec. III)

RESUMO

Os modelos hidrológicos são ferramentas de representação do comportamento da bacia hidrográfica e servem para prever condições futuras e/ou simular situações hipotéticas no intuito de avaliar impactos de alterações. Os impactos socioeconômicos dessas alterações (cheias, por exemplo) e desastres naturais normalmente afetam as parcelas menos favorecidas da população. No presente trabalho foram investigados os aspectos climatológicos do regime hidrológico do rio Xingu, incluindo a elaboração de um modelo estatístico de previsão das cheias sazonais no município de Altamira-PA. Além disso, investiga-se o grau de vulnerabilidade social associada às condições de cheias no município de Altamira. Os resultados mostraram que o pico das cheias ocorre entre os meses de março a maio (MAM) e a variabilidade fluviométrica é dependente da ocorrência de precipitação do rio Xingu (entre os estados do Pará e Mato Grosso), bem como dos padrões de TSM no Pacífico e Atlântico que influenciam nas bandas de nuvens convectivas da ZCAS e ZCIT. O modelo estatístico de previsão hidrológica do rio Xingu em Altamira-PA, desenvolvido através da regressão linear múltipla para prever a cota da cheia sazonal (MAM) do município levando em consideração as variáveis preditoras (explicativas) TSM e precipitação do rio Xingu, obteve bom resultado, pois acompanhou bem a cota observada e, além disso, apresentou correlação significativa entre as variáveis, valor considerado adequado e bom para o coeficiente de Nash Sutcliffe e baixo erro. Através do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) classificou-se a vulnerabilidade de Altamira no Censo de 2000 como moderadamente vulnerável e no Censo de 2010 como baixa vulnerabilidade, o que pode não corresponder à atual situação do município depois da construção da Hidrelétrica de Belo Monte.

PALAVRAS – CHAVE: Rio Xingu. Modelagem hidrológica. Vulnerabilidade social.

ABSTRACT

Hydrologic models can be considered as a tool developed to represent the behavior of the hydrographic basin, predict future conditions and/or simulate hypothetical situations with the intent of evaluating impacts of alterations. The socioeconomic impacts these alterations (flooding; for example), and natural disasters normally affect less favored population groups. The present work investigated the climatologic aspects of the hydrologic regime of the river Xingu, including the elaboration of a statistical model for the prediction of seasonal floods in the municipality of Altamira-PA. In addition, it investigates the degree of social vulnerability associated to these conditions of floods in the municipality of Altamira. The results showed that a peak of floods occurs between the months of March and May (MAM) and the gaging variability is dependent of precipitation at the Xingu (in the states of Pará and Mato Grosso), as well of the pattern Pacific and Atlantic TSS that influence the bands of convective clouds of the ASCZ and ITCZ. The statistical hydrologic prediction model of the Xingu River in Altamira-PA, developed through multiple linear regression, presented significant correlation between variables, value considered adequate and good for coefficient Nash and Sutcliffe and low error to predict the quota of seasonal floods (MAM) of the municipality, taking in to account the predictor variables (explanatory) TSS and precipitation, because accompanied the observed quota. Through the index of social vulnerability (IVS) the vulnerability of Altamira in 2000 census as moderate while in 2010 it was as low rated, what may not correspond to the current situation of the municipality given the construction of the Belo Monte Hydroelectric Plant.

Keywords: River Xingu, Hydrological Modeling, Social Vulnerability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Representação da bacia hidrográfica Amazônica e suas sub-bacias componentes.....	18
Figura 2 - Perfil esquemático dos processos de enchente, inundação e alagamento, com seus respectivos conceitos.	20
Figura 3 - Remoção das famílias atingidas pela enchente do rio Xingu, no município de Altamira-PA, em 2012, ação praticada pelo exército brasileiro do 51º BIS.	21
Figura 4 - Ilustração da Hidrelétrica de Belo Monte.	24
Figura 5 - (a) Máximos e mínimos e média; (b) Desvio-padrão e média; das cotas observadas na variação de nível do rio Xingu em Altamira durante o período de 44 anos (1969 a 2012).	25
Figura 6 - Localização das áreas de ocorrência mineral, na cidade de Altamira e proximidades.	26
Figura 7 - Limite da cota de 100 m na cidade de Altamira.	27
Figura 8 - Níveis sazonais de água no rio Xingu em Altamira, ano médio.	27
Figura 9 - Vazões mensais do rio Xingu.	28
Figura 10 - Esquematização da Célula de Walker modificada, em associação as condições de El Niño.	32
Figura 11 - Interação da ITCZ com a TSM nas estações seca e chuvosa da Amazônia	33
Figura 12 - Região média do posicionamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul	34
Figura 13 - Mapa (a) à esquerda: Domínio da Bacia Hidrográfica Amazônica brasileira (linhas vermelhas), linhas pontilhadas em preto mostrando toda a extensão da sub bacia do rio Xingu. Mapa(b) à direita: área de estudo sobre a sub-bacia do Xingu na porção oriental.	36
Figura 14 - Fotografia do relevo no alto Xingu (a) e no baixo Xingu (b).....	39
Figura 15 - Vegetação de savana (cerrado), encontrado na porção sul do rio Xingu.	40
Figura 16 - Vegetação do rio Xingu (floresta ombrófila aluvial), nas proximidades da foz do rio Iriri, Altamira, Pará.	41
Figura 17 - Barcaças com toras, rio Xingu, cerca de 80 km a jusante da cidade de Félix do Xingu, Pará.....	42
Figura 18 - Climatologia sazonal (média 1979/2012) de (a) ROLE (W/m^2) sobre a América do Sul e Oceano Atlântico e (b) de precipitação – PREC (mm/dia) sobre a sub-bacia do Xingu durante as estações de DJF, MAM, JJA e SON. .	54

Figura 19 - Climatologia mensal (média 1979/2012) da cota fluviométrica em Altamira-PA e de precipitação – PREC (mm/dia) mediada sobre as áreas situadas no alto (PREC-S), médio (PREC-C) e baixo (PREC-N) Xingu durante o ano hidrológico.....	56
Figura 20 - Climatologia mensal (média 1980/2012) da cota fluviométrica em Altamira-PA e de precipitação – PREC (mm/dia) média sobre a área situada no baixo Xingu (PREC-N) durante o ano hidrológico das décadas de 80, 90 e 2000. ...	57
Figura 21 - Climatologia média anual (1980/2012) da precipitação – PREC (mm/dia) media sobre a área situada no baixo Xingu (PREC-N) durante o ano hidrológico das décadas de 80, 90 e 2000.	57
Figura 22 - Variabilidade interanual da cota de cheia sazonal (MAM) do rio Xingu em Altamira durante o período de 44 anos (1969 a 2012).....	58
Figura 23 - Correlações entre a cota sazonal de MAM em Altamira e o campo de TSM sobre o Pacífico e Atlântico, ROLE sobre a América do Sul e PREC sobre a bacia do Xingu para a defasagem (a) JFM e (b) FMA. A escala de cores na base mostra o sinal e intensidade das correlações.	61
Figura 24 - Áreas de TSM sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico e de precipitação na sub-bacia do Xingu para a montagem do modelo estatístico de previsão da cota de cheia em Altamira-PA.	62
Figura 25 - Séries temporais da cota observada (de 1979 a 2012-linha em azul) e simulada (2003 a 2012- 10 anos de previsão, linha em vermelho) em MAM pelo modelo estatístico de regressão múltipla para a região do município de Altamira-PA.	63
Figura 26 - Séries temporais da cota observada (em azul), simulada (linha pontilhada em vermelho) e calibração do modelo estatístico de regressão múltipla para o período de 1979 a 1988.	64
Figura 27 - Resultado da aplicação do fator X para o período de 1999 a 2012.	65
Figura 28 - Variáveis que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social do Município de Altamira, para os censos do IBGE, dos anos de 2000 e 2010.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores e Características que influenciam na Vulnerabilidade Social.	23
Tabela 2 - Projeção populacional para os municípios da área da bacia do rio Xingu. ...	30
Tabela 3 - Variáveis utilizadas para a construção do Índice de Vulnerabilidade Social.	51
Tabela 4 - Classificação de vulnerabilidade segundo agrupamento das variáveis sociais.	51
Tabela 5 - Classificação da vulnerabilidade segundo seu grau de Vulnerabilidade social.	52
Tabela 6 - Estatística descritiva dos dados de cota sazonal de MAM do rio Xingu em Altamira no período de 1969 a 2012	59
Tabela 7 - Teste não paramétrico de Mann-Kendall da cota sazonal de MAM.	59
Tabela 8 - Equação de Regressão desenvolvida para o Município de Altamira e os parâmetros estatísticos utilizados.	63
Tabela 9 - Validação do modelo utilizando os parâmetros coeficiente de determinação (R^2), Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE), Erro Médio Quadrático (MSE) e o coeficiente de Nash Sutcliffe para o período de 1989 a 1998.	64
Tabela 10 - Nível da Vulnerabilidade da população do município de Altamira conforme cinco variáveis socioeconômicas, e IVS calculado para os anos de 2000 e 2010.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
CGA - Circulação Geral da Atmosfera
CPC - Climate Prediction Center
CPRM - Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais
DJF – Dezembro, Janeiro, Fevereiro
DQO - Demanda de Oxigênio
E - Nível de Escolaridade
ENOS - El Niño - Oscilação Sul
FMA - Fevereiro, Março, Abril
GPCC - *Global Precipitation Climatology Centre*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IVS - Índice de Vulnerabilidade Social
JFM - Janeiro, Fevereiro, Março
JJA – Junho, Julho, Agosto
MAM – Março, Abril, Maio
MAPE - Erro Percentual Médio Absoluto
MSE - Erro Quadrático Médio
NASA - *National Aeronautics and Space Agency*
NCEP - National Centers for Environmental Prediction
P - Nível de Pobreza
pH - Potencial Hidrogeniônico
PID - População Idosa
PIN - População Infantil
PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PT - População Total
ROL – Radiação de Onda Longa
SON – Setembro, Outubro, Novembro
TSM - Temperatura da Superfície do Mar
UTC - Coordinated Universal Time
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral.....	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1 Modelagem hidrológica.....	18
3.2 Enchente e vulnerabilidade social.....	20
3.3 Impactos decorrentes da implantação da usina de Belo Monte.....	23
3.4 Influência de mecanismos climáticos na precipitação da Amazônia.....	31
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1 Caracterização da área de estudo.....	35
4.1.1 Características gerais.....	35
4.1.2 Processos e atributos do meio físico e ecossistemas terrestres.....	37
4.1.3 Limnologia do rio Xingu.....	43
4.2 Bases de dados observacionais.....	44
4.2.1 Dados de cota.....	44
4.2.2 Dados de precipitação.....	44
4.2.3 Dados atmosféricos e oceânicos.....	44
4.2.4 Dados para análise do índice de vulnerabilidade social.....	45
4.3 Métodos estatísticos.....	45
4.3.1 Regressão linear simples e múltipla.....	45
4.3.2 Calibração e validação do modelo.....	47
4.3.3 Correlações.....	47
4.3.4 Análise de tendência (teste não paramétrico de Mann Kendall).....	48
4.3.5 Quartis.....	49
4.3.6 Índice de vulnerabilidade social.....	50
5 RESULTADOS.....	53
5.1 Aspectos Climatológicos.....	53
5.1.1 Climatologia de ROLE (nebulosidade) e precipitação sazonal.....	53
5.1.2 Climatologia mensal da cota e precipitação.....	54
5.2 Variabilidade e tendência das cheias do rio Xingu.....	58
5.3 Modelo estatístico de previsão da cheia sazonal (MAM).....	60

5.3.1 Correlações	60
5.3.2 Previsão da cota de cheia em Altamira.....	61
5.3.3 Calibração e validação do modelo.....	64
5.3.4 Limitações do modelo	65
5.4 Análise da vulnerabilidade social no município de Altamira	66
6 DISCUSSÃO	69
7 CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é uma variável importante do ciclo hidrológico, da vida e do bem-estar dos seres humanos. Três quartos da energia que comanda a circulação atmosférica provem do calor latente originado da precipitação tropical. A precipitação nos trópicos é uma das variáveis atmosféricas mais difíceis de medir, por causa da sua grande variação no espaço e no tempo (KUMMEROW et al., 2000).

Em se tratando particularmente da Bacia Amazônica¹, a variabilidade da precipitação interanual depende do ENOS - El Niño-Oscilação Sul (KOUSKY; KAYANO; CAVALCANTI, 1984; ACEITUNO, 1988; MARENGO, 1992; MARENGO; HASTENRATH, 1993; LIEBMANN; MARENGO, 2001), bem como das fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) do Oceano Atlântico intertropical (SOUZA et al., 2000). Ambos os modos climáticos do Pacífico e Atlântico interferem na posição e intensidade das bandas de nebulosidade convectiva da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que influencia grande parte do território Brasileiro e também da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que influencia o norte/nordeste do Brasil.

Por sua vez, a distribuição espacial da precipitação influencia diretamente na variabilidade fluviométrica, i.e., a subida (cheia) e descida (vazante) dos rios amazônicos (SANTOS, 2008). Assim, um melhor conhecimento sobre a variabilidade da precipitação regional também é condizente a uma maior compreensão da variabilidade hidrológica na bacia Amazônica, especialmente os episódios das enchentes, como a ocorrida em 2009 (QUINTAIROS, 2012) e das secas, como a de 2005 (MARENGO et al., 2008).

Os modelos hidrológicos podem ser considerados como uma ferramenta desenvolvida para representar o comportamento da bacia hidrográfica, prever condições futuras e/ou simular situações hipotéticas no intuito de avaliar impactos de alterações (OLIVEIRA, 2003). No que diz respeito aos impactos socioeconômicos dessas alterações (cheias, por exemplo) os acidentes e desastres naturais normalmente afetam as parcelas menos favorecidas da população com baixa condição socioeconômica (RECKZIEGEL; ROBAINA; OLIVEIRA, 2005) e com elevada vulnerabilidade social (CUTTER; BORUFF; SHIRLEY, 2003).

¹ Uma das mais importantes bacias do planeta, em termos de área de drenagem e vazão, tem mais de 6.000.000 km² de extensão com cerca de 5 km de largura, e de 30 a 40 metros profundidade em média (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

Em se tratando de simulação hidrológica, esta é limitada pela heterogeneidade física das bacias e dos processos envolvidos, o que muito tem contribuído para o desenvolvimento de um grande número de modelos. Levando em consideração a disponibilidade de dados, incertezas hidrológicas, entre outros, os modelos podem ser desenvolvidos para previsão ou apenas para simulações. A previsão de vazão ou previsão hidrológica (previsão de uma variável hidrológica envolve a estimativa antecipada num determinado período de tempo desta variável) num sistema hídrico pode ser de curto prazo, i.e., numa escala de horas até alguns dias de antecedência, e de longo prazo, i.e., de semanas até seis meses (GEORGAKAKOS; KRYSZTOFOWICZ, 2001).

O desenvolvimento de modelos hidrológicos de previsão é importante como forma de prevenir a sociedade em face aos impactos causados pelos desastres naturais, como as cheias do rio Xingu propiciado pelo aumento na pluviometria. Este rio é uma sub-bacia da margem direita do rio Amazonas localizada nos estados do Mato Grosso e Pará. O Rio Xingu destaca-se pelo alto potencial hidrelétrico devido a seu grande volume de água e relevo acidentado, propiciando assim condições ideais para geração de energia e, por isso, está no centro das controvérsias sobre o processo de tomada de decisão para grandes projetos (Hidrelétrica de Belo Monte) devido à magnitude e à natureza dos seus impactos (FEARNSIDE, 2006).

A variabilidade no comportamento do regime fluviométrico observada em Altamira (SUPERINTENDENCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA, 2014) indica que há necessidade de atuar de forma mais efetiva no monitoramento das cheias, pois é fato que não se pode impedir que um desastre natural aconteça, mas pode-se minimizar os impactos de um fenômeno adverso, com medidas de prevenção e gestão de riscos naturais. Nos municípios do Estado do Pará, os principais desastres naturais identificados são as enchentes, as inundações, as enxurradas e a erosão fluvial. As enchentes e inundações são frequentes principalmente no período conhecido como “inverno amazônico” (dezembro a maio) que é o verão/outono do hemisfério sul.

As enchentes nas regiões urbanas ocorrem devido ao crescimento descontrolado, a carência/ausência de infraestrutura, a pobreza, e a fraca estrutura política. Isto aliado à ocupação de espaços expostos às ameaças naturais, geram ambientes de intensa vulnerabilidade social e um enfraquecimento da capacidade de resposta da sociedade às emergências (QUINTAIROS, 2012).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar a caracterização do regime hidrológico e climatológico do Rio Xingu, incluindo a elaboração de um modelo estatístico de previsão do nível do rio (cota) no município de Altamira. Além disso, investiga-se o grau de vulnerabilidade social associada às condições de cheias no município de Altamira-Pará.

Os objetivos específicos são:

- a) Obter a caracterização do regime hidrológico e climatológico do Rio Xingu com análises dos mecanismos dinâmicos, distribuição da precipitação do Rio Xingu e determinação do período de cheia sazonal do rio Xingu na região de Altamira;
- b) Desenvolver, validar e avaliar um modelo estatístico de previsão da cota do Rio Xingu em Altamira-Pa;
- c) Classificar a vulnerabilidade social do município de Altamira através do IVS (Índice de Vulnerabilidade Social).

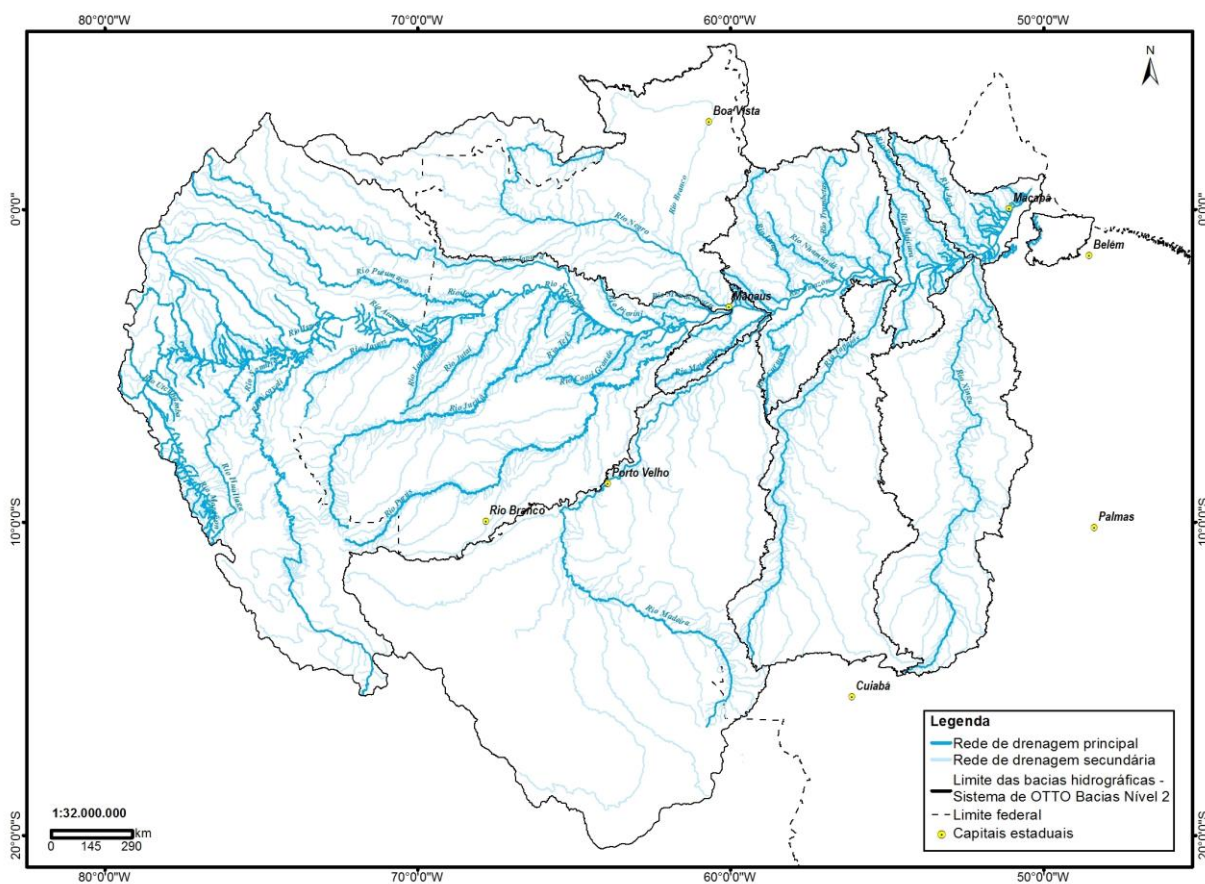
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Modelagem hidrológica

Tucci (1998) define modelo hidrológico como uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados.

A bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam numa única saída (Figura 1). A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia, ou então, pode ser subdividida segundo diversas abordagens a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas (RENNÓ; SOARES, 2000).

Figura 1 - Representação da bacia hidrográfica Amazônica e suas sub-bacias componentes.



Fonte: Elaborado pelo Lemha (2013)

Segundo Tucci (1998), os modelos hidrológicos podem ser classificados por diferentes aspectos tais como: tipos de variáveis utilizadas no modelo (estocástico ou determinístico), tipo de relação entre essas variáveis (empírico ou conceitual), a forma

de representar os dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos) e a existência de dependência temporal (estacionário ou dinâmico).

Segundo Linsley (1981), Righetto (1998) e Tucci (1998) os modelos podem ser classificados como:

- **Concentrado ou Distribuído**

O modelo concentrado não leva em consideração a variabilidade espacial da bacia. Por outro lado, o modelo é distribuído quando seus parâmetros e variáveis dependem do espaço e/ou do tempo;

- **Estocástico ou Determinístico**

Estocástico quando as formulações utilizadas na descrição do fenômeno contêm variáveis aleatórias que seguem alguma distribuição probabilística. Determinístico quando as equações utilizadas para descrever as fases do ciclo hidrológico não contêm componentes aleatórias;

- **Conceitual ou Empírico**

O modelo é conceitual quando leva em consideração conceitos físicos relacionados aos processos hidrológicos. Empírico quando utilizam funções que não tem relação com os processos físicos envolvidos, sendo os resultados obtidos através do ajuste de funções matemáticas que explicam os processos envolvidos.

Nas últimas décadas, um modelo que tem se destacado nos trabalhos científicos é o modelo estatístico por se tratar de uma ferramenta relativamente mais simples de se desenvolver, em virtude do mesmo necessitar apenas das séries temporais de dados e programas estatísticos computacionais de fácil aquisição (MARINHO FILHO et al., 2012).

