Estudo da morfometria de três sub- bacias urbanas no rio Xingu e as mudanças na dinâmica de inundações após a construção da usina hidrelétrica de Belo Monte em Altamira, PA¹

Study of the three urban sub-basins morphometry in the Xingu river and the changes in the flood dynamics after the construction of the Belo Monte hydroelectric plant in altamira, PA

Estudio de las tres morfometrías de las sub-cuencas urbanas en el río Xingu y los cambios en la dinámica de inundaciones después de la construcción de la planta hidroeléctrica Belo Monte en Altamira, PA

Rita Denize de Oliveira

Professora Doutora, UFPA, Brasil
denize40geoatm@gmail.com

Paulo Cesar Rocha

Professor Doutor, UNESP, Brasil.
pcrochag@gmail.com

Cristina do Socorro Fernandes Senna

Professora Doutora, Museu Paraense Emilio Goeldi - MPEG, Brasil.
polensenna@yahoo.com.br

¹ Parte da tese de doutorado apresentado junto a Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho e do Projeto Histórico Hidro geográfico da Usina Hidrelétrica de Belo Monte.

RESUMO

As sub-bacias dos igarapés Ambé, Altamira e Panelas integram a Bacia Hidrografia do Xingu, e atravessam a área urbana de Altamira, Estado do Pará. O estudo morfométrico das sub-bacias deu-se pela incidência de eventos de inundações graduais e bruscas. A análise morfométrica de três sub-bacias de acordo com procedimentos adotados por Christofolletti (1999), uso do software QGIS versão 3.0 e pesquisa de campo. A altimetria é uma das variáveis naturais de maior influência na incidência de inundações, no caso das inundações bruscas ressalta-se contribuição da variável uso e ocupação do solo, marcado pela presença de atividades degradantes como pecuária extensiva, implantação de açudes e barragens clandestinas e ocupação desordenada das planícies fluviais. A instalação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte modificou a dinâmica de inundação das planícies fluviais que interagiam com pulso de inundações do Rio Xingu (dinâmica de enchente e vazante), tornaram-se áreas de inundação permanente.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização, inundações, Rio Xingu e Usina Hidrelétrica de Belo Monte.

ABSTRACT

The sub-basins of the Ambé, Altamira and Panelas igarapés are part of the Xingu Hydrographic Basin, and cross the urban area of Altamira, State of Pará. The morphometric study of the sub-basins was due to the incidence of gradual and sudden flood events. The morphometric analysis of three sub-basins according to procedures adopted by Christofolletti (1999), use of QGIS software version 3.0 and field research. Altimetry is one of the most influential natural variables in the incidence of floods. In the case of sudden floods, the contribution of the variable land use and occupation is marked by the presence of degrading activities such as extensive cattle raising, dams and clandestine dams and occupation of the river plains. The installation of the Belo Monte Hydroelectric Power Plant modified the flood dynamics of the fluvial plains that interacted with the flood pulse of the Xingu River (flood dynamics and ebb), which became permanent flood areas.

KEYWORDS: Characterization, floods, Xingu River and Belo Monte Hydroelectric Power Plant.

RESUMEN

Las subbacias de los igarapés Ambé, Altamira y Panelas integran la Cuenca Hidrografía del Xingu, y atraviesan el área urbana de Altamira, Estado de Pará. El estudio morfométrico de las subcuencas se dio por la incidencia de eventos de inundaciones graduales y bruscas. El análisis morfométrico de tres subcuencas de acuerdo con procedimientos adoptados por Christofolletti (1999), uso del software QGIS versión 3.0 y investigación de campo. La altimetría es una de las variables naturales de mayor influencia en la incidencia de inundaciones, en el caso de las inundaciones bruscas se resalta contribución de la variable uso y ocupación del suelo, marcado por la presencia de actividades degradantes como pecuaria extensiva, implantación de azudes y represas clandestinas y ocupación desordenada de las planicies fluviales. La instalación de la Usina Hidroeléctrica de Belo Monte modificó la dinámica de inundación de las planicies fluviales que interactuaban con pulso de inundaciones del río Xingu (dinámica de inundación y fugas), se convirtieron en áreas de inundación permanente.

PALABRAS CLAVE: Caracterización, inundaciones, Río Xingu y Usina Hidroeléctrica de Belo Monte.

INTRODUÇÃO

A sub - bacia dos igarapés Ambé, Altamira e Panelas cortam a área urbana de Altamira, no Sudeste do Estado do Pará, e foram marcadas por diversas ocorrências de inundações urbanas graduais e brusca. Uma grave inundação brusca ocorreu no ano de 2009 como inúmeras perdas materiais e mais de 20.000 desabrigadas, gerando, portanto, a necessidade de um estudo que avalie aspectos naturais |por meio da análise morfométrica (área, altitude e linhas) e de uma avaliação sobre o uso e ocupação do solo.

As planícies de inundação apresentam várias dimensões para definição e caracterização. Na hidrogeomorfologia Leopold, Wolman e Miller (1964; p. 317) a planície deve apresentar: 1) canal do rio; 2) lagoas marginais; 3) Barras em pontal sobre o lado convexo das curvas do rio; 4) meandros abandonados, resultado da migração lateral do canal; 5) Sloughs (brejo, lamaçal, pântano ou igapó); 6) Diques naturais; 7) Backswamp deposits - A seção de uma planície de inundação, onde os depósitos de sedimentos finos e argilosos se acumulam após inundação; 8) Sand Splays – depósitos de areia grossa.

Na geomorfologia Suguio & Bigarella (1979) relacionam a planície de inundação a várzea. A várzea é parte integrante do plano aluvial forma fundamental da erosão lateral. Aspectos importantes são apresentados: a) a várzea constitui um aspecto deposicional dos vales dos rios, associado ao clima e regime hidrológico dos rios;

Na Limnologia Sioli (1951) e Sioli & Kingle (1964) apresentam uma classificação das planícies associado ao tipo de rio. Os rios de águas brancas desenvolvem na planície uma atividade extraordinariamente acentuada, que modifica constantemente os seus cursos, em forma de sedimentação e erosão intensiva e simultânea. Ao contrário, os rios de águas claras possuem um leito fluvial estável. Suas cabeceiras se encontram em regiões geologicamente mais antigas e onde a planificação já está em grande parte concluída. Por isso, pouco material de solo, suspensivo e transportável, está à disposição de tais rios. Todas estas circunstâncias contribuem para que estes rios não criem uma várzea na parte principal dos seus cursos; a terra firme, coberta de floresta alta, avança em geral até a margem do rio. Nos rios de águas pretas apresentam largos vales que elaboram no terreno, o fundo destes vales é então coberto por uma floresta característica de inundação, o chamada de "igapó", pelo qual o verdadeiro leito fluvial se estende, ora em meandros, ora numa largura formidável de muitos quilômetros.

Do ponto de vista socioeconômico Lopes (2007) apresenta uma visão integrada e intrínseca entre a várzea (planície) de inundação e o varzeiro. A várzea é a designação usual para definir as grandes faixas marginais aos rios da planície de inundação de águas brancas (rios, furos e igarapés) do estuário amazônico, um ecossistema aberto que corresponde a maior porção de florestas inundáveis ocupando 3% da área da Amazônia. O varzeiro é aquele que vive as margens inundáveis dos rios, combinando estratégias de sobrevivência e produção, como agricultura familiar, extrativismo vegetal, criação de gado, extração madeireira, pesca, cultura de autoconsumo e sobrevivência.

O regime hidrológico é essencial na gênese das planícies é sustentabilidade das planícies de

inundação. De acordo com Poff² et al. (1997) o regime de inundação natural ou o regime hidrológico pode ser entendido como:

Um fluxo natural das águas que varia em escalas de tempo de horas, dias, estações, anos e mais. Muitos anos de observação de um medidor de vazão são geralmente necessários para descrever o padrão característico de fluxo de um rio quantidade, tempo e variabilidade das águas fluviais (POFF et. al, 1997, p.770).

Assim, o pulso de inundação é a principal função de força nos grandes sistemas de vales de inundação e das várzeas amazônicas. Essas funções de força promovem condições ambientais diversas, alterações periódicas nas comunidades vegetais, animais, múltiplas e intensivas alterações entre as fases aquáticas e terrestres com processos bióticos de produção de matéria orgânica, decomposição, deposição de sedimentos, com alta diversidade de espécies. A conectividade entre áreas alagadas, canais naturais, lagos, rios e pântanos apresenta um gradiente de interações diretas e indiretas de grande importância ecológica e econômica, com reflexos no ciclo hidrossocial³ (TUNDISI, 2007, p. 112).