Vários são os métodos estatísticos usados em artigos científicos. No presente estudo iremos aplicar a análise de regressão simples e múltipla. Segundo Levine et al. (2008) a análise de regressão possibilita o desenvolvimento de um modelo para prever os valores de uma variável numérica com base no valor de outra ou outras variáveis. Assim, a variável que se deseja prever é chamada de variável dependente e as variáveis para fazer a previsão são chamadas de variáveis explicativas.

Naghattini e Pinto (2007) explica que a forma funcional, ou modelo de regressão, que relaciona duas variáveis, deve ser capaz de explicar uma parcela significativa da variação conjunta de ambas variáveis. Contudo, pela natureza das dependências estatísticas, parte da variação pode permanecer inexplicada, devendo ser atribuída ao acaso. A análise de regressão pode ser simples ou múltipla. A regressão

simples usa uma única variável explicativa para prever o valor da variável dependente, enquanto a regressão múltipla utiliza duas ou mais variáveis explicativas para prever o valor de uma variável dependente (LEVINE et al., 2008).

O método de regressão linear simples e múltipla é utilizado em estudos climáticos (HASTENRATH; GREISCHAR, 1993; PEZZI; UBARANA; REPELLI, 2000) e também hidrológicos (SANTOS, 2008; ZHAO et al., 2011).

3.2 Enchente e vulnerabilidade social

Segundo a Defesa Civil, existe diferença nos conceitos de enchente, inundação e alagamento. Esses conceitos são mostrados na Figura 2.

Figura 2 - Perfil esquemático dos processos de enchente, inundação e alagamento, com seus respectivos conceitos.



Fonte: São Bernardo do Campo – SP- Defesa Civil.

Os eventos de cheias na Amazônia são, em geral, registrados entre os meses de março e julho de cada ano, liderados pelo regime do rio principal. No entanto, é preciso considerar que a cheia nos tributários pode ocorrer em períodos distintos segundo o seu regime específico e são fenômenos naturais e cada vez mais frequentes (FILIZOLA et al., 2006). Em 2009, por exemplo, devido às enchentes, vários municípios paraenses foram decretados em situação de emergência diante dos aspectos climáticos (alta taxa de precipitação), evidenciado por numerosos problemas com as fortes chuvas, enxurradas e cheias de rios (QUINTAIROS, 2012).

Segundo Tucci (2003) as enchentes naturais em áreas ribeirinhas atingem a população que ocupa o leito maior dos rios. Essas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos

extremos, em média, com tempo de retorno da ordem de dois anos. Este tipo de enchente é decorrência de processo natural do ciclo hidrológico. Quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco, os impactos são frequentes.

De acordo com Filizola et al. (2006), no que diz respeito aos impactos socioeconômicos das cheias, os maiores problemas relatados são decorrentes das situações de calamidade pública declarada em função de áreas alagadas, agrícolas e urbanas, ocasionando perda de culturas e de vidas por afogamento.

Os acidentes e desastres naturais normalmente afetam as parcelas menos favorecidas da população (Figura 3), pois, não dispendo de capital financeiro para se estabelecer em um lugar seguro para habitar, veem-se obrigadas a se estabelecer em áreas ambientalmente de intensa vulnerabilidade social (planícies de inundação, áreas deprimidas, encostas íngremes). Além disso, carecem de recursos ou informações técnicas que permitam modificar o ambiente para minimizar ou mesmo evitar a ocorrência de algum acidente (RECKZIEGEL et al., 2005).

Figura 3 - Remoção das famílias atingidas pela enchente do rio Xingu, no município de Altamira-PA, em 2012, ação praticada pelo exército brasileiro do 51º BIS.



Fonte: ANAPU (2013)

A vulnerabilidade social é o grau estimado de perda ou danos materiais decorrentes de um cenário de risco associado a uma determinada ameaça ou processo com potencial destrutivo de ocorrer com dada severidade e permanência, e em que os fatores sociais influenciam ou moldam a suscetibilidade dos vários grupos e também regem a sua capacidade de resposta (CUTTER, 1996; 2003).

De acordo com Katzman (2001), as situações de vulnerabilidade social devem ser analisadas a partir da existência ou não, por parte dos indivíduos ou das famílias, de

ativos disponíveis e capazes de enfrentar determinadas situações de risco. Logo, a vulnerabilidade de um indivíduo, família ou grupos sociais refere-se à maior ou menor capacidade de controlar as forças que afetam seu bem-estar, ou seja, a posse ou controle de ativos que constituem os recursos requeridos para o aproveitamento das oportunidades propiciadas pelo Estado, mercado ou sociedade.

Katzman e Filgueira (2006) classificam estes ativos como segue: (i) *físicos*, que envolveriam todos os meios essenciais para a busca de bem-estar. Estes poderiam ainda ser divididos em capital físico propriamente dito (terra, animais, máquinas, moradia, bens duráveis relevantes para a reprodução social); ou capital financeiro, cujas características seriam a alta liquidez e multifuncionalidade, envolvendo poupança e crédito, além de formas de seguro e proteção; (ii) *humanos*, que incluiriam o trabalho como ativo principal e o valor agregado ao mesmo pelos investimentos em saúde e educação, os quais implicariam em maior ou menor capacidade física para o trabalho, qualificação, etc; (iii) *sociais*, que incluiriam as redes de reciprocidade, confiança, contatos e acesso à informação. Assim, a condição de vulnerabilidade deveria considerar a situação das pessoas a partir dos seguintes elementos: a inserção e estabilidade no mercado de trabalho; a debilidade de suas relações sociais e, por fim, o grau de regularidade e de qualidade de acesso aos serviços públicos ou outras formas de proteção social.

Para Moser (1998) a vulnerabilidade varia de forma inversa à quantidade de ativos, pois para evitar ou reduzir vulnerabilidade, são importantes não apenas os recursos disponíveis, mas também a capacidade de administrar os ativos de forma a transformá-los em renda, alimentos ou outras necessidades básicas.

Dentro deste contexto, Cutter (2003) conclui que há um consenso geral dentro da comunidade das ciências sociais sobre alguns dos principais fatores que influenciam a vulnerabilidade social. Estes incluem: falta de acesso a recursos (incluindo informação, conhecimento e tecnologia); acesso limitado ao poder e representação política, capital social, incluindo as redes sociais e conexões; crenças e costumes; mercado imobiliário e idade; indivíduos frágeis e fisicamente limitados; tipo e densidade da infraestrutura e estilo de vida. E as características que influenciam a vulnerabilidade social mais frequentemente encontradas na literatura são: idade (crianças e idosos), sexo, raça e condição socioeconômica (escolaridade, por exemplo). Tais fatores e características estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Fatores e Características que influenciam na Vulnerabilidade Social.

Características	Descrição
Mulheres	As mulheres podem ter um tempo mais difícil durante a recuperação do que os homens, muitas vezes devido ao setor específico de emprego, salários mais baixos, e as responsabilidades de assistência à família.
Raça e etnia	Raça e etnia impõem barreiras linguísticas e culturais que afetam o acesso pós-desastre a financiamento e locais residenciais em áreas de alto risco
Extremos de idade	Extremos de idade do espectro etário afetam o movimento de perigo. Pais perdem tempo e dinheiro cuidando de crianças, quando creches são afetadas; idosos podem ter restrições de mobilidade ou preocupações de mobilidade, aumentando a carga de cuidados e falta de resiliência.
Educação	A educação está ligada ao nível socioeconômico, com maior nível educacional, resultando em ganhos maiores da vida. Baixa escolaridade limita a capacidade de compreender a informação de advertência e acesso a informações de recuperação
Nível Socioeconômico	A questão socioeconômica deve-se à capacidade de absorver as perdas e aumentar a resistência aos impactos de perigo. Riqueza permite que as comunidades possam absorver e se recuperar de perdas mais rapidamente devido a programas de seguros, redes de segurança social e direito.
Fatores	Descrição
Desenvolvimento comercial e industrial	O valor, qualidade e densidade de edifícios comerciais e industriais fornecem um indicador do estado de saúde econômica de uma comunidade, as perdas potenciais na comunidade empresarial, e questões de longo prazo com a recuperação após um desastre.
Perda de emprego	A perda potencial de trabalho na sequência de um desastre exacerba o número de trabalhadores desempregados na comunidade, contribuindo para uma recuperação mais lenta do desastre.
Rural / urbano	Residentes rurais podem ser mais vulneráveis devido aos rendimentos mais baixos e mais dependentes de economias de recursos de base local de extração (por exemplo, a agricultura, pesca). Áreas de alta densidade (urbanos) complicam a evacuação.
Infraestrutura	A perda de infraestrutura pode constituir um encargo financeiro insuperável em pequenas comunidades que não dispõem de recursos financeiros para a reconstrução
Ocupação	Algumas ocupações, especialmente aquelas envolvendo a extração de recursos, podem ser severamente afetadas por um evento de perigo. Pescador autônomo sofre quando seus meios de produção são perdidos e pode não ter o capital necessário para retomar o trabalho em tempo hábil e, assim, vai procurar um emprego alternativo (limpeza e jardinagem).
Dependência social	Aquelas pessoas que são totalmente dependentes dos serviços sociais para a sobrevivência já são economicamente e socialmente marginalizados e necessitam de apoio adicional no período pós-desastre.
Populações com necessidades especiais	Populações com necessidades especiais (populações enfermas, institucionalizada, transitória, sem-teto), enquanto difíceis de identificar e medir, são desproporcionalmente afetadas durante desastres e, por causa de sua invisibilidade nas comunidades, são principalmente ignorados durante a recuperação.

Fonte: Cutter, Boruff e Shirley (2001). Adaptado pela autora.

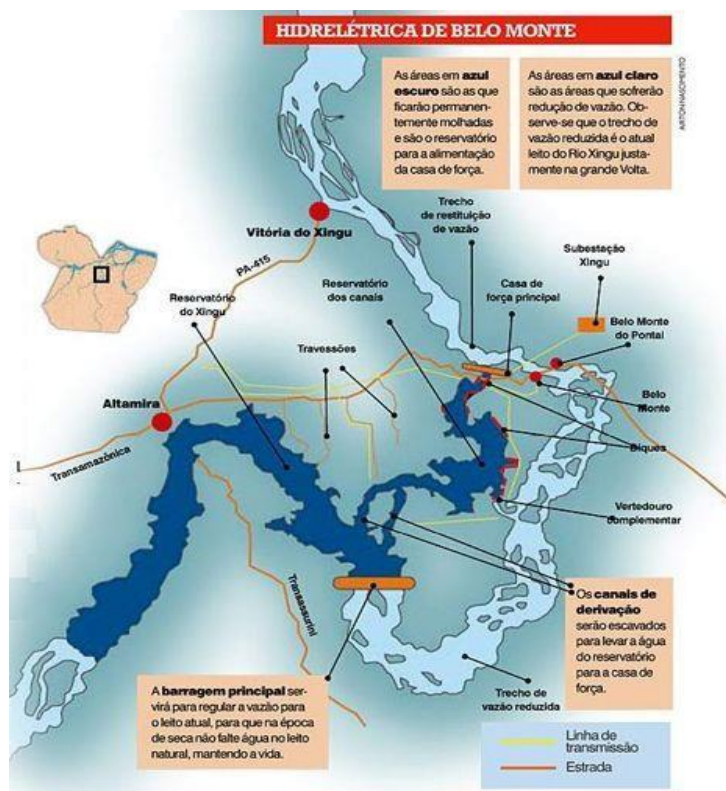
3.3 Impactos decorrentes da implantação da usina de Belo Monte

O Aproveitamento Hidrelétrico, denominado AHE Belo Monte, implantado na Volta Grande do rio Xingu, afluente pela margem direita do rio Amazonas, vem sendo objeto de polêmica há mais de 25 anos. O plano original para o rio Xingu compunha um total de seis barragens (Jarina, Kokraimoro, Ipixuna, Iriri, Babaquara e Belo Monte), a

maior sendo a hidrelétrica de Babaquara ou Altamira com 6140 km², extensão duas vezes maior que Balbina ou Tucuruí (FEARNSIDE, 2006). A partir de 1999 o projeto foi rebatizado pela segunda vez, passando a ser chamado CHBM - Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, somente com as obras de uma usina na Volta Grande (SEVÁ FILHO, 2005).

As obras de Belo Monte tiveram início em 2011 e consistem de uma barragem principal, um reservatório (abrangendo parcialmente a calha do rio Xingu e parcela dos terrenos da margem esquerda deste curso d'água, na altura do trecho denominado Volta Grande, uma área de corredeiras de aproximadamente 386 km²) e duas casas de força, a principal na localidade de Belo Monte e uma casa de força complementar a ser posicionada na barragem principal (Figura 4) (ELETROBRAS, 2009).

Figura 4 - Ilustração da Hidrelétrica de Belo Monte.



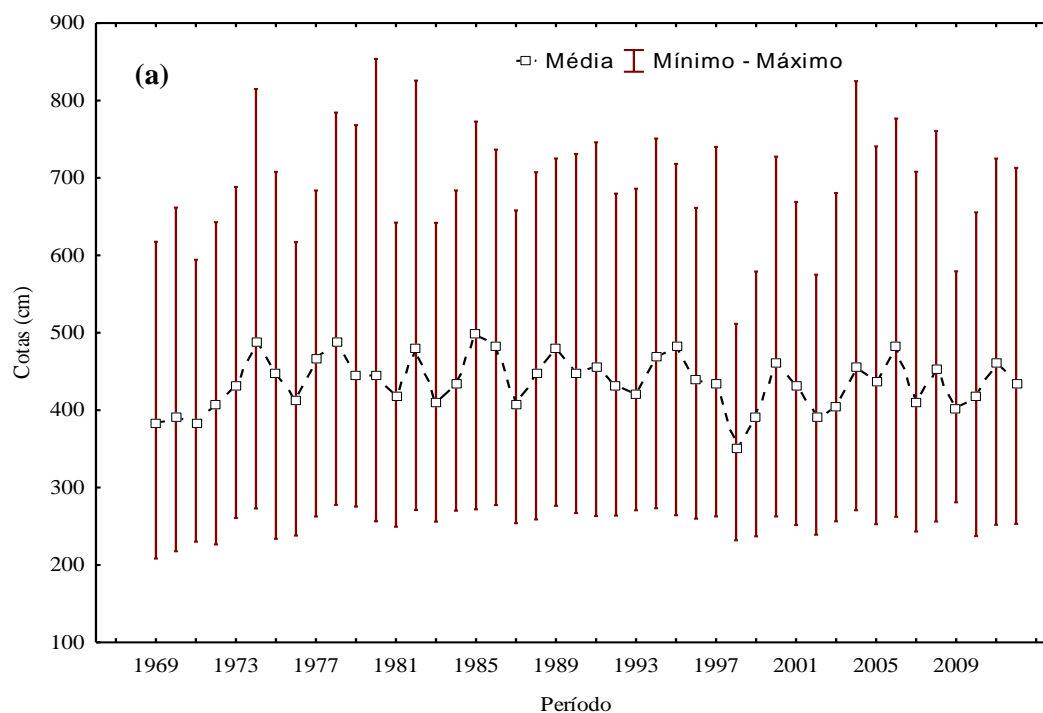
Fonte: Jornal O Liberal (2010).

Nesse contexto, destaca-se a questão da variação de nível do rio Xingu na cidade de Altamira, esperada com a implantação da barragem. O outorgado pela Agência Nacional de Águas está na regularização do nível máximo nas cotas de cheias (ANA. Resolução n. 48, de 28 de fevereiro de 2011²). A sazonalidade da variação de nível do

² Art. 1º, parágrafos

rio Xingu, no período analisado (1969 a 2012, 44 anos), apresentou desníveis que variaram de 150 a 250 cm aproximadamente (Figura 5), o que implica em alagamento da área de várzea do rio Xingu em Altamira, já amplamente ocupada por habitações e atividades produtivas (incluindo os afluentes principais próximos à área urbana), vinculadas a extração de argila e areia (Figura 6).

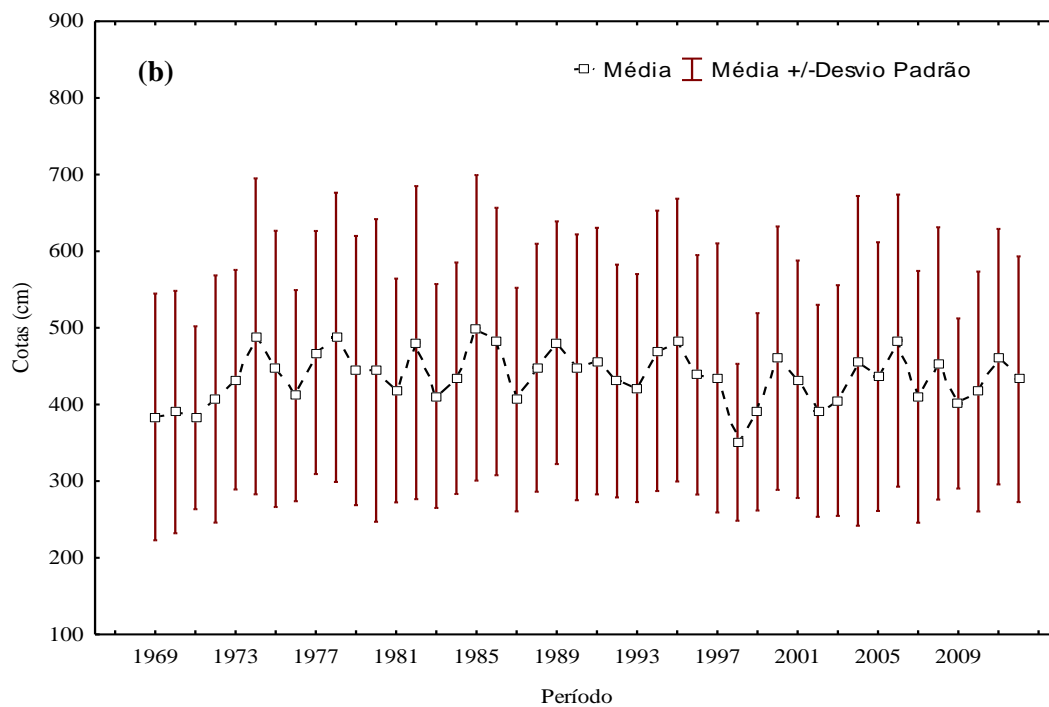
Figura 5 - (a) Máximos e mínimos e média; (b) Desvio-padrão e média; das cotas observadas na variação de nível do rio Xingu em Altamira durante o período de 44 anos (1969 a 2012).



Fonte: Elaborado pela autora.

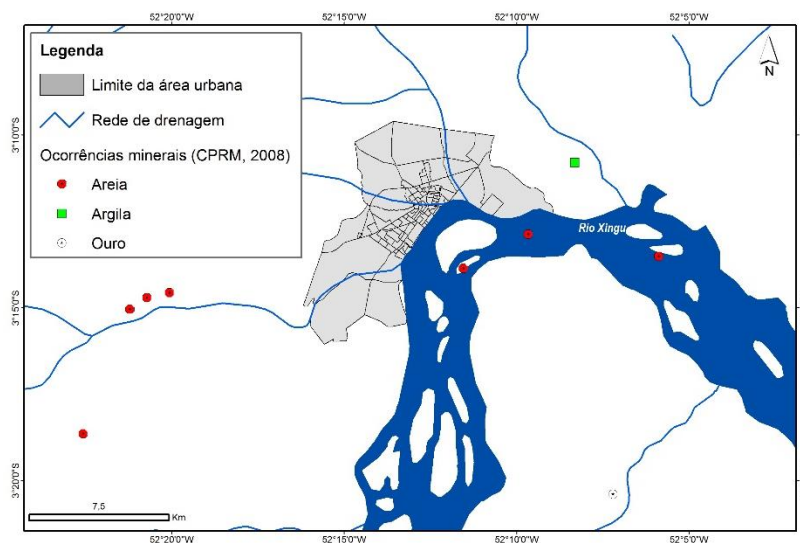
§5° As áreas urbanas e localidades deverão ser relocadas ou protegidas contra cheias com tempo de recorrência de 50 anos, considerando cheias desta magnitude simultâneas no rio Xingu e afluentes, notadamente os rios que cortam a área urbana de Altamira.

§6° A infra estrutura viária deverá ser relocada ou protegida contra cheias com tempo de recorrência de 100 anos, considerando cheias desta magnitude simultâneas no rio Xingu e afluentes, notadamente os rios que cortam a área urbana de Altamira.



Fonte: Elaborado pela autora.

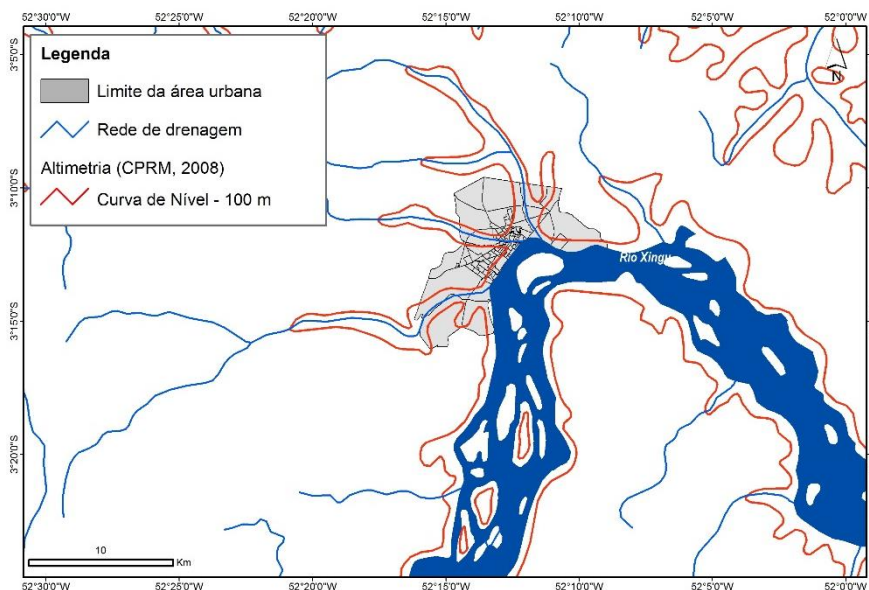
Figura 6 - Localização das áreas de ocorrência mineral, na cidade de Altamira e proximidades.



Fonte: Base de dados de CPRM (2008). Elaborado na UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA, 2014).