De acordo com Junk (2014) e Cunha, Piedade e Junk (2015) a três tipos de pulso de inundação, considerando magnitude e frequência: a) Pulso monomodal, b) Polimodal e, c) Plurimodal. No caso da bacia do Rio Xingu o Rio principal enquadra-se como um rio de pulso monomodal de alta amplitude, ou seja, um rio com amplitudes médias máximas acima de 4m são considerados como rios de pulsos altos em que a curva do fluxo básico (“base-flow”) mostra um padrão monomodal, com uma marcada fase de enchente/cheia e outra de vazante/seca. Por outro lado, os canais principais interagem com o Rio Xingu apresentam pulso polimodal, pois, por causa do tamanho pequeno das respectivas bacias hidrográficas, o nível da água de pequenos rios é fortemente afetado por chuvas locais. Pulsos de curta duração ocorrem principalmente na época chuvosa durante ou logo após chuvas intensas, e não são previsíveis.

A construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte modificou pulso monomodal em função da construção da barragem e do desvio de canal principal, a localização do núcleo urbano de Altamira a montante da barragem, propiciou a inundação permanente de grande trecho das planícies fluviais que ao invés de apresentarem pulso com cheia e vazante sazonais, tem o fluxo da água controlado

Na parte rio acima da barragem de desvio, a redução na velocidade da corrente dentro do trecho represado levará a um aumento na sedimentação (SYVITSKI ET AL., 2005). Isso vai transformar

² Na carência de dados em longo prazo a frequência das inundações de grande magnitude pode ser estimado por estudos paleohidrológicos de detritos deixados pelas enchentes (HUPP e OSTERKAMP 1985).

³ Segundo JUNK, (2000) os ciclos hidrossociais e hidroeconômicos nas áreas de várzea são de grande importância na exploração humana das várzeas. Os diferentes tipos de várzea e o gradiente ecológico-social na Amazônia impulsionam quatro principais atividades econômicas na várzea: pesca, exploração florestal, aquicultura e pecuária

as características heterogêneas do substrato rochoso da região num leito arenoso/lodoso homogêneo. Mudanças na profundidade e na transparência da água vão alterar a penetração da luz, causando prováveis impactos à disponibilidade de recursos bentônicos. Apesar da adoção da chamada vazão ecológica não pode-se concluir que as vazões a serem mantidas no TVR são insuficientes para a manutenção da vida aquática em determinados meses (OLIVEIRA e HORA, 2012).

As planícies fluviais dos igarapés Altamira e Ambé foram transformadas em Parques Ambientais em que a topografia foi alterada sensivelmente por meio de aterros, terraplenagem e construção de novas pontes e vias de circulação. Entretanto, na bacia do igarapé Pannels ações do Programa de Requalificação urbana foram menos impactante uma vez que não observou-se implantação de um Parque Ambiental, entanto, tem sido foco alterações como construção de um Reassentamento Urbano Coletivo Laranjeiras (RUC), dois piers de atracação de embarcações, construção de uma ponte sob o igarapé Pannels permitindo acesso ao aeroporto, que causou grande impacto de sobre a planície de inundação, Floresta Aluvial e ecossistemas complexos como as lagoas marginais.

Atualmente, inúmeras polêmicas permeiam a área de inundação permanente na ao processo de remanejamento compulsório, sobretudo, de áreas ecossistemas amazônicos, que não foram previstos no processo indenizatórios, a exemplo, de uma lagoa marginal, que teve os eventos de inundações agravados, tornando a área de elevado risco a vida humana, visto que foi densamente ocupada durante a construção da UHBM. Outro fato observado, que os processos de indenizações estão sendo questionados junto a Justiça Federal a exemplo da classe dos Oleiros, que no ano de 2018, deram início a uma serie de manifestações públicas, que culminou com retorno dos oleiros para planície do igarapé Pannels, cuja a população já havia que já havia sido totalmente remanejada pelo Norte Energia.

Portanto, a mudança na dinâmica de inundação das três planícies de inundação gerou inúmeros conflitos socioambientais, que perpassa pela solicitação reintegração de posse pela Norte Energia da antiga área de olaria do igarapé Pannels; e reivindicação dos moradores da lagoa por novas residências uma vez que pelo agravamento dos alagamentos na área as casas estão desmoronando. Diante da problemática a os objetivos da pesquisa são: a) Caracterizar as três sub-bacias quanto a sua suscetibilidade a inundações a partir da análise morfométrica; b) Avaliar se o agravamento dos alagamentos está relacionado ao tipo uso incluindo obras de engenharia como da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. A hipótese levantada é que a susceptibilidade a inundações graduais e permanentes agravamentos dos alagamentos estaria associado ao uso e ocupação da bacia e as obras de engenharia no curso do Rio Xingu.

MATERIAIS E MÉTODOS

As sub – bacias do igarapé Ambé, Altamira e Pannels estão localizadas na no médio curso da Bacia do Xingu, e atravessam a área urbana de Altamira (Figura 01). Segundo a classificação climática de Köppen Aw, clima é do tipo úmido tropical sem estação fria, com temperaturas médias acima de 18º C, precipitações médias de 2.000 mm/ano. (LUCAS et al. 2006).