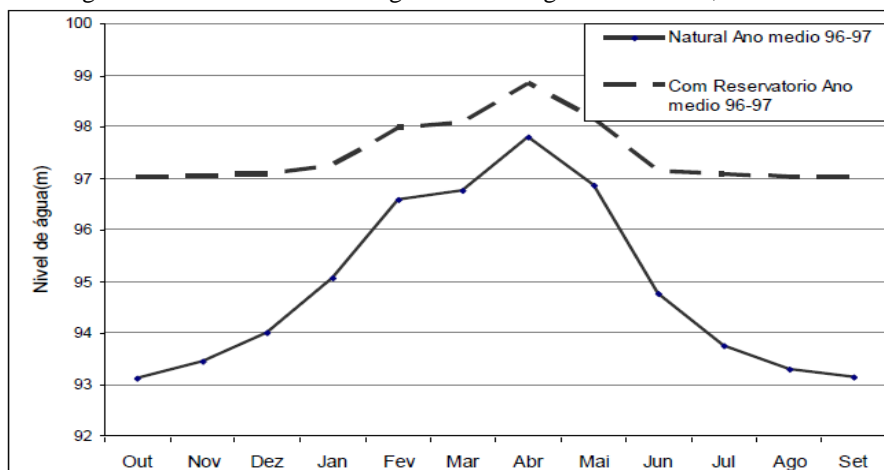
Com o aumento do nível d'água, em Altamira poderão ocorrer inundações até a cota 100, em função do reservatório do Xingu (Figura 7 e 8). A Figura 8 mostra o aumento da cota para um ano médio, na qual se percebe um incremento considerável que fará para um ano acima do normal (ACSELRAD; MELLO, 2009).

Figura 7 - Limite da cota de 100 m na cidade de Altamira.



Fonte: Base de dados de CPRM (2008). Elaborado na UFPA (2014)

Figura 8 - Níveis sazonais de água no rio Xingu em Altamira, ano médio.



Fonte: Magalhães e Hernandez (2009) com dados do EIA (2008).

De acordo com o monitoramento semanal reportado através do Boletim Hidroclimático nº 1278/2014 da SUDAM, a cota do rio Xingu se aproximou de 8 m, no mês de abril do ano corrente quando a cota de alerta é 6 m. Com esse aumento, as famílias enfrentaram grandes problemas de enchentes. Os efeitos adversos das cheias sazonais nas comunidades ribeirinhas estão dentre as principais consequências sociais causadas pela alteração do regime hidrológico (vazão reduzida em uma área e aumento da cota em outra) que podem ser associadas ao efeito de barragens.

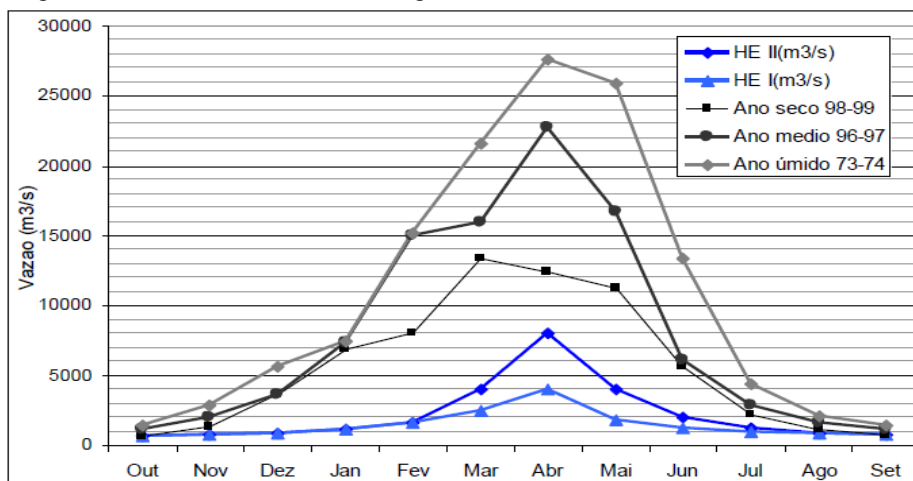
Em termos de vazões, os valores medidos em Altamira apresentam médias mensais com valores mínimos entre 450 a 500 m³/s em setembro e outubro, sendo que

as médias mensais altas ficam acima de 25 mil m³/s e nos “picos” de cheia registrados superam 30 mil m³/s (SEVÁ FILHO, 2005).

Molina (2009) expõe que no trecho de 100 km entre o sitio da barragem (Pimental) e Belo Monte os níveis da água do rio Xingu e do lençol freático baixarão como consequência da redução das vazões. Por isso é chamado Trecho de Vazão Reduzida (TVR). A queda dos níveis ocorrerá também no trecho final de vários tributários incluindo o rio Bacajá, principal tributário do Xingu no TVR, mesmo que este rio não sofra nenhuma redução de vazão.

Para mitigar os impactos da redução da vazão, foi proposto pelo EIA um Hidrograma Ecológico (HE), que segundo os consultores permita que as planícies aluviais sejam molhadas ou, pelo menos, que as raízes das plantas da Floresta Aluvial sofram os efeitos da umidade. Definiram-se dois hidrogramas (HE I com vazão máxima de 4000 m³/s e HE II com vazão máxima de 8000 m³/s) a ser aplicados alternadamente (Figura 9). A ideia seria de que o ecossistema do TVR poderia resistir um ano com o HE I e recuperar-se no ano seguinte com o HE II e que na seca, serão garantidos valores mínimos de vazão que permitam a navegação (MOLINA, 2009).

Figura 9 - Vazões mensais do rio Xingu.



Fonte: RIMA (2009)

Porém, o EIA não inclui uma análise da diminuição dos níveis de água do rio Xingu e de sua flutuação estacional, como consequência da redução da vazão e que o Hidrograma Ecológico proposto está baseado em critérios econômicos (geração de energia). De acordo com Fearnside (2009), está previsto que, em cada ano, o nível da água em Babaquara (recentemente nomeada de Altamira), varie em 23 m, expondo, assim, repetidamente uma área de 3.580 km² (a zona de deplecionamento – quando o nível mínimo operacional normal é atingido).

No baixo Xingu a cota do rio obedece ao regime do Amazonas que está próximo. Este fenômeno ocorre nos seus principais afluentes, formando os vales afogados (SIOLI, 1991). A liberação repentina de uma maior quantidade de água coincidindo com o horário de maré alta na área do tabuleiro certamente teria consequências, embora isso seja pouco provável no período entre outubro e dezembro, quando a vazão do Xingu está reduzida (SANTOS, 2009).

A Resolução n. 48, de 28 de fevereiro de 2011 estabelece em seu Art. 2º que a disponibilidade hídrica para geração de energia corresponde às vazões naturais afluentes (baseadas em uma série de 1931 a 2007, 76 anos), subtraídas das vazões médias destinadas ao atendimento de outros usos consuntivos a montante e das vazões destinadas à manutenção de um hidrograma de vazões no trecho de vazão reduzida que variam de máximos de 1.800 a 4.000 m³/s (março-abril-maio) a um mínimo de 700 m³/s (outubro), média mensal.

Um dos objetivos desta pesquisa inclui o desenvolvimento de um modelo estatístico de previsão de cheia sazonal para o município de Altamira. Como se mostrou nesta contextualização, o município após a construção da hidrelétrica de Belo Monte terá uma manutenção da cota de cheia. Este modelo poderá ser adotado na avaliação da resposta do represamento na cidade de Altamira, identificando quando os níveis previstos (que coincidiriam com as máximas do período) forem ultrapassados em função da gestão do reservatório.

O modelo utilizado é empírico (linear), pois em sua formação não utiliza equações físicas que descrevem os processos não lineares do ciclo hidrológico. Sendo assim, qualquer alteração que ocorra nas características da bacia não alterará o modelo, já que este utiliza somente as variáveis precipitação e Temperatura da Superfície do Mar (TSM) como variáveis explicativas. Porém, em uma situação hipotética de ocorrência, por exemplo, de um evento forte do fenômeno La Niña (aumento considerável de chuva sobre a Amazônia e consequentemente aumento da cota dos rios da bacia Amazônica) através do modelo poder-se-á prever a cota de cheia e assim alertar os órgãos competentes.

Além dos efeitos que podem ser associados à variação de nível, podem ser identificados outros elementos que direta ou indiretamente são decorrentes da implantação tanto da infraestrutura do reservatório, quanto das consequências do empreendimento para a região.

Dentre os fatores associados aos impactos no meio físico-biótico com a implantação do reservatório destaca-se: que a formação de um reservatório aumenta a

pressão hidrostática sobre as nascentes situada ao longo das margens do rio e nos rios que são represados, o que pode levar a alterações na alimentação natural e drenagem de aquíferos (MULLER, 1996); o desmatamento e aumento da erosão nas margens dos rios e igarapés; a eliminação do pulso de inundação; as mudanças na vazão do rio e alterações no ciclo hidrológico na Volta Grande; a perda de habitat e biodiversidade; a perda de conectividade e rotas de migração; e as mudanças na qualidade da água (SANTOS, 2009). As hidrelétricas têm uma grande emissão nos primeiros anos oriunda da morte das árvores, da decomposição subaquática do carbono do solo e das folhas da floresta original e a explosão de macrofitas nos primeiros anos devido à fertilidade maior da água (FÉLIX FILHO, 2013).

Os elementos de natureza social relacionados ao empreendimento são diversos e advém de seu histórico de mais de 20 anos de discussão na região (FEARNSIDE, 2006). Mesmo com a redução na quantidade de barragens o projeto foi rejeitado por um amplo movimento social que reuniu os povos indígenas do rio Xingu, ativistas ambientais, políticos da oposição ao governo brasileiro e pessoas de visibilidade internacional (BERMANN, 2012).

Dentre as principais discussões sobre os impactos negativos vinculados a usina está o inchaço populacional do município de Altamira, já que se deslocarão não somente aqueles que irão trabalhar no projeto, mas as pessoas à procura de emprego (Tabela 2); gerando externalidades ao governo local (SOUZA JÚNIOR; REID, 2010), como por exemplo, problemas na saúde, na educação, prostituição, criminalidade, construção de moradias em lugares de risco, entre outros. Destaca-se que de 2000 a 2009 enquanto que o Estado do Pará teve um crescimento populacional anual médio de 1,95% a região do Xingu obteve para o mesmo período um valor de 2,75%.

Tabela 2 - Projeção populacional para os municípios da área da bacia do rio Xingu.

Município	2009	2014	2020	2025	2030
Altamira	98.750	128.846	123.958	128.996	134.239
Anapu	20.421	25.753	25.194	26.218	27.284
Brasil Novo	19.754	24.519	24.177	25.159	26.182
Medicilândia	23.682	25.222	26.921	28.015	29.154
Pacajá	41.953	44.681	47.691	49.629	51.647
Placas	19.592	20.866	22.272	23.177	24.119
Porto de Moz	28.091	29.918	31.933	33.231	34.582
Senador José Porfírio	14.434	18.102	17.758	18.480	19.231
Uruará	59.881	63.775	68.071	70.838	73.717
Vitória Xingu	9.664	43.207	26.817	27.907	29.041
Total Xingu	336.222	424.889	414.791	431.650	449.195

Fonte: PARÁ (2010).

Em termos econômicos a implantação da UHE de Belo Monte, a pavimentação da rodovia Transamazônica e a construção da Linha de Transmissão Tucuruí - Belo Monte - Manaus transformarão a estrutura econômica regional, o que implica na necessidade de promover a regularização fundiária (90,8% do território estão sob jurisdição federal), para redução dos conflitos sobre a posse e propriedade da terra (PARÁ, 2010). Deve-se fomentar atividades presentes na região, tais como o setor agropecuário-extrativista, a atividade pesqueira (que é uma fonte de subsistência e renda muito importante para os indígenas e os ribeirinhos em geral) e a navegação. Os dois últimos estão entre as formas de utilização do rio Xingu, correspondendo respectivamente a 72,9% e 67,09% do total dos grupos domésticos (RIMA, 2009).

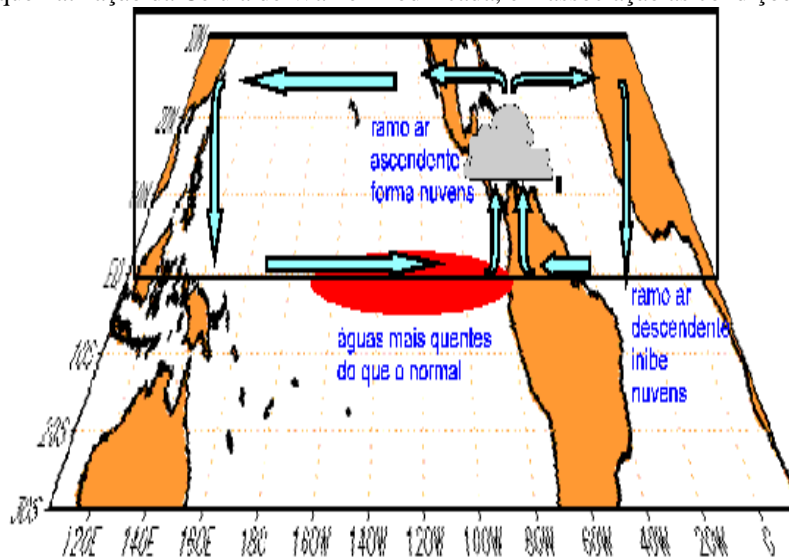
Segundo Fearnside (2006) a hidrelétrica de Belo Monte representaria o início de uma cadeia de represas no Xingu; o que incluiria o reservatório de Babaquara, com duas vezes a área inundada da barragem de Balbina. A incerteza quanto ao futuro e a grande quantidade de informações produzidas têm levado diversos setores sociais a especularem sobre os mais diversos impactos que a região sofreria a partir de Belo Monte (HALL; BRANFORD, 2012; FÉLIX FILHO, 2013; STICKLER et al, 2013). A região necessita de posicionamentos mais consistentes e que permitam a formulação de cenários reais, de modo que possam ser implantadas políticas públicas adequadas que gerenciem os efeitos de Belo Monte e condicionem quaisquer possibilidade de aproveitamento futuro a uma maior e melhor inserção social dos empreendimentos na região.

3.4 Influência de mecanismos climáticos na precipitação da Amazônia

A Amazônia desempenha um papel importante na circulação atmosférica global devido à dimensão continental da floresta tropical, com uma grande disponibilidade hídrica e de energia solar. A precipitação é um dos principais elementos climáticos na região, pois além de influenciar no comportamento de outros elementos como temperatura do ar, umidade relativa do ar e direção e velocidade do vento, é a que melhor caracteriza as variabilidades climáticas na região (FISCH; MARENGO; NOBRE et al., 1998). Com isso, SALATI et al. (1979) estudando a precipitação na região concluiu que ela é uma composição da quantidade de água evaporada localmente (evapotranspiração da cobertura florestal) adicionada de uma contribuição advinda do Oceano Atlântico.

As alterações provocadas na circulação geral da atmosfera contribuem para que os fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Pacífico Equatorial e o gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical modulam conjuntamente uma grande parte da variância interanual do clima sobre a América do Sul (LIEBMANN; MARENGO, 2001), como, por exemplo, a inibição de formação de nuvens convectivas na América do Sul provocadas pela célula de Walker em associação às condições de El Niño (Figura 10).

Figura 10 - Esquematisação da Célula de Walker modificada, em associação as condições de El Niño



Fonte: O FENÔMENO El Niño (1997).

Os Oceanos Pacífico e Atlântico tropical, adjacente à Amazônia, desempenham um papel importante na variabilidade climática interanual desta região. O modo de grande escala climática do Pacífico tropical, o chamado El Niño/Oscilação Sul (ENOS), onde o El-Niño (aquecimento anômalo das águas superficiais no Pacífico Leste) e uma componente atmosférica, a Oscilação Sul (OS) (flutuação inversa no campo de pressão entre as regiões da Alta Subtropical do Pacífico Sudeste e a Baixa Pressão da Indonésia) tem um ciclo, com o El Niño, se manifestando em uma fase quente, e La Niña no extremo oposto (KOUSKY; KAYANO; CAVALCANTI, 1984). As principais características atmosféricas e oceânicas associadas com eventos de El Niño são: águas superficiais mais quentes que o normal sobre o centro e leste do Pacífico tropical, ventos mais fracos do que o normal e pressão ao nível do mar (SLP - *Sea Level Pressure*) menor do que o normal no leste do Pacífico e maior do que o normal, no oeste do Pacífico (SOUZA et al., 2000).

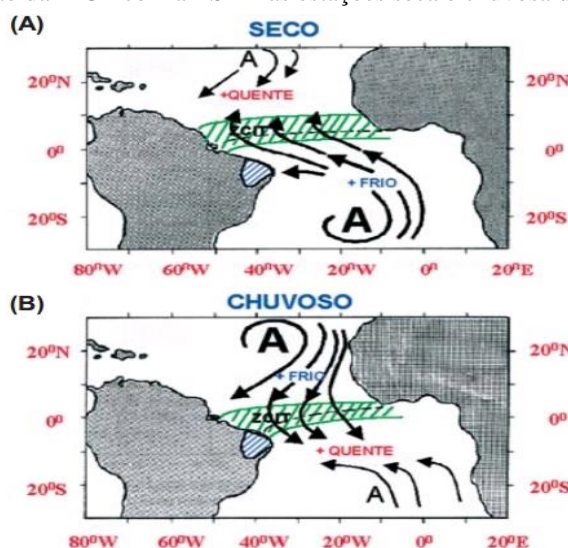
A fase quente do ENSO (El Niño) está associada a déficit, e a fria (La Niña) a excesso de precipitação na região. Souza et al. (2000) apresentaram resultados

observacionais sobre a influência dos oceanos Atlântico e Pacífico nas precipitações da Amazônia e constataram que durante os eventos La Niña e fase positiva do dipolo/ El Niño e fase negativa do dipolo, as precipitações ficavam acima/abaixo do normal no verão e outono austral. Fu et al. (2001) também mostraram que a variabilidade das precipitações na Amazônia Oriental é bastante influenciada pelos eventos de TSM do Pacífico no período do verão e outono e menos no período do inverno e primavera.

A combinação das circulações atmosféricas anômalas induzidas pelas distribuições espaciais de TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical afetam o posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico, influenciando desta forma a distribuição da pluviometria e de outros parâmetros sobre a bacia do Atlântico e norte da América do Sul (NOBRE; SHUKLA, 1996).

A ZCIT é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos. Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em diversas áreas da Região Tropical (Ásia, África e América do Sul). Na América do Sul essa banda de nebulosidade quando migra para sul influencia diretamente na pluviometria amazônica (Figura 11). Vários estudos mostram sua importância na climatologia da região, por exemplo, (SOUZA, 2004; MUZA; CARVALHO, 2006) que em seus estudos sobre a Amazônia oriental e centro sul, respectivamente mostraram que a atuação do fenômeno no local apresenta um máximo durante o outono austral.

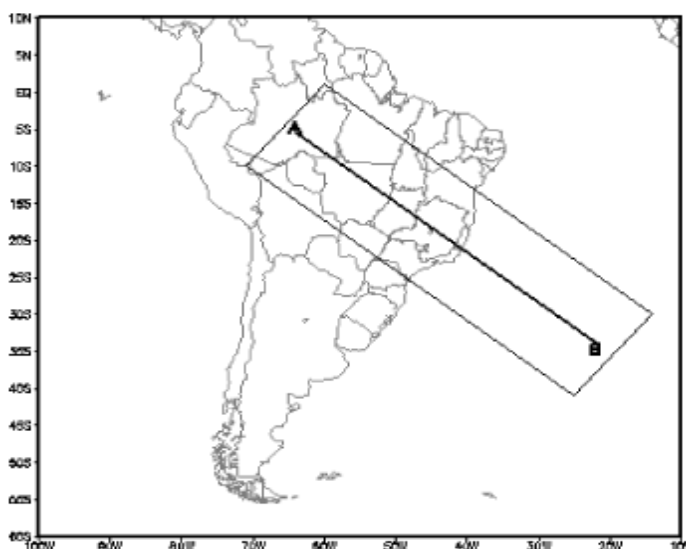
Figura 11 - Interação da ITCZ com a TSM nas estações seca e chuvosa da Amazônia



Fonte: Nobre e Molion (1986)

Outro mecanismo que tem uma característica marcante da precipitação sobre a Amazônia é a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), sendo definida como uma região de alta variabilidade convectiva posicionada a leste da Cordilheira dos Andes com orientação noroeste-sudeste, estendida desde o sul e leste da Amazônia até o Atlântico Sul (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004), como mostra a Figura 12. A ZCAS está relacionada à circulação monçônica sobre a América do Sul (MARENGO et al., 2001) e sua variabilidade espacial e temporal têm papel fundamental para a distribuição dos extremos de chuvas sobre essas regiões.

Figura 12 - Região média do posicionamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul



Fonte: Mendonça e Bonatti, 2008

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1 Características gerais

A bacia hidrográfica do rio Xingu, que abrange uma área com cerca de 509.000 km², estende-se desde a Região Centro-Oeste, no Cerrado, até a Região Norte. A Figura 13 ilustra a região de estudo que compreende o rio Xingu com aproximadamente 1.979 km de extensão, que começa no Estado do Mato Grosso e deságua na margem direita do Rio Amazonas, no Estado do Pará, estando situada entre os paralelos 1° e 15° de latitude sul e entre os meridianos 50° e 55° de longitude oeste.

Ao longo do rio Xingu se contabiliza 50 municípios, sendo 35 do Estado do Mato Grosso e 15 do Estado do Pará. No Pará, ocupa uma área de aproximadamente 314.427,790 km² que corresponde a 25,1% do Estado. Neste, o município que se destaca é Altamira (área utilizada na previsibilidade hidrológica desse estudo) situada no sudoeste do Estado do Pará, é o maior município do mundo com extensão de 161.445 km² com uma população de 99.075 pessoas de acordo com o Censo do IBGE 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013). A escolha dessa região deve-se também pela maior disponibilidade de dados fluviométricos, o que possibilita uma previsão mais significativa. Além do mais este município sofre com as enchentes, enfatizando a relevância do estudo de vulnerabilidade social.

As nascentes do rio Xingu são formadas pelos rios Culuene e Sete de Setembro, estes situados em altitudes da ordem de 500 m, na junção da Serra do Roncador com a Serra Formosa, no Estado do Mato Grosso.

O rio Xingu, é subdividido em três partes, que correspondem ao alto, médio e baixo curso do rio. Na parte mais meridional da bacia, os rios tem seu fluxo em seções pouco encaixadas, apresentando ocasionais desníveis localizados nos trechos de montante. No trecho médio superior, pode-se delimitar uma zona de transição, denotada pelo surgimento de taludes (terreno em declive) acentuados e bem definidos em certos pontos, intercalados com a presença, ainda dominante, de margens baixas.

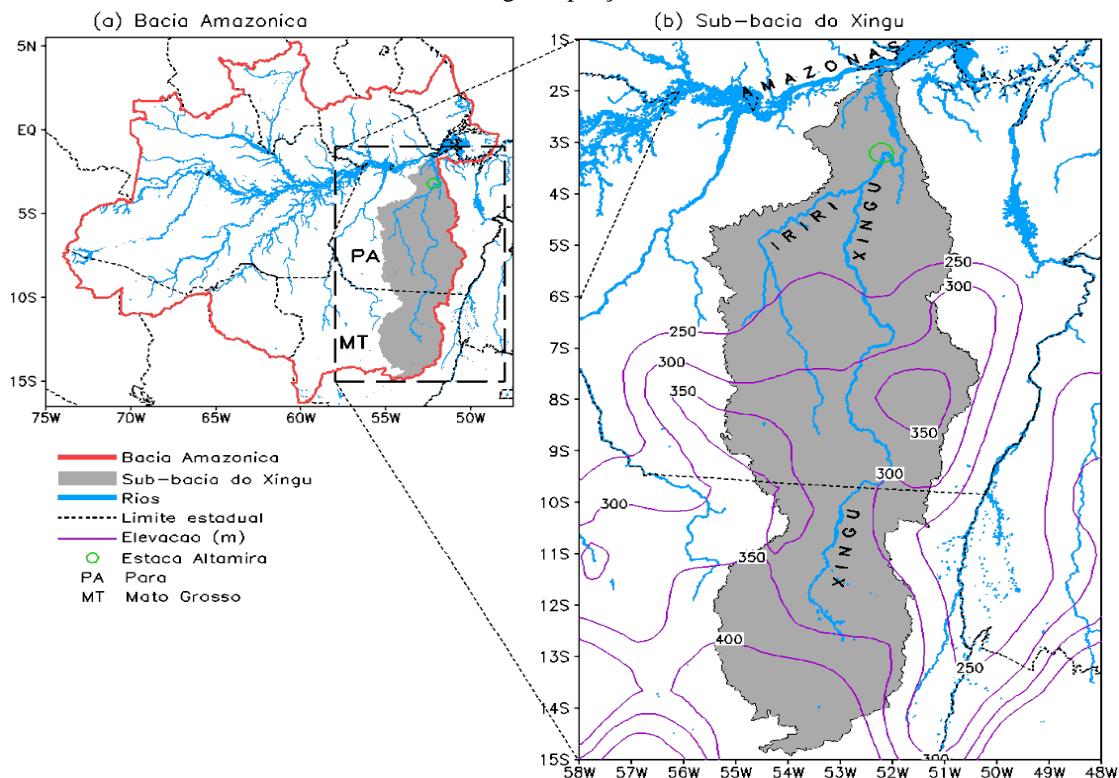
Na altura da cidade de São Félix do Xingu, com a topografia mais acentuada, o rio segue seu curso, vencendo pequenas corredeiras, formando vários braços e ilhas e apresentando grande variação de volume entre as épocas de cheia e de estiagem. Já no curso médio inferior, onde o rio Xingu recebe seu principal afluente, o rio Iriri, os

efeitos de retenção dos deflúvios nas baixadas marginais são mais acentuados, ocasionando retardo e atenuação das descargas, na época de enchente, e acréscimos nas vazões na época da vazante.

Nas imediações da cidade de Altamira, o rio Xingu sofre uma acentuada deflexão formando a chamada Volta Grande, de grandes corredeiras, com um desnível de 85m em 160 km. No fim desse trecho, à altura da localidade de Belo Monte, o rio se alarga consideravelmente, apresentando baixa declividade até a sua foz e sofrendo, inclusive, efeitos de remanso provocados pelo rio Amazonas (BRASIL, 2003).

Essa região destaca-se pelo alto potencial hidrelétrico devido seu grande volume de água e relevo acidentado, propiciando condições ideais para geração de energia. E devido a esse grande potencial é que está sendo instalado o Aproveitamento Hidrelétrico, denominado AHE Belo Monte com potência instalada de 233,1 MW, contando com nove turbinas tipo bulbo, com potência unitária de 25,9 MW, implantada a 40 km rio abaixo, após a cidade de Altamira. O projeto inclui o desvio da maior parte do fluxo de água do rio Xingu, em um trecho de aproximadamente 100 quilômetros, conhecido como na Volta Grande do rio Xingu. Esta por sua vez sofrerá uma severa diminuição dos níveis de água no trecho seccionado do rio (BERMANN, 2012).

Figura 13 - Mapa (a) à esquerda: Domínio da Bacia Hidrográfica Amazônica brasileira (linhas vermelhas), linhas pontilhadas em preto mostrando toda a extensão da sub bacia do rio Xingu. Mapa (b) à direita: área de estudo sobre a sub-bacia do Xingu na porção oriental.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2 Processos e atributos do meio físico e ecossistemas terrestres

- Precipitação

A precipitação na bacia do rio Xingu varia de aproximadamente 1.500 mm nas nascentes (IVANAUSKAS; MONTEIRO; RODRIGUES, 2008) a 2.600 mm na proximidade da foz (NIMER, 1979, OLIVEIRA; AMARAL, 2004). Já a precipitação média anual na bacia é de 1.800 mm.

As condições climáticas do rio Xingu hidrográfica do rio Xingu apresentam diferenças que variam de sul para norte, e que se refletem também no regime hidrológico. No médio curso da região de São Felix do Xingu no Pará, o período de chuva corresponde aos meses de outubro a maio, e o período seco aos meses de junho a setembro. Na região de Altamira o período chuvoso ocorre entre dezembro e maio e o período seco de julho a novembro. No baixo curso, região de Porto de Moz, o período de chuva se dá nos meses de janeiro a julho, e o período seco entre agosto e dezembro (ELETROBRÁS, 2009).

Essa situação mostra uma marcha das chuvas de sul para norte, que se inicia em outubro (São Felix do Xingu) e se estende para norte, até julho (Porto de Moz), provocando um atraso de até dois meses no período chuvoso, o que favorece a ocorrência de grandes deflúvios nos trechos do médio e baixo curso do rio, que vão ocorrer entre fevereiro e abril em São Felix, e entre março e maio em Altamira (ELETROBRÁS, 2009).

- Temperatura do ar

Pela sua posição geográfica próxima ao Equador e pelas suas baixas altitudes, a bacia se caracteriza por um clima quente, ocorrendo de agosto a dezembro as temperaturas mais elevadas. Em contrapartida, nos meses mais frios, junho a julho, dificilmente a temperatura média fica abaixo dos 24 °C. Na região de Altamira e Porto de Moz, trecho inferior da bacia, a temperatura média durante o ano fica entre 25,4°C e 27,3°C, com mínimas em fevereiro e máximas em outubro (BRASIL, 2003).

Como indicador do trecho médio, tem-se a localidade de São Félix do Xingu. Nesta, em posição mais meridional e em altitude mais elevada que o trecho inferior, as médias mensais ficam entre 24,6°C (mínima em julho) e 25,4°C máxima em setembro (NIMER, 1979; OLIVEIRA FILHO; RATTER, 2000).

Para o trecho alto da bacia verifica-se que a temperatura média é de 25,2°C, com as mínimas ocorrendo em maio com valores em torno dos 24,4°C. As máximas geralmente ocorrem a partir de fevereiro com valores entre 27,0°C e 28°C.

- Umidade Relativa do ar

No trecho inferior da bacia, tanto na latitude de Porto de Moz quanto de Altamira, a curva da umidade relativa cresce a partir de novembro até abril-maio, variando de 83% a 89% e 79% a 88%, respectivamente. Entre junho e outubro ela reduz-se até 82% em Porto de Moz, e entre maio e outubro até 78% em Altamira. Caracterizando o trecho médio da bacia, São Félix do Xingu demonstra uma ligeira modificação na curva de umidade relativa em relação ao trecho inferior, apresentando máxima em janeiro (89%) e mínimas entre julho e agosto (81%). Já no trecho alto da bacia, a umidade relativa fica pouco abaixo do trecho médio, com máximas em janeiro/fevereiro (80% e 83%) e mínimas em agosto/setembro (60,7 e 64,5%) (ELETROBRÁS, 2009).

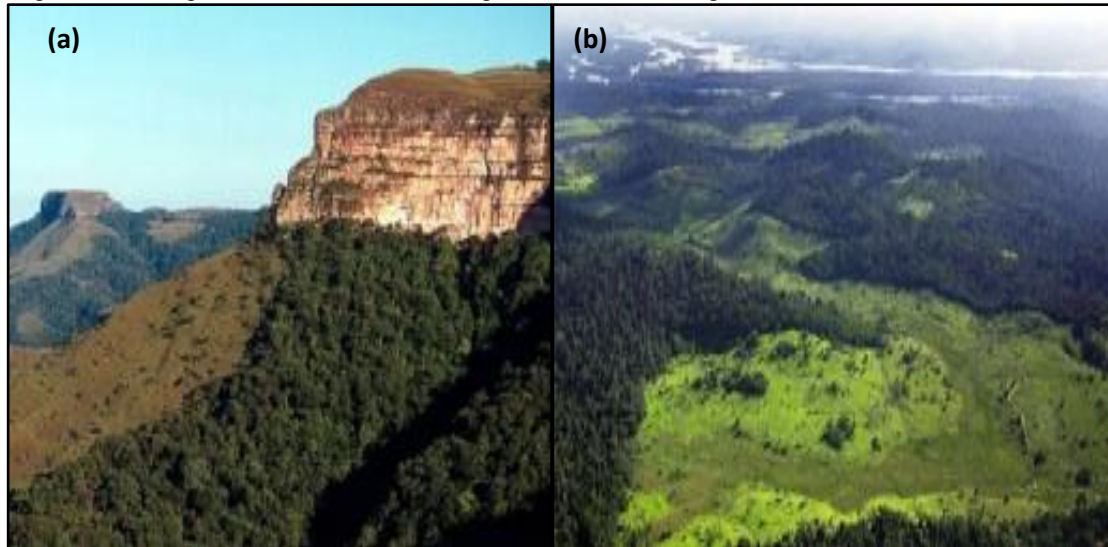
- Unidades de relevo e tipos de terrenos

A bacia compreende dez grandes unidades de relevo, que foram diferenciadas com base nos dados do BRASIL (1981; 1982). De montante para jusante ocorrem: Planalto dos Guimarães / Alcantilados, Depressão do Alto Araguaia/ Tocantins, Depressão de Paranatinga, Planalto dos Parecis / Alto Xingu (Unidades de relevo que ocorrem no extremo sul da Bacia Hidrográfica do rio Xingu, Figura 14(a), e que abrigam as cabeceiras do rio Cululene, formador do rio Xingu), Depressão da Amazônia Meridional, Planaltos Residuais do Sul da Amazônia (Unidade de relevo do médio Xingu), Planalto Marginal do Amazonas, Depressão do Amazonas, Planície Fluvio-lagunar do Amazonas e Planícies Fluviais (Unidades de relevo do baixo Xingu, Figura 14(b)).

O rio Xingu e seus afluentes cortam rochas do embasamento cristalino, rochas sedimentares paleozóicas, mesozóicas e cenozóicas, que constituem unidades de diferentes idades. Condicionados pelos diferentes tipos de rochas e relevos ocorrem no rio Xingu: Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelo (de textura média, com solos profundos e de melhor drenagem, encontrados no alto Xingu), Argissolos

Vermelho-Amarelo, Argisolos Vermelhos, Neossolos (presente nas várzeas) Litólicos e Afloramentos Rochosos, Neossolos Quartzoareníticos, Plintossolo Pétrico e Gleissolos.

Figura 14 - Fotografia do relevo no alto Xingu (a) e no baixo Xingu (b)



Fonte: Friedlander (2014)

Fonte: Rossi (2013)

- Biota Terrestre

As características climáticas e fertilidade do solo, bem como a frequência de queimadas são fatores que atuam na distribuição das espécies (OLIVEIRA FILHO; JARENKOW; RODAL, 2006). O predomínio do clima quente e úmido, com sazonalidade bem marcada, que caracteriza a maior parte da bacia, determina que a área de estudo integre, em sua maior extensão, o bioma (ou domínio) Amazônico, o que responde pela grande expressão das áreas ocupadas por florestas ombrófilas (NIMER, 1979; OLIVEIRA; AMARAL, 2004)

No geral, a cobertura vegetal no rio Xingu é diferenciada nos seguintes tipos: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecidual e savana (cerrado). Embora essa bacia hidrográfica esteja predominantemente contida no bioma Amazônico, o gradiente de temperaturas e principalmente de pluviosidade, crescente em direção sul, determina feições vegetacionais mais secas em direção às nascentes de seus formadores, presentes no Estado de Mato Grosso (ELETROBRAS, 2009).

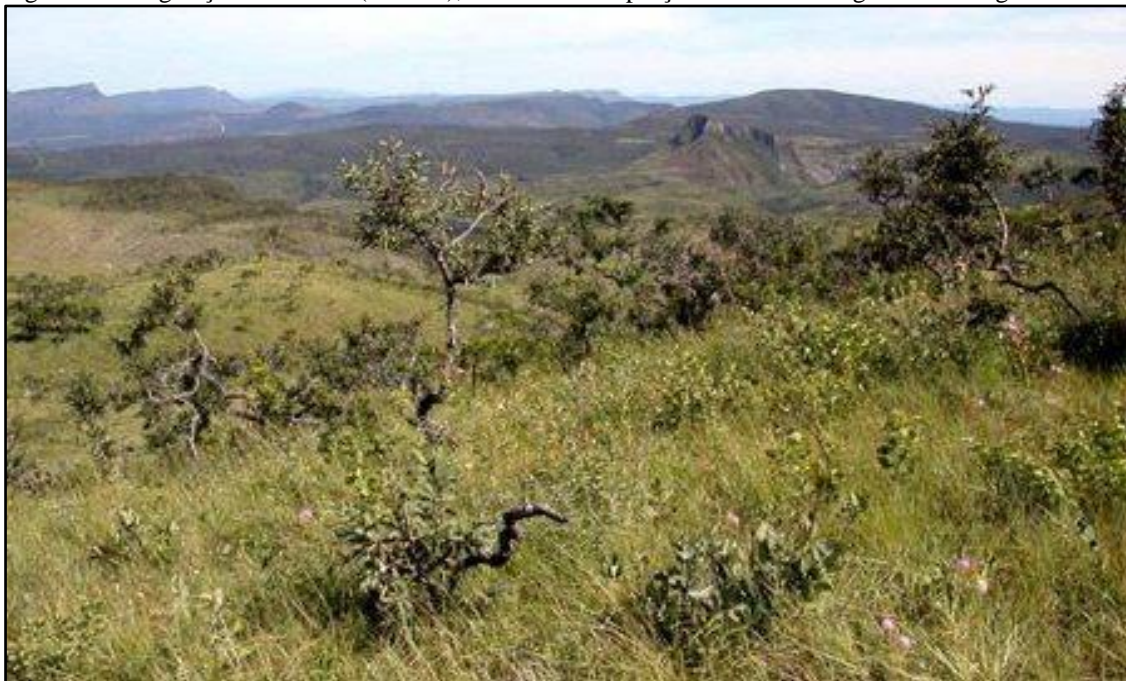
Dessa forma, em sua porção sul, o rio Xingu abarca parcialmente o bioma Cerrado ou ambientes savânicos (Figura 15). São ambientes floristicamente distintos e estruturalmente mais simples que as formações florestais, contendo uma flora em grande parte endêmica, com forte xeromorfismo. Por serem ambientes abertos, onde a

insolação incide até o nível do solo, apresentam, de modo geral, um componente herbáceo e arbustivo mais expressivo que o arbóreo, quando comparados às formações florestais. Oliveira Filho e Ratter (2000) concluíram que a luz solar é considerada um fator chave ao desenvolvimento das espécies dessa região.

Oliveira Filho e Ratter (2000) expõem que a faixa de transição entre o Cerrado e a Floresta Amazônica, apresenta alta similaridade com a flora amazônica em função da direção de quase todos os rios da região noroeste ser para o rio Amazonas, principalmente aqueles que fluem nas depressões periféricas.

De acordo com Salomão et al. (2007) a floresta ombrófila densa existente na porção norte do rio Xingu, é o tipo de vegetação predominante na Amazônia. Esse tipo de vegetação é o mais representativo na região de Belo Monte, seguido das florestas abertas com palmeiras e a floresta ombrófila aluvial, que são florestas sujeitas a inundações sazonais (Figura 16).

Figura 15 - Vegetação de savana (cerrado), encontrado na porção sul do rio Xingu do rio Xingu.



Fonte: INFOESCOLA

Figura 16 - Vegetação do rio Xingu (floresta ombrófila aluvial), nas proximidades da foz do rio Iriri, Altamira, Pará.



Fonte: ELETROBRÁS, 2009

- Uso do Solo

No que se refere ao uso do solo nos estabelecimentos agropecuários, que ocupam cerca de 51.779,5 km² ou 10,2% do território do rio Xingu, tem-se as seguintes categorias, definidas por meio de dados sócio econômicos, observações pontuais de campo e análise do padrão de imagem (ELETROBRAS, 2009):

Predomínio de culturas cíclicas: Uso intensivo para culturas anuais (grãos), principalmente soja. Ocupa o Planalto dos Parecis, a sul da área, no entorno do Parque Nacional do Xingu, onde os solos são propícios à mecanização.

Extrativismo vegetal (madeira) e pecuária: Mosaico com predomínio de áreas destinadas a pastagem e exploração de madeira (Figura 17). Seu padrão de ocorrência é observado principalmente no alto Xingu, nas proximidades do município de Marcelândia (MT), no setor oeste e, a leste, na região de São José do Xingu (MT).

Usos diversos de caráter agropecuário: Compreende mosaico de usos diversificados, tanto de agricultura quanto de pecuária, geralmente associado ao cerrado, prevalecendo a sul da bacia hidrográfica.

Predomínio da pecuária sobre extrativismo (madeira) e garimpo: Mosaico com predomínio de áreas destinadas a pastagem e, subordinadamente, exploração de

madeira e presença de garimpo (ativo/inativo). Observado de forma pontual nas proximidades do rio Fresco, afluente da margem direita do rio Xingu, no município de São Félix do Xingu.

Agricultura familiar e pastagens ao longo da Transamazônica: Estudos já realizados sobre as unidades familiares de produção (ufp's) em sete municípios da região - Uruará, Medicilândia, Brasil Novo, Altamira, Senador José Porfírio, Anapu e Pacajá - indicam que a agricultura familiar na Região da Transamazônica é caracterizada pela diversidade de sistemas de produção e modos de exploração das atividades agropecuárias. Os dados apontam que as ufp's apresentam mão-de-obra familiar e sistema de produção diversificado, com culturas anuais e perenes, criação de pequenos animais e gado, e a utilização dos produtos da floresta (CASTELLANET; SIMÕES; FILHO, 1994).

Figura 17 - Barcaças com toras, rio Xingu, cerca de 80 km a jusante da cidade de São Félix do Xingu, Pará



Fonte: ELETROBRÁS (2009)

4.1.3 Limnologia do rio Xingu

Em termos gerais, a composição química das águas dos rios é uma expressão das condições químicas da sua bacia de drenagem e o resultado dos processos químicos e biológicos que aí ocorrem. Quanto maior a bacia, maiores as diferenças geoquímicas entre as diferentes partes. Adicionalmente, o impacto humano pode modificar consideravelmente as condições hidroquímicas (JUNK; FURCH, 1985).

Os rios que compõem o rio Xingu são derivados da região do Escudo Arcaico das Guianas e se enquadram na classificação de SIOLI (1950) como rios de águas claras, caracterizados por apresentarem material em suspensão e íons em quantidades intermediárias às dos rios de água branca, provenientes de áreas com ação intensiva dos processos erosivos, e dos rios de água preta, pobres em sólidos e elementos minerais dissolvidos e ricos em substâncias húmicas.

O rio Xingu, considerado na sua totalidade possui pH relativamente ácido, águas transparentes (baixa coloração e pouco material em suspensão), brandas, com baixa capacidade de tamponamento, e com baixas concentrações de íons, nutrientes e matéria orgânica dissolvida. Essas características do rio estão relacionadas à sua fisiografia, a seu substrato geológico e às condições naturais presentes em sua bacia como um todo. A baixa concentração de íons, nutrientes e matéria orgânica dissolvida resulta em baixos valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e conseqüentemente em altas concentrações de oxigênio dissolvido em suas águas (ELETROBRAS, 2009).

Contribuem também para as condições de oxigenação das águas a turbulência possibilitada por corredeiras e cachoeiras em vários trechos do rio. Possivelmente a baixa concentração de fósforo seja o principal fator limitante da produção primária neste rio (ELETROBRAS; ELETRONORTE, 2001). No entanto, o aporte de matéria orgânica que sustenta as comunidades aquáticas é de origem predominantemente externa, estando vinculado aos pulsos de inundação do rio e aos biótopos associados a ele, como as matas de igapó e as lagoas marginais.

4.2 Bases de Dados Observacionais

4.2.1 Dados de cota

Foi utilizado o conjunto de dados de cota média mensal proveniente da rede de estações convencionais pertencente a AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), cuja rede hidrometeorológica observacional é operada na Amazônia pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM). O estudo abrange o período de 1979 a 2012. Estes dados compreendem os registros de cota média mensal extraída da estação fluviométrica convencional do município de Altamira (ANA, 2013), nos quais foi aplicada a metodologia de correlação, Análise de Regressão Linear Simples e Múltipla a fim de definir um modelo estatístico de previsão de cota do rio Xingu em Altamira.

4.2.2 Dados de precipitação

Foram utilizados os dados em pontos de grade de precipitação obtidos do *Climate Prediction Center* (CPC) pertencente ao *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) dos Estados Unidos da América. Estes dados encontram-se documentados em Silva et al. (2007) e foram gerados através da interpolação espacial dos dados observados nas estações meteorológicas de superfície, reportados na codificação SYNOP das 1200 UTC, com resolução específica ($1^\circ \times 1^\circ$ de latitude-longitude). Em Silva et al. (2007) pode ser encontrados maiores detalhes sobre o controle de qualidade, métodos e procedimentos metodológicos dos dados do CPC. Os dados do CPC no período de 1979 a 2012 foram usados para investigar o comportamento da precipitação regional no domínio espacial que engloba o rio Xingu.

4.2.3 Dados atmosféricos e oceânicos

Os dados de radiação de onda longa emergente (ROLE, unidade: W/m^2) também foram extraídos do *Climate Prediction Center* (CPC). Esses dados foram utilizados para a análise de convecção (indicativo de nebulosidade tropical) e para fazer correlação na região do rio Xingu para o período de 1979 a 2012. Utilizaram-se os dados de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) disponíveis no site do NCEP para a análise de correlação. A correlação é entre a TSM (oceanos Atlântico e Pacífico) e a cota do rio Xingu considerando as defasagens de um e dois bimestres.

4.2.4 Dados para análise do índice de vulnerabilidade social

Para a investigação do Índice de Vulnerabilidade Social adotou-se a metodologia desenvolvida por Szlafsztein et al. (2010) e tornou-se necessária a realização de consultas as informações do Censo Demográfico do IBGE, onde foram analisados os dados de população total, população infantil, população idosa, nível de escolaridade e nível de pobreza para os censos dos anos de 2000 e 2010, para se classificar a vulnerabilidade social do município de Altamira e para se fazer uma comparação entre estes anos, a fim de verificar se houve alteração na classificação da vulnerabilidade social do município em questão.

4.3 Métodos estatísticos

4.3.1 Regressão linear simples e múltipla

A construção do modelo estatístico para previsão da cota fluviométrica do rio Xingu em Altamira foi baseada no método de regressão linear.

De acordo Levine et al. (2008) a formulação matemática tanto para a regressão simples quanto para a múltipla é essencialmente a mesma. O princípio consiste em modelar uma variável quantitativa dependente Y através da combinação linear de p variáveis explicativas quantitativas X_1, X_2, \dots, X_p . O modelo estatístico pode ser escrito para observações i como segue na Equação 1:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Sendo y_i o valor observado para a variável dependente (para o nosso estudo será a variável cota) e observação i , x_{ij} é o valor considerado pela variável j e observação i (as variáveis utilizadas como explicativa foram: precipitação e TSM), β_0 é o coeficiente linear (também chamado intercepto, é o valor que y assume quando x for zero), β_j coeficiente angular (é a inclinação da reta, mede o aumento ou redução em y para cada aumento de uma unidade em x) e ε_i é o erro do modelo. Para o caso de regressão simples $p = 1$ e para o caso de regressão múltipla $p = 1, 2$ ou 3 , ou seja, usa-se 3 variáveis explicativas para prever y .

Na montagem do modelo utilizaram-se 34 anos de dados de cota, precipitação e TSM, sendo que 24 anos (1979 a 2002) foram utilizados para o treinamento do modelo e 10 anos (2003 a 2012) para a previsão.

Usou-se o método dos mínimos quadrados para estimar os coeficientes β e a soma dos erros é minimizada para tornar a solução analítica exata. Neste método é importante analisar quatro parâmetros estatísticos importantes obtidos no modelo de regressão simples e múltipla:

Coefficiente de determinação (R^2) mede a qualidade do modelo em relação à sua capacidade de estimar corretamente valores da variável resposta, cujo valor é entre 0 e 1 e é dado pela equação 2:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{com} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i y_i \quad (2)$$

Sendo w o peso usado para estimar os coeficientes da equação de regressão. O R^2 é interpretado como a proporção da variabilidade da variável dependente do modelo. Quanto mais próximo de 1 melhor será a performance do modelo.

Erro Quadrático Médio (MSE) é determinado pelo somatório dos erros, penalizando os erros grandes elevando-os ao quadrado e dividido pelo número de erros usados no cálculo, e é dado pela equação 3:

$$MSE = \frac{1}{W - p^*} \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE) leva em consideração o valor erro médio percentual para cada ponto previsto e depois dividido novamente pelo número observações de toda a série e é dado pela equação 4:

$$MAPE = \frac{100}{W} \sum_{i=1}^n w_i \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (4)$$

Quanto menor for o MSE e o MAPE melhor será o desempenho do modelo.

Nash-Sutcliffe (NS) é o coeficiente de eficiência introduzido por Nash e Sutcliffe (1970), sendo a proporção com que um modelo explica a variância das cotas observadas, podendo variar entre $-\infty$ para 1. Uma eficiência de 1 (NS = 1) corresponde a uma combinação perfeita de dados modelados para os dados observados, de acordo com a equação 5.

$$NS = 1 - \frac{\sum(C_{obs} - C_{prev})^2}{\sum(C_{obs} - \overline{C_{obs}})^2} \quad (5)$$

Onde C_{obs} é a cota observada; C_{prev} é cota prevista e $\overline{C_{obs}}$ é cota média observada.

4.3.2 Calibração e validação do modelo

A calibração do modelo foi feita para o período de 1979 a 1988, na qual foi utilizada a calibração automática. A calibração é o processo de estimar os parâmetros de entrada de um modelo, dentro de um intervalo, até que as diferenças entre os valores observados e previstos sejam verificados por um critério de convergência pré-determinado (OLIVEIRA, 2003). Resumidamente a calibração consiste em ajustar as equações do modelo e os seus parâmetros para se adequarem aos valores observados, e pode ser feito através do erro dos mínimos quadrados.

O período de 1989 a 1998 foi utilizado para a validação, que é o processo de determinação do comportamento do modelo, para várias condições de entrada de dados, por comparação da resposta do modelo com diferentes situações observadas (BECK, 1987). Um dos processos mais importantes na validação de um modelo é a quantificação da comparação entre valores observados e previstos pelo modelo. Vários autores propõem diversas estatísticas para mostrar a quantificação do modelo, como por exemplo, a análise dos erros (diferença entre os valores observados e os valores previstos pelo modelo). Os erros podem ser calculados através do erro médio, percentual médio, coeficiente de determinação e Nash Sutcliffe.

4.3.3 Correlações

A técnica de correlações foi usada para investigar as relações estatísticas entre a cota e a precipitação na região do rio Xingu, bem como a variabilidade climática dos Oceanos Pacífico e Atlântico tropical e também no indicativo de convecção (ROLE) sobre o a América do Sul.

A correlação é uma técnica estatística bastante utilizada em estudos climatológicos, já que mostra como e quanto um conjunto de dados pode estar

associado a outro(s). O coeficiente de correlação "fornece uma medida padronizada de associação linear entre duas variáveis" (ROGERSON, 2012).

O conceito de correlação refere-se a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando necessariamente uma relação linear (ou não) de causa ou efeito (NAGHETTINI, 2007). Quando estudado duas variáveis, verifica-se que, valores apresentados em uma correspondem aos valores de outra, pode-se supor existir entre elas certa relação. Ao fazer um gráfico, observa-se que os valores dessas duas variáveis sobre um sistema de eixos perpendiculares dispõem nas proximidades de uma reta, diz-se haver, entre as variáveis em estudo, uma correlação linear. Se, além disso, verificar-se que ambas crescem juntas, ela será direta ou positiva, mas se ao crescimento de uma, corresponder o decréscimo da outra, ela será inversa ou negativa.

O coeficiente de correlação linear é uma medida da intensidade da relação linear entre duas variáveis e mede o grau de relacionamento entre os dados emparelhados das variáveis X e Y em uma amostra, que é chamada de momento ou produto de Pearson calculado segundo a equação 6.

$$r_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{\sigma_x\sigma_y}} \quad (6)$$

Onde: Cov é a covariância, σ é o desvio padrão.

4.3.4 Análise de tendência (teste não paramétrico de Mann Kendall)

A significância estatística das tendências nas séries históricas da cota fluviométrica observada (44 anos) compreendendo o período de 1969 a 2012 do rio Xingu foi determinado segundo o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975). De acordo com Marengo e Alves (2005) este teste não paramétrico tem sido extensamente aplicado para análise estatística em estudos de tendência hidrológica e é considerado adequado, uma vez que pressupõe que os dados não são normalmente distribuídos.

Segundo Salmi (2002) o teste de Mann-Kendall é aplicável nos casos em que os valores dos dados x_i de uma série temporal podem ser assumidos como segue na equação 7:

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (7)$$

Sendo $f(t)$ uma função temporal contínua monotônica crescente ou decrescente e o resíduo ε_i possuindo a mesma distribuição com média zero, assumindo que a variância da distribuição é constante no tempo.

Testamos a hipótese nula da não existência de tendência, H_0 , ou seja, as observações x_i são aleatoriamente ordenadas no tempo, contra a hipótese alternativa, H_1 , em que há uma tendência monotônica de aumento ou redução. Neste caso, usa-se o teste estatístico Z para séries contendo amostras maiores do que 10 pontos. No caso de n (tamanho da amostra) ser maior que 10, utilizou-se a aproximação normal, ou seja, o teste Z . Neste caso, primeiro calcula-se a variância de S como mostrado na equação 8:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (8)$$

Sendo q o número de grupos vinculados e t_p é o número de valores de dados no grupo p th. Os valores de S e $VAR(S)$ são usados para calcular o teste Z , da seguinte forma (equação 9):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor do teste Z , considerando uma distribuição normal. Um valor que apresenta um resultado positivo (negativo) de Z indica a tendência de aumento (diminuição) dos valores da série temporal. No teste de hipótese para verificar a tendência monotônica crescente (positiva) ou decrescente (negativa) em um nível de significância α , a hipótese nula H_0 é rejeitada se o valor absoluto de Z for maior do que $Z_{1-\alpha/2}$, sendo que $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido da tabela de distribuição normal. O nível de significância α testado foi 0,05 que equivale a 90%.

4.3.5 Quartis

Com a finalidade de observar os eventos com nível do rio abaixo e acima do normal durante o pico de cheia (MAM), para o período de 1979 a 2012, do rio Xingu em Altamira, foi utilizada a técnica dos quartis.

Essa técnica (quartis) divide o conjunto de dados em quatro partes iguais (LEVINE et al., 2008). O primeiro quartil ou quartil inferior (Q_1) divide os valores que correspondem aos 25% mais baixos, dos 75% que são maiores do que eles. O segundo quartil ou quartil do meio é a própria mediana (Q_2), que separa os 50% menores dos 50% maiores valores. O terceiro quartil ou quartil superior (Q_3) divide a parcela correspondente a 75% dos valores mais baixos dos 25% que são maiores do que eles. As equações (10) e (11) definem o primeiro quartil e o terceiro quartil.

Primeiro quartil, Q_1

25% dos valores são menores ou iguais a Q_1 , o primeiro quartil, e 75% são maiores ou iguais ao primeiro quartil Q_1 (Equação 10).

$$Q_1 = \frac{n+1}{4} \quad (10)$$

Terceiro quartil, Q_3

75% dos valores são menores ou iguais ao terceiro quartil, Q_3 e os 25% são maiores ou iguais ao terceiro quartil Q_3 (Equação 11).

$$Q_3 = \frac{3(n+1)}{4} \quad (11)$$

4.3.6 Índice de vulnerabilidade social

A vulnerabilidade reflete tanto as questões naturais e sociais. Neste estudo deu-se importância à dimensão social, sendo utilizada a metodologia desenvolvida por Szlafsztain et al. (2010), baseada na combinação de diferentes variáveis, socioeconômicas para a produção de um único valor numérico: o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS).

Na construção desse índice identifica-se, define-se e analisa-se conjuntamente um grupo de variáveis que apresentam uma elevada contribuição para a caracterização da vulnerabilidade da população diante de um risco de desastre. O IVS identificado neste estudo reflete a característica social para a classificação da vulnerabilidade nos períodos de cheias em Altamira, utilizando-se, portanto o nível municipal.

O procedimento para a obtenção do IVS incluem as seguintes etapas:

a) Coleta de informações a partir dos Censos Demográficos do ano de 2000 e 2010 do IBGE para as variáveis que compõem o índice.

A Tabela 3 apresenta as cinco variáveis, suas definições e a sua importância para a construção do índice de vulnerabilidade social.

Tabela 3 - Variáveis utilizadas para a construção do Índice de Vulnerabilidade Social.

Variáveis	Sigla	Definição da variável	Importância
População Total	PT	Proporção (%) da população total do Estado que corresponde à população do município.	A decisão de localizar populações em áreas susceptíveis a ameaças incrementa a vulnerabilidade da sociedade (KATAYAMA, 1993).
População Infantil	PIN	Proporção (%) da população total correspondente a crianças entre 0 a 4 anos.	As crianças sofrem desproporcionalmente e estão usualmente entre as primeiras vítimas nos períodos de desastres, pela sua alta dependência familiar. Os efeitos dos desastres abarcam desde os físicos (ex. perda de vida e ferimentos) até psicológicos causados pelo pânico e as incertezas associadas à evacuação (UNDRO, 1992).
População Idosa	PID	Proporção (%) da população total, correspondente a pessoas com mais de 60 anos.	As pessoas idosas sofrem quando suas casas devem ser evacuadas e encontram dificuldades para recuperar-se da perda dos seus pertences e outras economias (QUARENTELLI, 1994).
Nível de Escolaridade	E	Proporção (%) da população total, que tem menos de 4 anos de estudo.	Pessoas que ainda não cumpriram a primeira etapa do ensino fundamental no Brasil, o antigo curso primário com quatro anos de duração, chamado de primeiro ciclo do ensino fundamental e regulamentado por meio da lei de Diretrizes e bases da Educação, em 1996.
Nível de Pobreza	P	Proporção da população, correspondente a chefes de famílias com rendimento menor que dois salários mínimos.	A pobreza está relacionada estreitamente à marginalização social e a carência de acesso a recursos, transformando este grupo populacional no alvo principal dos impactos dos desastres e das mudanças climáticas. (SZLAFSZTEIN, 1995).

Fonte: Szlafstein et al. (2010)

Houve a necessidade de se fazer uma estimativa para os dados da variável Nível de Escolaridade do Censo de 2010, pois não há nos registros do IBGE a informação exata da população com menos de quatro anos de estudo.

b) Identificação dos níveis de vulnerabilidade da população estudada, para cada uma das variáveis socioeconômicas, de acordo com o exposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação de vulnerabilidade segundo agrupamento das variáveis sociais.

Vulnerabilidade	Classificação	População Total	População Infantil	População Idosa	Nível de Escolaridade	Nível de Pobreza
Baixa	1	Até 10%	Até 10%	Até 10%	Até 30%	Até 30%
Moderada	2	10% a 20%	10% a 20%	10% a 20%	30% a 50%	30% a 50%
Alta	3	Mais de 20%	Mais de 20%	Mais de 20%	Mais de 50%	Mais de 50%

Fonte: Szlafstein et al., 2010

c) Construção do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), através de aplicação da equação 12.

$$IVS = \frac{PT + PIN + PID + E + P}{5} \quad (12)$$

Onde: PT- Índice da População Total; PIN - Índice da População Infantil; PID - Índice da População Idosa; E - Índice do Nível de Escolaridade e P - Índice do Nível de Pobreza.

d) Classificação da vulnerabilidade social relativa a cada grau de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação da vulnerabilidade segundo seu grau de Vulnerabilidade social.

Classificação Vulnerabilidade	Valor Calculado do IVS	IVS Final
Baixa	Entre 1 e 1,7	1
Moderada	Entre 1,8 e 2,3	2
Alta	Entre 2,4 e 3	3

Fonte: Szlafstein et al., 2010

5 RESULTADOS

5.1 Aspectos Climatológicos

5.1.1 Climatologia de ROLE (nebulosidade) e precipitação sazonal

Através da análise climatológica da Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) (Figura 18a), indicativo do padrão de nebulosidade ou convecção tropical, procura-se identificar os sistemas de grande escala atuantes, especialmente a manifestação da ZCIT sobre o Atlântico equatorial adjacente à costa amazônica e também da ZCAS sobre o Brasil central, cujas bandas de atividade convectiva (regiões com ROLE abaixo de 240 W/m^2) induzem a ocorrência de precipitação regional.

A Figura 18 mostra a climatologia sazonal (média 1979/2012) de ROLE sobre a América do Sul e Oceano Atlântico, e a precipitação sobre o rio Xingu durante as estações de DJF, MAM, JJA e SON, sendo: (a) ROLE (W/m^2) e (b) precipitação – PREC (mm/dia).

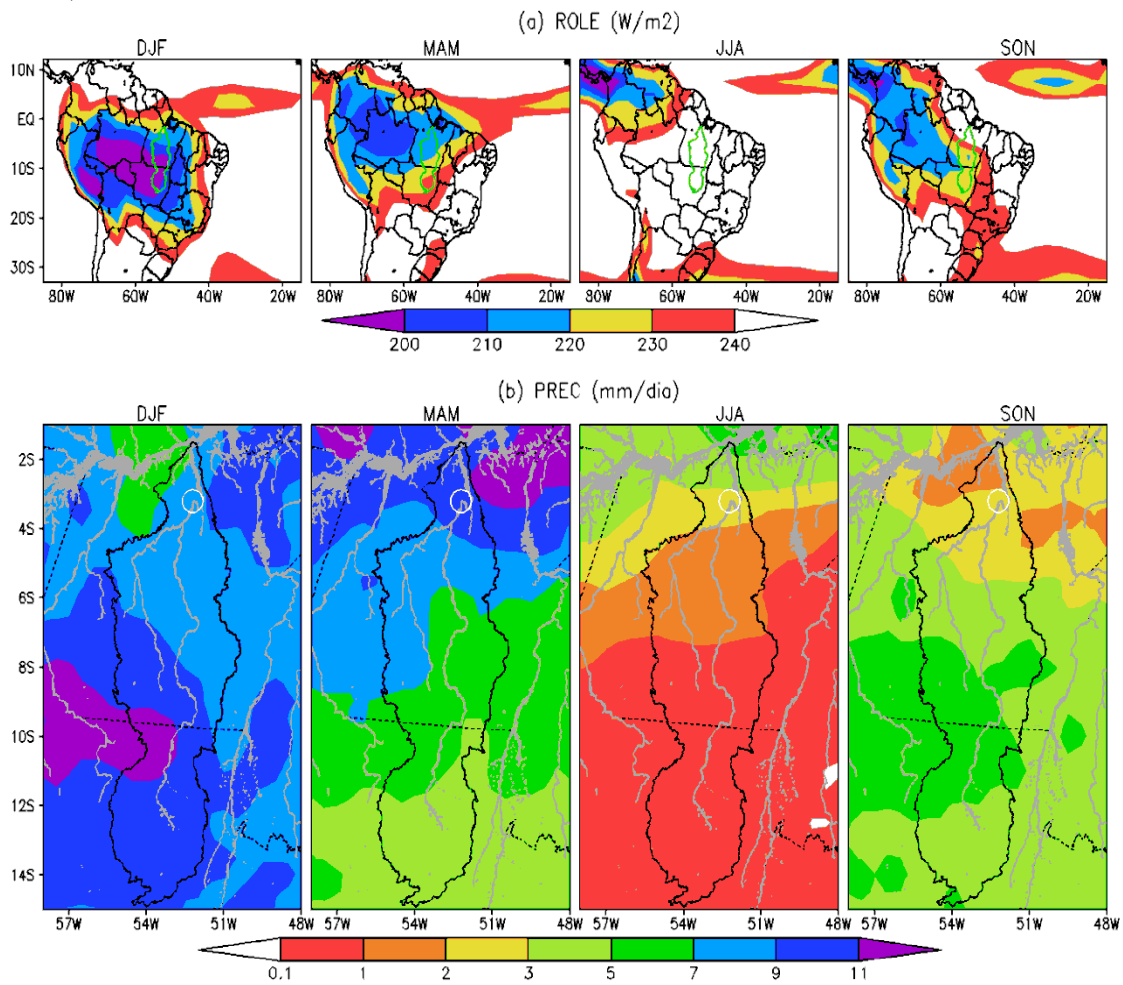
Na Figura 18a nota-se a região de atuação da ZCAS durante o verão (DJF), caracterizada pela presença de uma grande área contendo valores de ROLE entre 200 e 220 W/m^2 com orientação noroeste/sudeste, desde a Amazônia, centro-oeste, até o sudeste do Brasil. A ZCAS provoca elevados níveis pluviométricos com valores entre 9 mm/dia no norte e volumes de chuva acima 11 mm/dia ao sul do rio Xingu, em DJF (Figura 18b).

No outono (MAM), observam-se os maiores volumes pluviométricos acima de 9 mm/dia no extremo norte do rio Xingu (Figura 18b), onde se encontra o município de Altamira (estação onde se extraiu os dados de cota para este estudo). Os altos índices pluviométricos deste trimestre são favorecidos pela atuação da ZCIT, caracterizada pela presença da região contendo uma faixa zonal de ROLE desde a Amazônia até o Oceano Atlântico equatorial (Figura 18a).

O trimestre JJA é caracterizado por forte redução das chuvas em toda a região da bacia, menos de 3 mm/dia (Figura 18b). Neste período de inverno, a atividade convectiva encontra-se sobre o Hemisfério Norte, com predomínio de ROLE sobre o norte da América do Sul (Figura 18a).

Em SON percebe-se o aumento da convecção na porção oeste e sul da Amazônia, com valores de ROLE abaixo de 230 W/m^2 (Figura 18a), associada com aumento de precipitação na porção sul do rio Xingu, com valores entre 3 e 7 mm/dia (Figura 18b).

Figura 18 - Climatologia sazonal (média 1979/2012) de (a) ROLE (W/m^2) sobre a América do Sul e Oceano Atlântico e (b) de precipitação – PREC (mm/dia) sobre o rio Xingu durante as estações de DJF, MAM, JJA e SON.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.2 Climatologia mensal da cota e precipitação

Através da média do período de 1979 a 2012 (34 anos) foi obtida a climatologia da cota fluviométrica do rio Xingu na região de Altamira, considerando os dados médios mensais. Similarmente, foram calculadas as climatologias da precipitação (PREC) representativa das regiões situadas no alto (PREC-S), médio (PREC-C) e baixo (PREC-N) Xingu.

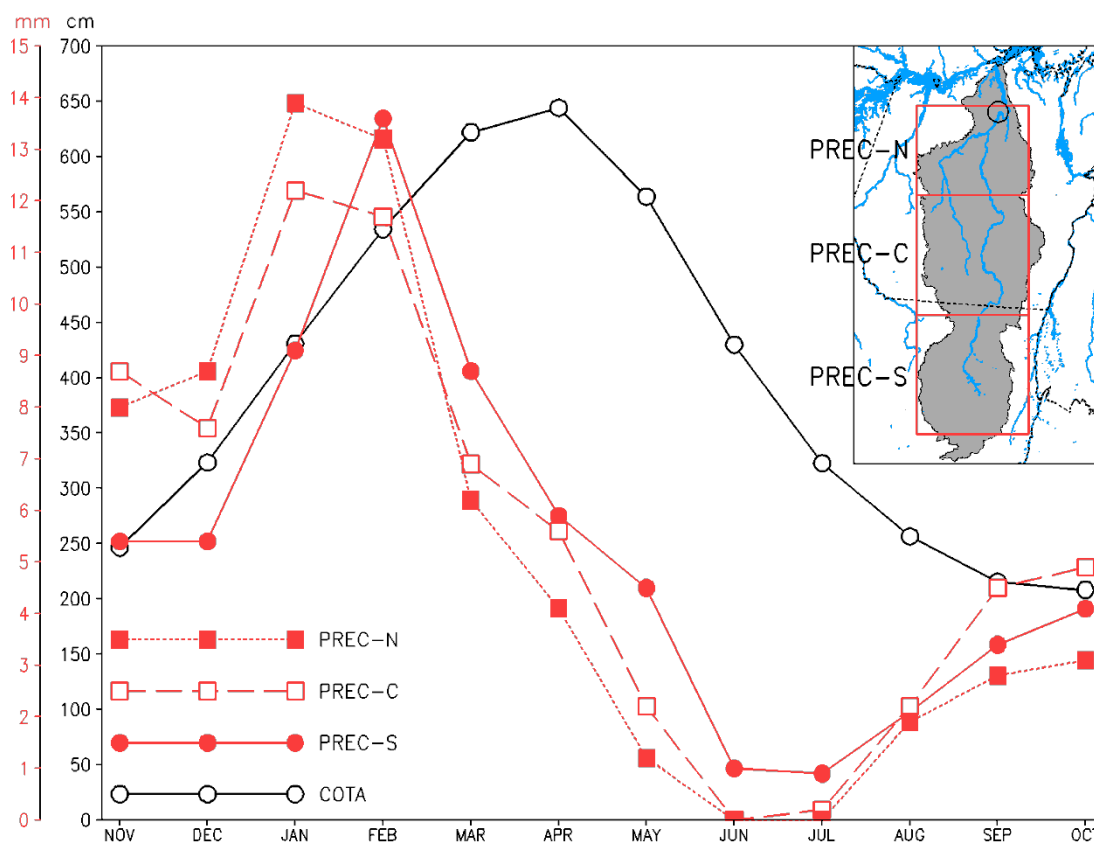
A Figura 19 mostra a evolução mensal das médias climatológicas da cota (linha preta) em Altamira e da precipitação (linhas vermelhas) sobre as três regiões do rio Xingu durante o ano hidrológico (ciclo anual completo do regime hidrológico de cheia e vazante), o qual se processa de novembro de um ano até outubro do ano posterior.

Percebe-se claramente na Figura 19 a modulação da precipitação no regime hidrológico ao longo do rio Xingu em Altamira.

O início das chuvas sobre a região ocorre entre agosto e setembro, atingem valores em torno de 3 a 5 mm/dia no mês de outubro, aumentando progressivamente para 5 a 9 mm/dia nos meses de novembro e dezembro, e alcançando valores máximos (pico anual) nos meses de janeiro e fevereiro com precipitação em torno de 12 e 14 mm/dia. De fevereiro para março observa-se um declínio acentuado da chuva para valores entre 6 e 9 mm/dia, até atingir os valores mínimos nos meses de junho e julho. Por outro lado, a cota do rio em Altamira inicia seu período de subida no mês de novembro e aumenta progressivamente mês a mês até alcançar o seu nível máximo anual (pico anual) nos meses de março e abril, quando se observam cotas entre 673 e 685 cm. A partir de maio o rio inicia seu regime de descida com o pico da vazante ocorrendo nos meses de setembro e outubro, com níveis em torno de 250 cm.

Portanto, durante o regime de subida do nível do rio, verifica-se uma defasagem de dois meses entre o pico da precipitação (em janeiro e fevereiro) e o pico da cheia do rio em Altamira (em março e abril). Na evolução da cota fluviométrica da Figura 19 (linha preta) demonstra-se que o trimestre março-abril-maio (MAM) é o período em que se deflagra o pico da cheia anual do rio Xingu em Altamira.

Figura 19 - Climatologia mensal (média 1979/2012) da cota fluviométrica em Altamira-PA e de precipitação – PREC (mm/dia) medida sobre as áreas situada no alto (PREC-S), médio (PREC-C) e baixo (PREC-N) Xingu durante o ano hidrológico.



Fonte: Elaborado pela autora.

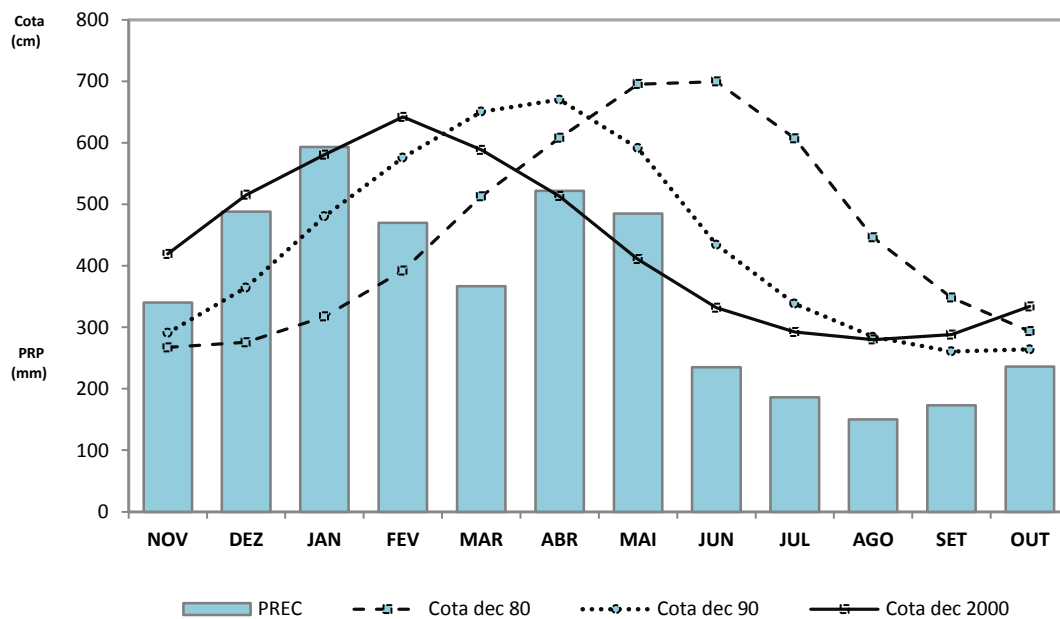
A Figura 20 tem como objetivo mostrar o comportamento do ano hidrológico nas décadas 1980, 1990 e 2000 (linhas em preto) em relação à média mensal da precipitação (colunas em vermelho), no baixo Xingu (PREC-N, precipitação da porção norte) para o mesmo período.

Percebe-se que o ano hidrológico na década de 80 tem seu pico máximo no mês de junho (699 cm) e pico mínimo no mês novembro (267 cm), enquanto que a máxima precipitação ocorre no mês de janeiro, ou seja, cinco meses de defasagem. A década de 90 apresenta cota máxima anual em abril (670 cm) e pico mínimo em outubro, com isso observa-se que a defasagem entre a precipitação e cota nesta década é de três meses, uma diferença de dois meses em relação à década anterior. Na década de 2000 o pico máximo da cota ocorre em fevereiro (642 cm), tendo, portanto, uma defasagem de um mês entre as variáveis, e quando se compara esta década com a de 1980 observa-se um decréscimo de quatro meses de diferença.

A Figura 21 mostra o mesmo comportamento do ano hidrológico, sendo, porém ao longo dos anos (de 1980 a 2012), na qual só vem confirmar o exposto acima.

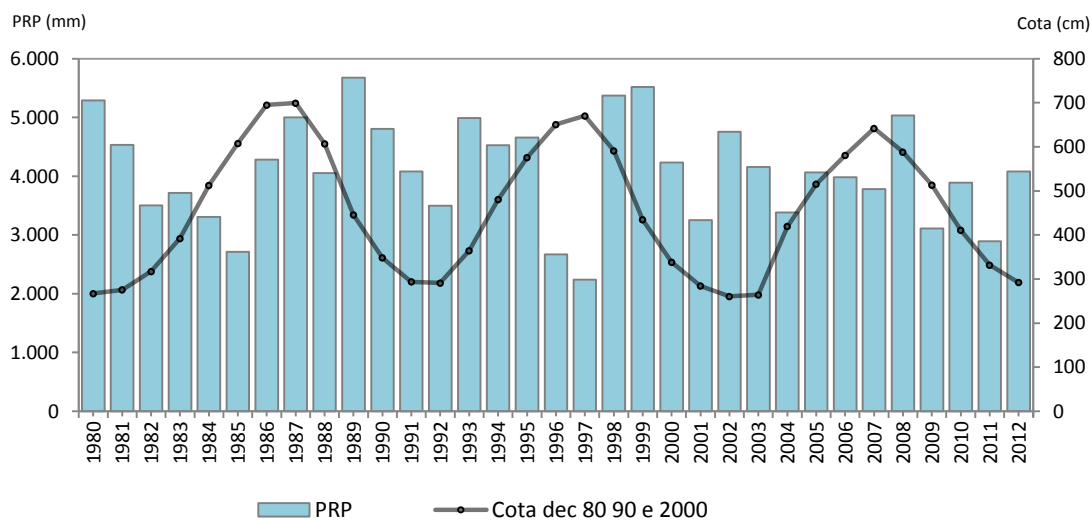
Além da diferença nas defasagens entre as três décadas também se observou uma diminuição sistemática no valor da cota, uma queda de aproximadamente 28 cm de uma década para outra.

Figura 20 - Climatologia mensal (média 1980/2012) da cota fluviométrica em Altamira-PA e de precipitação – PREC (mm/dia) média sobre a área situada no baixo Xingu (PREC-N) durante o ano hidrológico das décadas de 80, 90 e 2000.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21 - Climatologia média anual (1980/2012) da precipitação – PREC (mm/dia) média sobre a área situada no baixo Xingu (PREC-N) durante o ano hidrológico das décadas de 80, 90 e 2000.



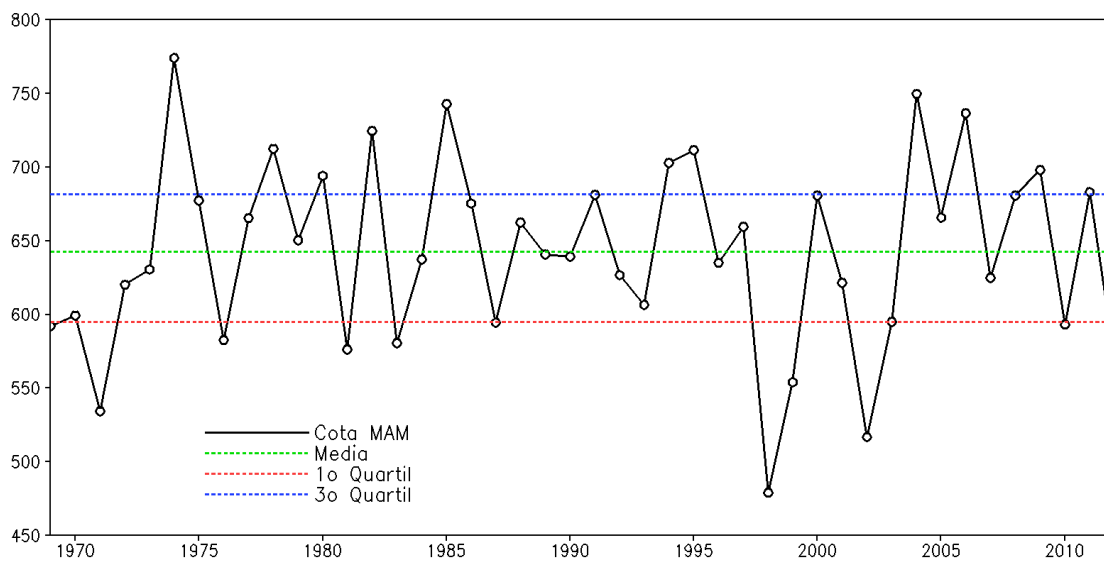
Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 Variabilidade e tendência das cheias do rio Xingu

Com o objetivo de se investigar a variabilidade e a tendência das cheias sazonais do rio Xingu em Altamira, analisa-se na Figura 22 as séries temporais da cota de cheia sazonal observadas no trimestre MAM entre os anos de 1969 a 2012. Nessas quatro décadas percebe uma marcante variabilidade interanual do regime de cheias em Altamira. Percebe-se que neste intervalo de tempo ocorreram 10 eventos de cheias (anos em que o dado de cota fica acima do 3º quartil) e 8 eventos de seca (anos em que o dado de cota fica abaixo do 1º quartil) no município de Altamira.

A Tabela 6 apresenta as informações estatísticas da cota de cheia sazonal (MAM) no período de 1969 a 2012, na qual se nota que a diferença entre os valores do 3º e 1º quartis é de 87 (594 no 1º quartil e 681 no 3º quartil). A média do trimestre é aproximadamente 642 cm. O coeficiente de variação, ou seja, a variabilidade temporal na escala sazonal é relativamente considerável.

Figura 22 - Variabilidade interanual da cota de cheia sazonal (MAM) do rio Xingu em Altamira durante o período de 44 anos (1969 a 2012).



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos dados de cota sazonal de MAM do rio Xingu em Altamira no período de 1969 a 2012.

Estatística	Cota - MAM
Numero de observações	44
Valor mínimo	479,2
Valor máximo	774,2
Intervalo	295,0
1° Quartil	594,8
Mediana	639,9
3° Quartil	681,6
Média	642,8
Variância (n-1)	4112,6
Desvio padrão (n-1)	64,1
Coeficiente de variação	0,10

Fonte: Elaborado pela autora.

No que concerne à análise de tendência de longo prazo do regime de cheia de MAM em Altamira de 1969 a 2012, baseada nos resultados do teste não paramétrico de Mann-Kendall (Tabela 7), verifica-se o valor positivo do tau de Kendall de aproximadamente 0,04 e com valor de p de 0,72 (probabilidade do risco de rejeitar a hipótese H₀ - não tendência, ou seja, as observações são aleatoriamente ordenadas no tempo). Ou seja, o resultado não tem significância estatística e, portanto, não se pode afirmar que a cota de cheia (MAM) do rio Xingu em Altamira esteja sofrendo tendência positiva sistemática.

Tabela 7 - Teste não paramétrico de Mann-Kendall da cota sazonal de MAM.

tau de Kendall'	0,038
Estatística S	36,000
Valor-p	0,725
alpha	0,1

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 Modelo estatístico de previsão da cheia sazonal (MAM)

5.3.1 Correlações

A Figura 23 mostra as correlações entre a cota de cheia em MAM para Altamira e o campo de TSM sobre o Pacífico e Atlântico, ROLE sobre a América do Sul e PREC sobre o rio Xingu para a defasagem nos trimestres anteriores de janeiro a março (JFM) e de fevereiro a abril (FMA) durante os anos de 1979 a 2012. O objetivo desta análise é descobrir quais regiões podem ser usadas como preditoras do modelo estatístico de previsão de cheia.

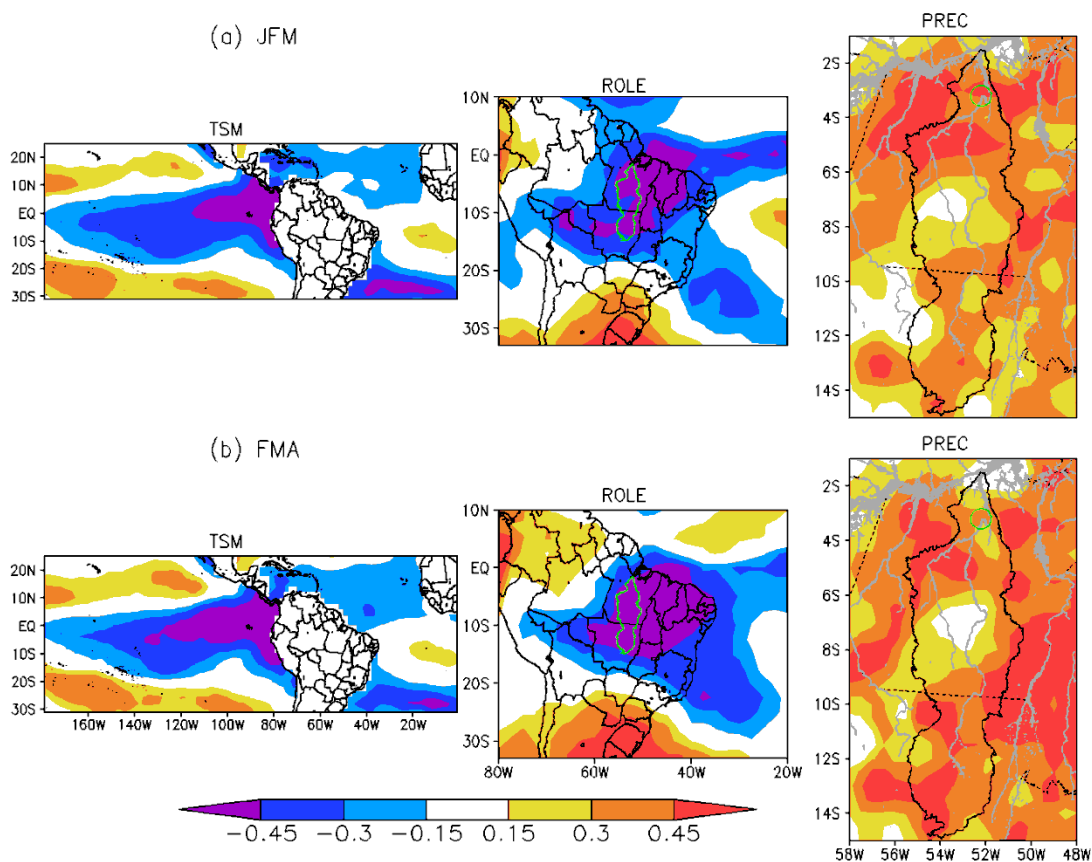
As correlações entre a cota de MAM e o campo de TSM em JFM (Figura 23a) e também em FMA apresentam valores negativos numa grande área cobrindo o Oceano Pacífico tropical, sobre o Oceano Atlântico sub-tropical (próximo a costa sudeste do Brasil) e também sobre a bacia norte do Oceano Atlântico.

As correlações para o campo de ROLE também mostraram configurações semelhantes para os trimestres de JFM (Figura 23a) e FMA (Figura 23b). O ambiente sinótico em que os eventos de chuva ocorrem sobre o rio Xingu estão relacionados com a manifestação conjunta das bandas convectivas da ZCAS e da ZCIT. É possível visualizar a ZCAS bem configurada estendendo-se diagonalmente sobre a Amazônia central, sudeste do Brasil até o Atlântico sul, pois se percebe correlação negativa de ROLE nas Figuras 23(a) e 23(b), bem como também se verificam padrões de correlação negativa de ROLE cobrindo uma banda zonal de convecção da ZCIT ao sul do equador sobre o Atlântico intertropical atingindo também a Amazônia oriental e Nordeste Brasileiro.

As correlações entre a cota de MAM e o campo de precipitação de JFM e de FMA apresentam valores positivos cobrindo todo o rio Xingu. Exceto na porção central do rio, as correlações oscilam entre 0,3 a 0,45.

Em resumo, as correlações indicam que a cota de cheia de MAM em Altamira associa-se com valores negativos de TSM no Pacífico (eventos La Niña), formação de nebulosidade tropical pela presença da ZCAS e da ZCIT, as quais promovem a ocorrência de chuva em grande parte do rio Xingu, durante os meses anteriores (JFM e FMA).

Figura 23 - Correlações entre a cota sazonal de MAM em Altamira e o campo de TSM sobre o Pacífico e Atlântico, ROLE sobre a América do Sul e PREC sobre o rio Xingu para a defasagem (a) JFM e (b) FMA. A escala de cores na base mostra o sinal e intensidade das correlações.



Fonte: Elaborado pela autora.

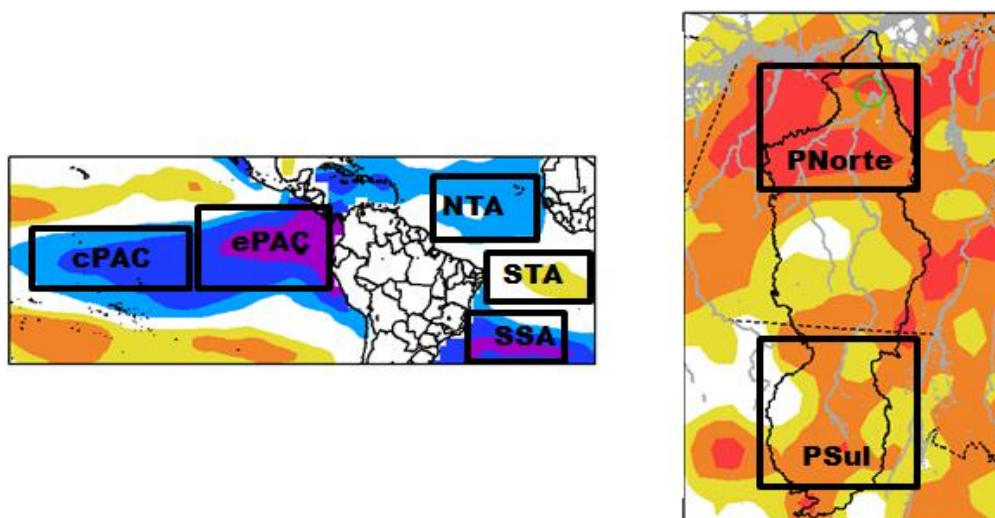
5.3.2 Previsão da cota de cheia em Altamira

O modelo de regressão linear simples e múltipla foi rodado considerando as variáveis explicativas TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico e Precipitação das porções norte e sul do rio Xingu para os trimestres JFM (Janeiro, Fevereiro e Março) e FMA (Fevereiro, março e Abril) onde o primeiro trimestre foi considerado como lag -2 e o segundo como lag -1, ou seja, defasagem de dois e um trimestres respectivamente antes do trimestre observado de cheia sazonal (MAM) do rio Xingu, no Município de Altamira, do período de 1979 a 2012. Desse período utilizou-se 24 anos (1979 a 2002) para o treinamento do modelo e 10 anos (2003 a 2012) para a previsão.

Consideraram-se as seguintes áreas dos Oceanos Atlântico e Pacífico: Atlântico Norte (NTA), Atlântico Sul (STA), Atlântico Subtropical (SSA), Pacífico Central (CPAC) e Pacífico Equatorial (EPAC). As áreas de precipitação sobre o rio Xingu foram as áreas Norte e Sul do rio (Pnorte, precipitação da porção norte e Psul; precipitação da porção sul), ambos mostrados na Figura 24. Rodaram-se primeiramente

os modelos de regressão linear simples (apenas uma variável preditora), considerando as variáveis dos dois oceanos e do rio Xingu, porém nenhum foi considerado adequado, pois ou subestimavam ou superestimavam demais os dados de cota sazonal de cheia (MAM).

Figura 24 - Áreas de TSM sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico e de precipitação do rio Xingu para a montagem do modelo estatístico de previsão da cota de cheia em Altamira-PA.



Fonte: Elaborado pela autora.

Então passou-se a rodar os modelos de regressão múltipla (usando mais de uma variável preditora). Fizeram-se inúmeras combinações entre as variáveis para as áreas dos dois Oceanos e do rio Xingu para os trimestres (JFM, FMA), sendo que o modelo que se adequou aos dados observados de cota para o trimestre MAM foi o modelo utilizando os dados de precipitação das áreas da porção norte do rio Xingu (Pnorte), porção Sul (Psul), e dados de TSM do Pacífico Central (CPAC) e do Atlântico Sul (STA). A melhor defasagem foi a do trimestre FMA (lag -1), cuja equação encontra-se na Tabela 8. Na equação percebe-se que a cota média de (MAM) tem correlação positiva com a chuva das áreas do rio Xingu da porção norte (Pnorte) e porção sul (Psul). Por outro lado, tem correlação negativa com a TSM das áreas do Atlântico Sul e Pacífico Central. O valor da correlação entre a cota, a precipitação e a TSM foi de 0,85, o que mostra uma correlação significativa entre as variáveis. Portanto, a cota de cheia sazonal do trimestre MAM, no município de Altamira depende da chuva nas áreas porção norte e sul do rio Xingu e da TSM no Pacífico Central e Atlântico Sul.

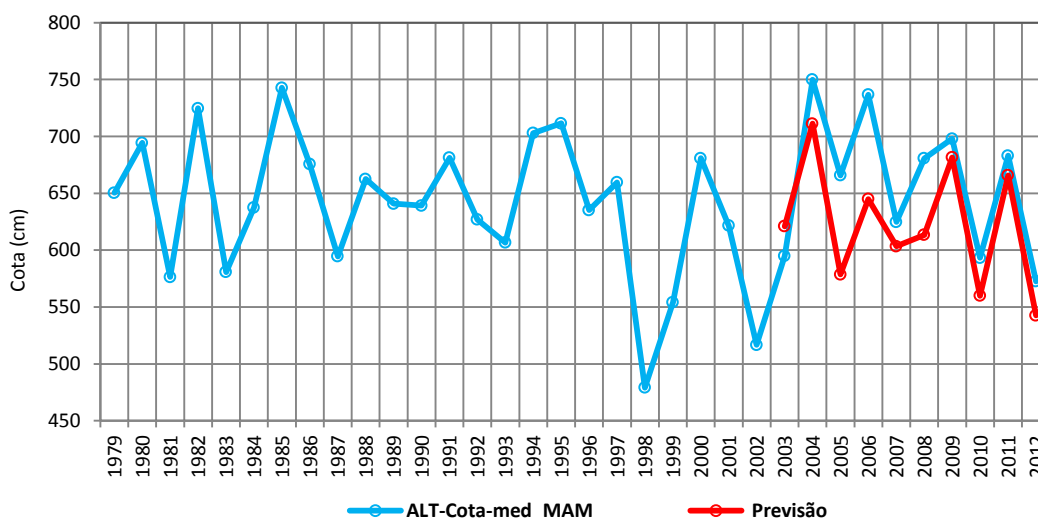
Tabela 8 - Equação de Regressão desenvolvida para o Município de Altamira e os parâmetros estatísticos utilizados.

Período	Equação de Regressão Múltipla	R ²	MSE	MAPE
1979-2012	ALT-Cota-med_MAM= 1396,576044162+14,6620659257432*Pnorte_fma+29,2326848056 669*Psul_fma-24,6745053471748*STA_fma- 16,8494504469706*CPAC_fma	0,72	1363,84	4,41

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 25 mostra o resultado da aplicação da equação do modelo considerado como ótimo para prever a cota da cheia sazonal para o Município de Altamira levando em consideração as variáveis preditoras (explicativas) TSM e precipitação. Em geral, a série de cota sazonal é consistente com a observação para a região de Altamira do período de 2003 a 2012. No entanto, alguns valores previstos em anos isolados são notoriamente discrepantes em relação ao observado, a exemplo de 2005, 2006 e 2008. O coeficiente de determinação (R²) ratifica que 72,0% da variância da cota prevista é explicada pela variância da cota observada; ao passo que o Erro Quadrático Médio (MSE) e o Erro Quadrático Médio Percentual (MAPE) indica o bom desempenho do modelo (Tabela 8).

Figura 25 - Séries temporais da cota observada (de 1979 a 2012-linha em azul) e simulada (2003 a 2012-10 anos de previsão, linha em vermelho) em MAM pelo modelo estatístico de regressão múltipla para a região do município de Altamira-PA.

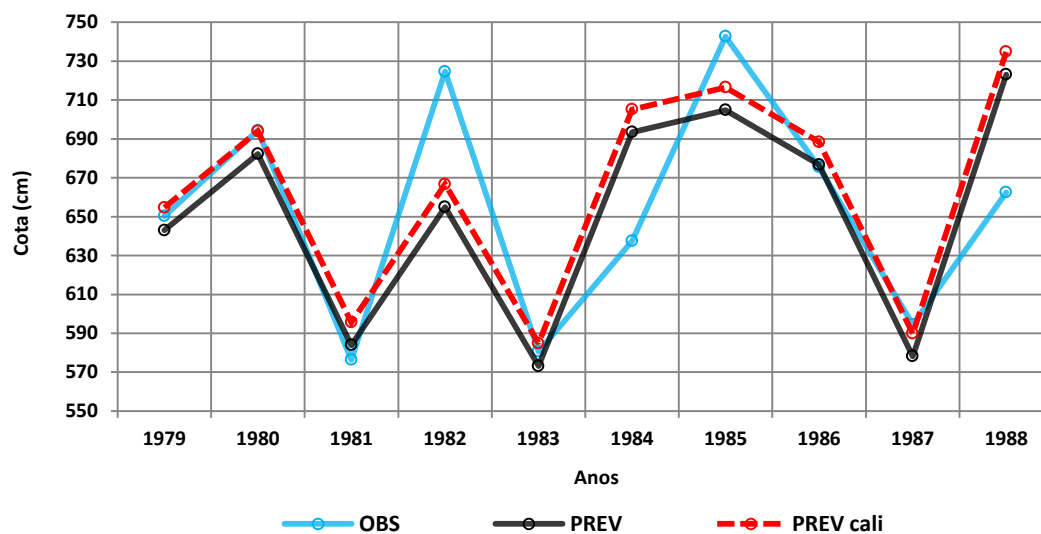


Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.3 Calibração e validação do modelo

A Figura 26 mostra as séries temporais da cota observada, a cota prevista e a cota calibrada do modelo para o período de 1979 a 1988. Assim como no modelo apresentado na Figura 25 (período de 2002 a 2012) esse período acompanha a sazonalidade da cota observada. A cota calibrada se aproxima bem da cota observada nos anos de 1979, 1980, 1981, 1983, 1986 e 1987, demonstrando boa consistência, nos demais anos ora subestima (1982 e 1985), ora superestima (1984 e 1988), mas sempre acompanhando a cota observada, mostrando boa correlação entre os dados observados e calibrados (0,76). Também mostrou bom desempenho através do resultado do coeficiente Nash Sutcliffe (0,52). Os próximos dez anos (1989 a 1998) foram usados para a validação do modelo (Tabela 9), a qual mostrou um alto valor do coeficiente de determinação (R^2) que foi de 0,89. O erro médio percentual absoluto foi menor que 3% e o valor do coeficiente de Nash Sutcliffe foi 0,79. Com esses valores percebe-se que nesse período o modelo mostra consistência.

Figura 26 - Séries temporais da cota observada (em azul), simulada (linha pontilhada em vermelho) e calibração do modelo estatístico de regressão múltipla para o período de 1979 a 1988.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 - Validação do modelo utilizando os parâmetros coeficiente de determinação (R^2), Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE), Erro Médio Quadrático (MSE) e o coeficiente de Nash Sutcliffe para o período de 1989 a 1998.

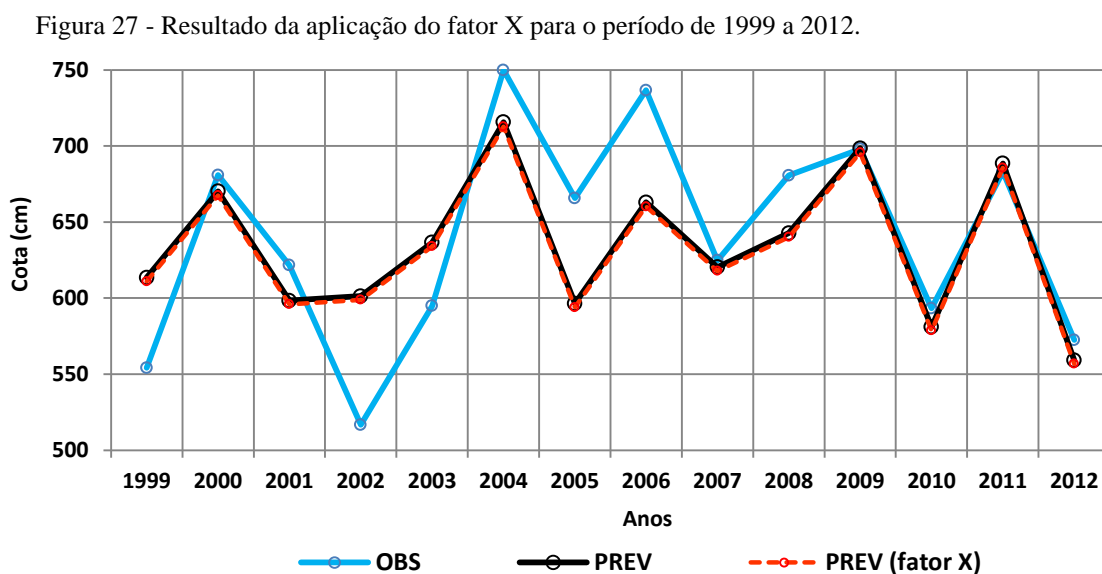
Período	R^2	R^2 ajustado	MAPE	MSE	Nash Sutcliffe
1989 a 1998	0,89	0,80	2,73	856,66	0,79

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o período de 1999 a 2012 (Figura 27) foi aplicada a correção do modelo através do fator X (valor obtido a partir da divisão da média entre dois períodos e multiplicando o resultado aos valores previstos), aplicado a fim de melhorar a estimativa dos dados previstos para esse período. Como o resultado obtido a partir do fator X foi de aproximadamente 1, não alterou muito os resultados previstos.

Observa-se nesse período que assim como nos outros há um acompanhamento dos dados previstos em relação aos dados observados, porém em certos anos não alcança os picos máximos, como por exemplo, os anos de 2004 e 2006 e alguns pontos mínimos (1999 e 2002). O modelo se torna com ótimo desempenho a partir de 2009.

Assim como para os demais períodos calculou-se o coeficiente de Nash Sutcliffe, nesse caso a partir dos resultados após o fator X, onde o resultado foi satisfatório (0,58). O Nash do período de 2003 a 2012 foi aproximadamente 0,3. Com isso percebe-se que houve uma melhora considerável no desempenho do modelo. Deve-se levar em consideração que houve um aumento na quantidade de anos desse período para o modelo do período de 2003 a 2012, o que talvez tenha contribuído para essa melhora no resultado do coeficiente.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.4 Limitações do modelo

O modelo utilizado nesta pesquisa é empírico (linear), pois em sua formação não utiliza equações físicas que descrevem os processos não lineares do ciclo hidrológico, sendo, portanto, o empirismo a primeira limitação.

A utilização do ajuste dos mínimos quadrados despreza os erros aleatórios provenientes de variáveis não consideradas na correlação e que podem ser ou não relevantes para explicar a variável independente, portanto tais variáveis passam a pertencer aos resíduos.

Outra limitação, e agora em particular deste modelo, é o fato dos dados observados de precipitação, uma das variáveis explicativas, ser media através de dados de interpolação, já que existem falhas nos dados da estação. A interpolação não mostra o valor real medido naquele ponto, já que utiliza dados de estações a certa distancia.

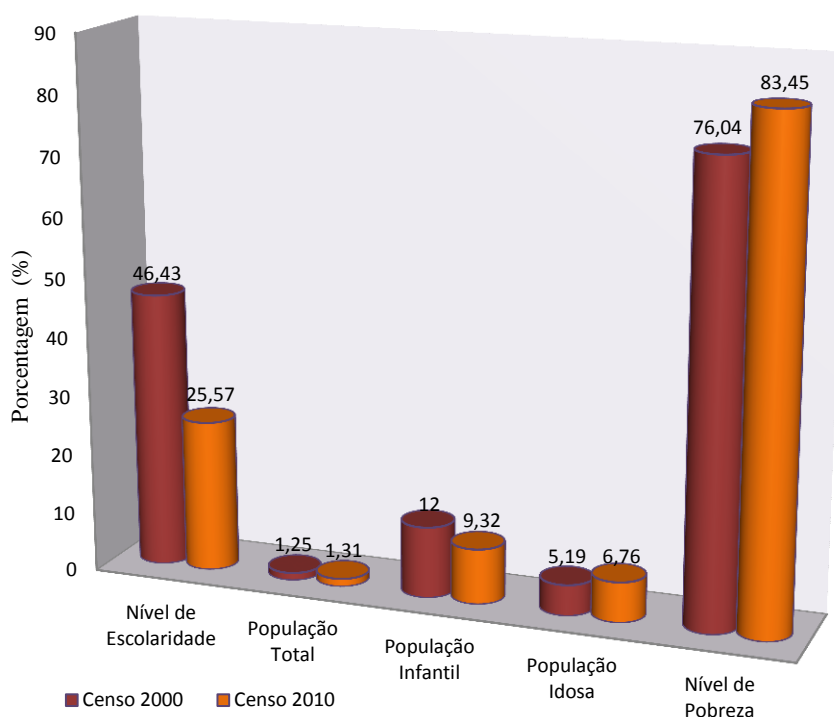
Por ser empírico não pode ser utilizado para prever impactos na cota de um cenário alterado de forma antrópica ou natural.

5.4 Análise da vulnerabilidade social no município de Altamira

A Figura 28 mostra os valores percentuais das variáveis que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social do Município de Altamira-PA, conforme dados do Censo Demográfico do IBGE para os anos de 2000 e 2010.

Fazendo uma comparação das variáveis entre os dois censos percebe-se que a variável População Total (PT) do município representava 1,25% do valor total da população do Estado no ano de 2000, e 1,31% em 2010. O Nível de Pobreza (P) do município era de 76,04%, no ano 2000 e em 2010 esse valor aumentou para 83,45%. A porcentagem das pessoas que tinham menos de quatro anos de estudo - Nível de Escolaridade (E) - em Altamira, no ano de 2000, era 46,43% e em 2010 diminuiu para 25,57%. A População Idosa (PID) representava 5,19% no censo de 2000, já em 2010 aumentou para 6,76%. A População Infantil (PIN) do município mostrou diminuição em 2010, 9,32%, comparado a 12% no ano 2000.

Figura 28 - Variáveis que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social do Município de Altamira, para os censos do IBGE, dos anos de 2000 e 2010.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nestas proporções, identificou-se o nível de vulnerabilidade da população estudada para as cinco variáveis, nos dois anos estudados. Os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Nível da Vulnerabilidade da população do município de Altamira conforme cinco variáveis socioeconômicas, e IVS calculado para os anos de 2000 e 2010.

Variáveis	2000		2010	
	%	Classificação da vulnerabilidade	%	Classificação da vulnerabilidade
População Total	1,25	1	1,31	1
População Infantil	12	2	9,30	1
População Idosa	5,19	1	6,70	1
Nível de Escolaridade	46,43	2	25,57	1
Nível de Pobreza	76,04	3	83,45	3
IVS calculado		1,8		1,4

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos níveis de classificação da vulnerabilidade para as cinco variáveis, no município de Altamira o IVS calculado para o ano de 2000 foi de 1,80 e para o ano de 2010 diminuiu para 1,40. De acordo com o método desenvolvido por Szlafsztein et al.

(2010), estes valores calculados do IVS posicionam o município de Altamira como moderadamente vulnerável no ano de 2000 (IVS calculado entre 1,8 e 2,3), e de baixa vulnerabilidade (IVS calculado entre 1,0 e 1,7) no ano de 2010.

As variáveis que mais contribuíram com a redução do índice de vulnerabilidade social foram, portanto escolaridade e população infantil com substanciais melhorias, que contrabalancearam o aumento nas porcentagens das outras três variáveis, sem porém alterar seus índices relativos.

6 DISCUSSÃO

O problema das enchentes recorrentes que impactam diretamente o meio ambiente, as atividades econômicas e a sociedade ocorrem em muitos municípios que estão à margem dos rios amazônicos. Souza e Almeida (2010) mostram que as comunidades que vivem às margens do rio Amazonas sofrem graves impactos socioeconômicos causados pelas cheias.

Os municípios paraenses, como por exemplo, Santarém, Marabá e Altamira enfrentam grandes dificuldades no período conhecido como inverno amazônico (de dezembro a maio). Nesse período tem-se um grande aumento na pluviometria e consequentemente no nível das águas dos rios da Amazônia, influenciado por sistemas meteorológicos como a ZCAS e da ZCIT, assim também como a TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico. O estudo de Lucas, Sousa e Silva (2009) para a região do rio Xingu utilizando a técnica de agrupamento, permitiu identificar a influência desses sistemas meteorológicos sobre o rio Xingu. Outros estudos como os de Carvalho, Jones e Liebmann (2004), Souza (2004) e Espinoza Villar et al. (2009a) também deixam claro a influencia dos fenômenos e da TSM na precipitação sobre a Amazônia.

O resultado em relação à precipitação do rio Xingu, é que a mesma aumenta de acordo com o percurso do rio, ou seja, de montante para jusante (sul-norte), existindo uma defasagem entre o pico da precipitação e da cota fluviométrica no município de Altamira. O resultado da Figura 20 mostra que cada vez mais o pico de cheia está ocorrendo mais cedo, pois é perceptível quando se mostrou o comportamento do ano hidrológico separadamente das décadas de 80, 90 e 2000.

De acordo com Costa, Botta e Cardille (2003) as modificações na descarga de longo prazo de um rio pode ser causada por mudanças na variabilidade do clima decadal ou interdecadal, em decorrência de mudanças no uso e cobertura da terra em uma bacia a montante. A conversão de vegetação, floresta tropical ou cerrado para pastagem, pode interromper o hidrológico ciclo de uma bacia de drenagem, alterando o equilíbrio entre chuva e evaporação e, por conseguinte, a resposta do escoamento da área. A redução de evapotranspiração depois da mudança de cobertura do solo provoca um aumento consistente na descarga ao longo do ano, concluíram Costa e Foley (1997), Zhang, Dawes e Walker (2001) e Costa (2003).

Estudos mostram que o desmatamento vem aumentando ao longo do rio Xingu. De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental (2009) ao longo dos últimos anos, a vegetação nativa da região do rio Xingu vem sofrendo grande transformação, com

muito desmatamento e degradação ambiental. Teixeira e Soares Filho (2009) concluíram que 50% da ocupação média das áreas da cabeceira do rio Xingu são originalmente em áreas florestais.

Bruijnzeel (1990) enfatiza que o aumento de infiltração e redução da evaporação está associado com a mudança do uso da terra, então uma mudança no regime do fluxo do rio pode ser esperada com o aumento de picos durante a estação das chuvas e dos fluxos reduzidos durante a estação seca.

Os resultados referentes à variabilidade e a tendência das cheias sazonais do rio Xingu na região de Altamira mostraram que a variabilidade temporal na escala sazonal é relativamente considerável. O município teve nas últimas décadas dez eventos de cheias contra oito eventos de seca. O resultado obtido pelo teste não paramétrico de Mann Kendall mostrou que a região de Altamira possui tendência positiva de cheia, apesar de não ser significativa. Este resultado é condizente com estudos prévios que indicaram sinais fracos de tendência positiva e negativa do regime hidrológico das sub-bacias da margem direita do Amazonas concluídos por Marengo (2009) e Espinoza Villar et al. (2009b).

Apesar dos resultados relatados anteriormente é fato que muitos municípios na Amazônia necessitam de atenção em relação às cheias. Por isso, é que cada vez mais modelos hidrológicos vêm sendo desenvolvidos a fim de minimizar os impactos.

O modelo hidrológico de previsão desenvolvido nesta pesquisa para o Município de Altamira foi o modelo estatístico de regressão linear múltipla para prever a cota sazonal com resultados satisfatórios, pois representou bem o comportamento da série. Outro modelo desenvolvido para a região foi o de Lucas, Sousa e Silva (2009) que aplicaram o modelo hidrológico determinístico mensal de dois parâmetros e o modelo estocástico, porém estes utilizaram a vazão mensal do Xingu no Estado do Pará.

O modelo de regressão desta pesquisa foi desenvolvido para prever a cota sazonal do trimestre MAM, sendo o único, pois os demais modelos de regressão elaborados para rios da Amazônia, como por exemplo, Santos (2008) e Schöngart e Junk (2007) fizeram estudos mensais, sendo este para prever o nível máximo mensal do rio Negro e aquele a vazão mensal do rio Tocantins na região de Marabá.

O desempenho do modelo para a região de Altamira foi considerado satisfatório, pois obteve erro inferior a 5%, correlação entre as variáveis de 0,85, coeficiente de determinação 0,72 e coeficiente de Nash de 0,58 na calibração e de aproximadamente 0,8 na validação do modelo. Gottschalk e Motovilov (2000) propõem que o desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de NS (coeficiente

de Nash Sutcliffe) superar 0,70, e é considerado aceitável se o valor de NS ficar entre 0,36 e 0,70.

Getirana et al. (2011) relatam que coeficientes de desempenho aproximados obtidos nos períodos de calibração e validação permitem afirmar que houve certa consistência na parametrização do modelo.

Ao modelo foi aplicada calibração automática. De acordo com Yapó, Gupta e Sorooshian (1996) vários modelos hidrológicos apresentam rotinas de calibração automática, pois esta pode ser reproduzível e independente da pessoa que a executa, devido a subjetividade presente na análise dos resultados.

Em relação ao estudo da vulnerabilidade social de Altamira constatou-se aumento no valor das porcentagens das variáveis (P, PID, e PT) e diminuição das variáveis (PIN e E) do Censo de 2000 para o Censo de 2010 do IBGE.

A população total de Altamira teve aumento nos dois censos do IBGE. Katayama (1993) conclui que com o crescimento da População Total a decisão de localizar populações em áreas susceptíveis a ameaças incrementa a vulnerabilidade da sociedade, pois o Estado ou Município nem sempre está preparado, ou seja, não tem uma capacidade de resposta suficiente que supra a real necessidade em situação de desastres.

A diminuição no percentual da educação em Altamira refere-se à quantidade de pessoas com menos de quatro anos de estudo, ou seja, aquelas que têm um mínimo de estudo. Segundo o PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) o município de Altamira apresentou IDHM Educação (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de 0,322 em 2000 e 0,548 em 2010, índice considerado, apesar do aumento em 2010, ainda baixo (ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL, 2013), e o baixo nível de escolaridade limita a capacidade de compreender a informação de advertência e acesso a informação de recuperação. Além disso, o baixo nível educacional tem sido identificado como um dos fatores determinantes dos elevados índices de pobreza, que por sua vez, também está relacionado à vulnerabilidade social (REIS; TRINDADE, 2002).

O resultado dos censos mostrou aumento na população idosa de Altamira, e de acordo com o Atlas do Desenvolvimento no Brasil (2013) esse número só tende a aumentar, pois, o IDHM longevidade do município estava em 0,811 em 2010, índice considerado muito alto. Quarentelli (1994) expõe que as pessoas idosas além de apresentarem pouca capacidade de resposta em caso de desastre, também sofrem

quando suas casas devem ser evacuadas e encontram dificuldades para recuperar-se da perda dos seus pertences e outras economias.

Outra variável que teve aumento em 2010 foi o Nível de Pobreza do município de Altamira, pois uma maioria tem rendimento inferior a dois salários mínimos. De acordo com Szlafsztein (1995) a pobreza está relacionada estreitamente à marginalização social e a carência de acesso a recursos, o que transforma a população pobre no alvo principal dos impactos dos desastres naturais, pois geralmente estão instaladas em áreas de risco como localidades próximas aos rios e em áreas com alto risco de alagamento (as baixadas).

Crespo e Gurovitz (2002) concluem que a pobreza é um fenômeno multidimensional em que há a falta do que é necessário para o bem-estar material. Associa-se a esse conceito a falta de voz, poder e independência dos pobres que os sujeita à exploração; à propensão à doença; à falta de infraestrutura básica, à falta de ativos físicos, humanos, sociais e ambientais e à maior vulnerabilidade e exposição ao risco.

Assim, o IVS mostra que atualmente o município de Altamira apresenta baixa vulnerabilidade social. Contudo, estudos mais detalhados são necessários para compreender as especificidades da vulnerabilidade social dos grupos específicos no município, o que poderá alterar esta classificação, provavelmente devido à construção de Belo Monte.

7 CONCLUSÕES

A partir da caracterização climatológica pôde-se afirmar que a mesma do rio Xingu está relacionada ao campo de TSM nos Oceanos Atlântico e Pacífico bem como aos sistemas meteorológicos da Zona de Convergência do Atlântico Sul e principalmente da Zona de Convergência Intertropical, estes atuando de forma conjunta de dezembro a maio.

O trimestre Março, Abril e Maio foi determinado como o período de cheia sazonal do município de Altamira, uma vez que são os meses com maior pico de cota do rio Xingu. A partir da análise desse trimestre percebeu-se uma marcante variabilidade interanual. A cota do rio Xingu, em Altamira, vem ao longo das décadas mostrando uma modificação no comportamento mensal.

O modelo estatístico de previsão de cheia desenvolvido para Altamira é um modelo pioneiro para essa região e mostrou bom desempenho, sendo válido para o Município, pois será uma forma de nortear as ações preventivas da cheia e assim minimizar os impactos causados na região, já que esta sofre todos os anos quando o rio Xingu apresenta aumento em sua cota fluviométrica causado pelo aumento na pluviometria.

O município de Altamira foi considerado como moderadamente vulnerável em 2000 e de baixa vulnerabilidade social em 2010. Porém, esse resultado pode não configurar a situação atual no município, pois se sabe que com a construção da Hidrelétrica de Belo Monte, muitas pessoas se deslocaram para o município, o que deve ter causado alterações nos valores das variáveis.

Contudo, o IVS não é uma construção perfeita para a classificação da vulnerabilidade social de uma região, pois considera uma quantidade pequena de variáveis e a literatura mostra que vários são os fatores que devem ser levadas em consideração para se classificar a vulnerabilidade social. Os resultados da análise realizada demonstram a necessidade de desenvolver um índice com um conjunto mais robusto de variáveis que permitam identificar diferenças internas ao município.

REFERÊNCIAS

ACEITUNO P. On the functioning of the southern oscillation in the South American sector: surface, climate. **Monthly Water Review**, [local], v. 116, p. 505-524, 1988.

ACSELRAD, H., MELLO, C. Elementos para análise do RIMA de Belo Monte à luz das conclusões e recomendações do projeto Avaliação de Equidade Ambiental. In: MAGALHÃES, S. M. S. B.; HERNANDEZ, F. D. M. **Painel de especialistas: análise crítica do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte**. Belém: [s.n.], 2009. p. 29.

AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS (ANA). Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Banco de dados SNIRH. Disponível em: <<http://www.ana.com.br>>. Acesso em: 05 maio. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS. Resolução n. 48, de 28 de fevereiro de 2011.

ANAPU em foco. Disponível em :<<http://anapuemfoco.blogspot.com.br/2012/02/exercito-remove-atingidos-pela-cheia-em.html>>. Acesso em: 13 dez. 2012.

ATLAS do desenvolvimento humano no Brasil. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking>. Acesso em: 13 jun. 2014.

BECK, M. B. Walter quality modeling: a review of the analysis of uncertainty. **Water resour. Res.** v. 23, p. 1393-144, 1987.

BERMANN, C. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 15, n. 1, p. 5-23, jun. 2012.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral Projeto radambrasil. **Folha SD. 23 Brasília:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral,. 1982. 29 655 p.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SC.22 Tocantins:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1981. 520 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estudos preliminares e formulação de uma proposta técnica para a implantação de um mosaico de Unidades de Conservação no Médio Xingu**. Brasília: MMA – ISA, 2003.

BRUIJNZEEL, L.A., Tropical forests and environmental services: not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems and Environment** . 2003.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, July 2004.

CASTELLANET, C.; SIMÕES, A.; FILHO, P. C. Diagnóstico preliminar da agricultura familiar na Transamazônica: Indicações para pesquisa-desenvolvimento. 1994.

COSTA, M. H., BOTTA A., CARDILLE J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.283, p. 206–217, 2003.

COSTA, M.H., FOLEY, J.A., The water balance of the Amazon basin: dependence on vegetation cover and canopy conductance. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v.102, p. 23973–23989, 1997.

COSTA, M.H., Large-scale hydrological impacts of tropical forest conversion. In: BONELL, M.; BRUIJNZEEL, L.A. (Eds.). **Forest–Water–People in the Humid Tropics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

CRESPO, A. P. A., GUROVITZ, E. A pobreza como um fenômeno multidimensional. **RAE-eletrônica**, v. 1, n. 2, 2002.

CUTTER, S. L. Vulnerability to Environmental Hazards. Progress in **Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529–39. 1996.

CUTTER, S. L., B. BORUFF, W. L. SHIRLEY. “Indicators of Social Vulnerability to Hazards.” Unpublished paper. Columbia, S.C.: University of South Carolina, Hazards Research Lab. 2001.

CUTTER, S., BORUFF, B., SHIRLEY, W. Social vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, p. 242 -261. 2003.

ELETRONORTE. **AAI – Avaliação Ambiental Integrada Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu**. São Paulo, 2009. V. 1.

ELETRONORTE. **Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica CHE Belo Monte**, versão Eletronorte, 2001.

ESPINOZA VILLAR, J. C. E., GUYOT, J.L.; RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.P.; FRAIZY, P.; LABAT, D.; DE OLIVEIRA, E.; ORDOÑEZ GÁLVEZ, J.J.; VAUCHEL, P. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004), **Journal of Hydrology**, v. 375. N. 3-4, p. 297–311, 2009a.

ESPINOZA VILLAR, J. C. E.; RONCHAIL J.; GUYOT J. L.; COCHONNEAU G.; NAZIANO F., LAVADO W.; OLIVEIRA E., POMBOSA R.; VAUCHEL P. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International journal of climatology**. December. 2009b.

FEARNSIDE, P.M. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. **Novos Cadernos NAEA** v. 12, n. 2, p. 5-56, 2009.

FEARNSIDE, P.M. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil’s Hydroelectric Development of the Xingu River Basin. **Environmental Management**, v 38, n 1, p 16-27, 2006.

FÉLIX FILHO, J. **Amazônia: belezas e verdades dos rios**. São Paulo: All Print Editora, 2013. 136 p.

FILIZOLA, N.; SILVA, AGENOR V.; SANTOS, ANA MARIA C. Oliveira M.; A. Cheias e Secas na Amazônia: breve abordagem de um contraste na maior Bacia Hidrográfica do Globo. **T&C Amazônia**, v. 4, n. 9, ago. 2006.

FISCH, G. F.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FISCH, G., MARENGO, J.A., NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonia**, v 28, n 2; p 101-126.1998.

FRIEDLANDER M.. **Portal Mato Grosso** . Disponível em: <http://mteseusmunicipios.com.br/NG/conteudo.php?sid=294&cid=1328>>. Acessado em: 07 jan. 2014.

FU, R.; DICKINSON, R. E.; CHEN, M. WANG, H. How do tropical sea surface temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the equatorial Amazon?, **J. Clim.**, v 14, p 4003–4026. 2001.

GEORGAKAKOS, K. P.; KRYSZTOFOWICZ, R. Probabilistic and Ensemble Forecasting. **Journal of Hydrology**, v. 249, p. 1. 2001.

GETIRANA A. C. V., ROTUNNO FILHO O. C., MANSUR W. J., BONNET, M. P., SEYLER, F., GUYOT ,J. L., FRAPPART, F., MARTINEZ, J. M., ROUX, E., CALMANT, S., RAMILLIEN G., XAVIER, L., COLLISCHONN, W. Calibração e Validação de Modelo Hidrológico com Observações In Situ, Altimetria e Gravimetria Espaciais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n.1, p. 29-45, 2011.

GOTTSCHALK, L.; MOTOVILOV, Y. Macro-scale Hydrological Modelling – A Scandinavian Experience. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON: “CAN SCIENCE AND SOCIETY SAVE THE WATER CRISIS IN THE 21ST CENTURY – REPORTS FROM THE WORLD”, 2000, Tokyo. **Anais...** Tokyo: Japan Society of Hydrology and Water Resources, 2000. p. 38-45.

HALL, A.; BRANFORD, S. Development, Dams and Dilma: the Saga of Belo Monte. **Critical Sociology**, v. 38, n. 6, p. 851-862, 2012.

HASTENRATH, S., GREISCHAR, L. Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. **Journal of Climate**. v. 6, p. 743-758. 1993.

INFOESCOLA. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/>>. Acesso em: 02 dez. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Contagem da população. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 05 mar. 2013.

IVANAUSKAS, N.M., MONTEIRO, R., RODRIGUES, R. R. Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Rio Xingu. **Acta Amazônica**. v. 38, p. 387-402. 2008.

JORNAL O Liberal . Disponível em: <https://www.google.com.br/search?q=Jornal+O+Liberal+03/02/2010>>. Acessado em: 13 maio 2014.

JUNK, W. J., FURCH, K., The physical and chemical properties of Amazonian waters and their relationships with the biota. In: PRANCE, G. T.; LOVEJOY, T. E. (Ed.). **Amazonia**. Oxford: Pergamon Press, 1985. p. 3-17.

KATAYAMA, T. **Lifelines in urban areas**: To what extent can their importance during disasters be justified? Disaster Management in Metropolitan Areas for the 21st Century. , Nagoya: UNCDR Proceedings, 1993. p. 295-303.

KATZMAN, R. e FILGUEIRA, F “As normas como bem público e privado: reflexões nas fronteiras do enfoque ‘ativos, vulnerabilidade e estrutura de oportunidades’ (Aveo)”. In: _____ (Org.). **Novas Metrôpoles Paulistas**: população, vulnerabilidade e segregação. Campinas: Nepo/Unicamp, p 67-94. 2006.

KAZTMAN, R. Seducidos y abandonados: el aislamiento social de los pobres urbanos. **Revista de la CEPAL**, Santiago do Chile, n.75, p.171-189.2001.

KENDALL, M. G. **Rank correlation measures**. London: Charles Griffin, 1975. 220p.

KOUSKY V. E, KAYANO M. T., CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation: oceanic, atmospheric circulation changes and related anomalies. **Tellus** v. 36A, p. 490–504. 1984.

KUMMEROW, C., SIMPSON, J., THIELE O., BARNES W., CHANG, A. T. C., STOCKER, E., ADLER, R. F., HOU, A., KAKAR, R., WENTZ, F., ASHCROFT, P., KOZU, T., HONG, Y., OKAMOTO, K., IGUCHI, T., KUROIWA, H., IM, E., HADDAD, Z., HUFFMAN, G., FERRIER, B., OLSON, I W. S., ZIPSER, I E., SMITH, E. A., WILHEIT, T. T., NORTH, G., KRISHNAMURTI, T., NAKAMURA, K. The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit, **J. Appl. Meteor.** v. 39, p. 1965-1982. 2000.

LEVINE, DAVID M; STEPHAN, DAVID F; KREHBIEL, TIMOTHY C; BERENSON, L MARK. **Estatística – Teorias e Aplicações**. 5. Ed. Rio de Janeiro. 752 p. 2008.

LIEBMANN B, MARENGO JA. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazonia. **Journal of Climate** v.14: p. 4308–4318. 2001.

LINSLEY, R. K. **Engenharia de Recursos Hídricos**. São Paulo: McGraw Hill. 1981.

LUCAS, E. W. M., SOUSA, F. A. S., SILVA, F. D. S. Modelagem Hidrológica Determinística e Estocástica Aplicada à Região Hidrográfica do Xingu – Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 308 – 322. 2009.

MAGALHÃES, S. M. S. B.; HERNANDEZ, F. D. M. **Painel de especialistas**: análise crítica do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte. Belém: [s.n.], 2009. p. 29.

MANN, H. B. Econometrica. **The Econometric Society**, v.13, n.3, p.245-259. 1945.

MARENGO J. A, NOBRE C. A, TOMASELLA J, OYAMA M. D, DE OLIVEIRA G. S, DE OLIVEIRA R, CAMARGO H, ALVES L. M. The drought in Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p. 495–516. 2008.

MARENGO J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology** v.12, p. 853–863. 1992

MARENGO JA, HASTENRATH S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. **Journal of Climate**. v. 6: p. 617–627. 1993.

MARENGO, J. A; ALVES, L.M. Tendências Hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 20, n.2, p. 215-226. 2005.

MARENGO, J.A. Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s. **Hydrological Processes**, 2009.

MARENGO, J.A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N.P.; WAINER, I.C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833- 852. 2001.

MARINHO FILHO, G. M., ANDRADE R. S., ZUKOWSKI JUNIOR J. C., MAGALHÃES FILHO, L. N. L. Modelos Hidrológicos: Conceitos e Aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 6, n. 2, p. 35 a 47. 2012.

MENDONÇA, R. W. B.; BONATTI, J. P. Estudo da energética modal para episódios de ZCAS. Parte I: análise observacional. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, p. 360 – 380. 2008.

MOLINA, J. Questões hidrológicas no EIA BELO MONTE. In: MAGALHÃES, S. M. S. B., HERNANDEZ, F. D. M. **Painel de especialistas: análise crítica do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte**. Belém: [s.n.], 2009. p. 29.

MOSER, C. O.N. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction on strategies. **World Development**. Great Britain, v. 26, n. 1, p. 1-19. 1998.

MULLER, A.C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books. 1996.

MUZA, M.N.; CARVALHO, L.M.V. Variabilidade intrasazonal e interanual de extremos na precipitação sobre o centro-sul da Amazônia durante o verão austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 29–41. 2006.

NAGHETTINI, M., PINTO E. J. A. **Hidrologia Estatística**. 1. Ed. Belo Horizonte. 552 p. 2007.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models Part I - A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, p.282-290, 1970.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro. p 421, 1979.

NOBRE, C. A. E MOLION, **Climanálise Especial**. Edição Comemorativa de 10 anos. 1986.

NOBRE, P., SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **J. Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996.

O FENÔMENO El Niño - Oscilação Sul: teorias, observações e previsões. **Boletim De Monitoramento Climático- Monitor Climático**, Fortaleza, n. 2, Edição Especial, 1997.

OLIVEIRA FILHO, A.T., JARENKOW, J.A., RODAL, M.J.N. Floristic relationships of seasonally dry forests of Eastern South America based on tree species distribution patterns. In: Neotropical savannas and dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation (R.T. Pennington, G.P. Lewis & J.A. Ratter, eds.). **CRC Press**, Boca Raton, v.69, p.151-184, 2006.

OLIVEIRA FILHO, A.T., RATTER, J.A. Padrões florísticos das matas ciliares da região do cerrado e a evolução das paisagens do Brasil Central durante o Quaternário Tardio. In **Matas ciliares: conservação e recuperação** (R.R. Rodrigues & H.F. Leitão-Filho, eds.). Edusp/Fapesp, São Paulo, p.73-89, 2000.

OLIVEIRA, A.N., AMARAL, I.L. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**. v. 34, p. 21-34. 2004.

OLIVEIRA, L. C. K. **Papel do Monitoramento e da Previsão de Vazões no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. 177f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: UFRJ. 2003.

OLIVEIRA, V.P. S. **Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação**. PhD thesis, 166f. Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. 2003

PARÁ. Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável do Xingu: Decreto n° 7.340, de 21 de outubro de 2010. Belém: Governo do Estado do Pará, , 184 p. 2010.

PEZZI, L. P, UBARANA, V. E C. A. REPELLI. Desempenho e previsões de um modelo regional estatístico para a Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 18, n. 2, p. 129-145, 2000.

QUARENTELLI, E. The future will not be like the past. Facing the challenge. **National Academy Press**, Washington: 18-19. 1994.

QUINTAIROS, M.; V.; R. **Proposta Metodológica de Inclusão da Gestão de Riscos Naturais no Zoneamento Ecológico e Econômico**. 146f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará. Belém – Pará, 2012.

RECKZIEGE, B.; W.; ROBAINA, L. E'. DE S.; OLIVEIRA, E. L. de A. Mapeamento de áreas de risco geomorfológico nas bacias hidrográficas dos Arroios cancela e sanga do hospital, Santa Maria-RS. **Geografia Revista do Departamento de Geociências**. v. 14, n. 1, 2005.

REIS, A. A., TRINDADE, J. R. B. Perfil da distribuição de renda por escolaridade na região metropolitana de Belém: uma análise comparativa a partir dos dados das PNADs -1993 / 1998. **Revista Científica da UFPA**. v. 3, março, 2002.

RELATÓRIO DO IMPACTO AMBIENTAL (RIMA) Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte. 2009.

RENNÓ, C. D., SOARES, J., V. Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica. Cap. 2. Relatório Técnico Parcial: **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental** (Ministério da Ciência e Tecnologia/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2000.

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP. 840 p. 1998.

ROGERSON, P.A. **Métodos estatísticos para Geografia: um guia para o estudante**. 3ªed. São Paulo: Bookman, 2012.

ROSSI T. Disponível em: <http://www.engenhariaemsolucoes.com.br/index.php/estudo-da-unb-qualifica-manejo-florestal-na-amazonia/#more-10435>>. Acessado em: 03 dez 2013.

SALATI, E., DALL'OLIO, A., MATSUI, E., GAT, J. R. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. **Wat. Resour. Res.** v.15, p. 1250-1258. 1979.

SALMI, T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates. **Publications on Air Quality** n. 31, Finnish Meteorological Institute, 2002.

SALOMÃO, R. P.; VIEIRA, I. C. G.; SUEMITSU, C.; ROSA, N. A.; ALMEIDA, S. S.; AMARAL, D. D.; MENEZES, MOIRAH, P. M. As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 3, p. 57-153. 2007.

SANTOS, D. M. **Análise e Modelagem Hidrometeorológica na Bacia do Tocantins em Marabá-PA**. 118f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém. 2008.

SANTOS, G. M. Análise do EIA-RIMA – ICTIOFAUNA. In: MAGALHÃES, S. M. S. B.; HERNANDEZ, F. D. M. **Painel de especialistas: análise crítica do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte**. Belém: [sn], 29. 2009.

SANTOS, G. M. Impacto sobre quelônios e mamíferos aquáticos. In: MAGALHÃES, S. M. S. B.; HERNANDEZ, F. D. M. **Painel de especialistas: análise crítica do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte**. Belém: [sn], 29. 2009.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Defesa Civil. Disponível em: <<http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

SCHONGART, J., JUNK, W. J. Forecasting the flood-pulse in Central Amazonia by ENSO-indices. **Journal of Hydrology**, v. 335, p. 124-132. 2007.

SEVÁ FILHO, A. O. TENOTÃ-MÕ. **Alertas sobre as consequências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu**. 1ª edição, p. 94. 2005.

SILVA, V. B. S., KOUSKY, V., SHI, W., E., HIGGINS, R. W. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 847-861. 2007.

SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Rio de Janeiro, 1991, 72 p.

SIOLI, H. Das wasser im Amazonasgebiet. Forsch. **Fortschr**, v. 26, n. 21/22, p. 274-280, 1950.

SOUSA JÚNIOR, W. C., REID, J. Uncertainties in Amazon hydropower development: Risk scenarios and environmental issues around the Belo Monte dam. **Water Alternatives**, v. 3, n. 2, p. 249-268, 2010.

SOUZA, E.B de. Principais mecanismos dinâmicos associados a variabilidade de precipitação diária sobre a Amazônia oriental durante a estação chuvosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004.

SOUZA, E.B. de. KAYANO. M. T., TOTA, J., PEZZI. L., FISCH. G., NOBRE. C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica** v. 30, n. 2, p. 305-318. 2000.

SOUZA, J. C. R., ALMEIDA, R. A. Vazante e enchente na Amazônia brasileira: impactos ambientais, sociais e econômicos. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6.; SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2010, Coimbra. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

STICKLER, C. M.; COE, M. T.; COSTA, M. H.; NEPSTAD, D. C.; MCGRATH, D. G.; DIAS, L. C. P.; RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S. Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 23, p. 9601-9606, 2013.

SUPERINTENDENCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA (SUDAM). **Boletim Hidroclimático**, n. 1278, Maio de 2014.

SZLAFSZTEIN, C. Analysis of the “poverty-natural disaster” relationship in the city of Buenos Aires (Argentina). **Journal of Natural Disaster Science**, v. 17, n. 1, p.1-12, 1995.

SZLAFSZTEIN, C.; MARQUES, O.; MAIA, H.; PRETTE, M.; FISCHENICH, P.; ALTIERI, F. **Referências Metodológicas para mapeamento de Riscos Naturais na Amazônia: Mapeando as vulnerabilidades**. Brasília, MMA/GTZ, 60 p., 2010.

TEIXEIRA, G. G., SOARES FILHO, B. S. Simulação da tendência do desmatamento nas Cabeceiras do Rio Xingu, Mato Grosso – Brasil. **Anais XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Natal, Brasil, INPE, p. 5483-5490. 2009.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E.M; BERTONI, J. C. (Orgs). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS, 1998.

UNDRO. Victime des catastrophes naturelles et des conflits: L'enfance en premiere ligne. **UNDRO News**, p. 3-6. 1992.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA) Instituto de Geociências Laboratório de estudos e modelagem hidroambientais, 2013.

YAPO, P. O., GUPTA, H. V., SOROOSHIAN, S. Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data. **Journal of Hydrology**. v. 181, p. 23-48. 1996.

ZHANG, L., DAWES, W.R., WALKER, G.R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water Resources Research**, v. 37, p. 701–708. 2001.

ZHAO Q.H., LIU S.L., DENG L., DONG S.K., WANG C., YANG J.J. Assessing the damming effects on runoff using a multiple linear regression model: A case study of the Manwan Dam on the Lancang River. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1771 – 1780, 2011.