A hidrografia possui como canal principal o Rio Xingu, marcado pela presença de ilhas e bancos arenosos, a exemplo, da ilha de Arapujá em frente ao núcleo urbano. Esses igarapés nascem na zona rural de Altamira e Brasil Novo e desembocam diretamente no Rio Xingu, na

A geologia é bastante complexa: Diabásio Triássico-Jurássico (Formação De Penatecaua); Formação Alter do Chão - Arenitos e conglomerados; Eoceno- Sedimentos indiferenciados de Neogeno e crostas de laterita; indiferenciado Sedimentos Quaternários (SAWAKUCHI et al. 2015; p.3).

Figura 01: Mapa de drenagem das três sub- bacias do igarapé Altamira, Ambé e Panelas que atravessam o perímetro urbano de Altamira

Fonte: OLIVEIRA (2017).

Na Geomorfologia regional predominam morrotes e morros e colinas médias do Planalto Marginal do Amazonas, na margem direita estão presentes morrotes e morros dos Planaltos Residual do Sul da Amazônia e colinas médias e pequenas da Depressão da Amazônia Meridional (BRASIL, 2009).

As tipologias florestais primárias identificadas no médio Xingu foram: Floresta Ombrófila Densa de terra firme; Floresta Ombrófila aberta com palmeira; floresta ombrófila aberta com cipó e palmeira Floresta Ombrófila Aluvial periodicamente inundada (MPEG, 2008). O uso do solo segundo o Instituto Socioambiental – ISA as principais atividades econômicas do médio curso da bacia do Xingu são a Madeira, pecuária, garimpo e atividade cacaueteira.

Dos procedimentos metodológicos foram realizados cálculos para obter parâmetros morfométricos conforme o quadro 01:

Por fim, foi realizado uma atualização das áreas de inundações permanentes, áreas visadas pelos oleiros para reativação para área de olarias, áreas de lagoas marginais com dinâmica de enchente e vazante alterada e áreas de parques ambientais a partir da análise multitemporal *landsat* e, utilização de software Arc GIS para confecção do mapa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os canais fluviais principais das sub – bacia das três sub - bacias são denominados regionalmente como igarapé, por se adequar as especificações conceituais de Sioli (1951) e Ab Saber (2003) uma vez que apresenta largura inferior ao rio Xingu. A taxa de luminosidade que incide sobre as águas é menor que o Rio principal, atravessam áreas sombreadas pelo dossel das matas por essa

condição apresentam coloração de suas águas pretas que correspondem a água marrom de café (SIOLI, 1951; AB SABER, 2003).

O igarapé Pannels destacou-se pelo maior comprimento do canal principal com aproximadamente 42 km, seguindo do igarapé Ambé com aproximadamente 34 km, e por fim o igarapé Altamira com aproximadamente 19 km. A sub-bacia do igarapé Pannels apresentou maior comprimento total dos canais com aproximadamente 367 km, a sub – bacia do igarapé Ambé apresenta um comprimento total dos canais aproximadamente 129 km, e a sub – bacia do igarapé Altamira apresenta um comprimento total dos canais de 44 km.

O índice de sinuosidade três canais principais concentraram-se entre 1 e 2 apresentando formas transicionais entre canais retilíneos e meandantes. Assim o igarapé Ambé apresentou 1,47 seguido do igarapé Pannels 1.24 e com o menor índice o igarapé Altamira com 1.14.

A forma da bacia foi avaliada utilizando o índice de circularidade que foram inferiores a um (1) nas três sub- bacias, ratificando que quanto mais próximo deste valor mais próximo da forma circular. Na sub-bacia do igarapé Pannels o índice circularidade é de 0,48, seguindo da bacia do igarapé Altamira 0,44, e a do igarapé Ambé em torno de 0,36. A forma geométrica dessas sub-bacias sugere condições naturais baixas a medias de sofrerem inundações, em condições normais de precipitação pluviométrica.

Quadro 01: Parâmetros morfométricos calculados para as três sub - bacias de drenagem.

Nº	Parâmetros	EQ,	Descrição	IMPORTANCIA PARÂMETRO NA ANÁLISE DE ENCHENTES INUNDAÇÕES
1	Área da Bacia	A	Corresponde a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial. Determinado o perímetro da bacia, a área da bacia poderá ser determinada utilizando softwares específicos, fornecida em M2 ou Km2.	Quanto maior for a área da sub - bacia, maior será o volume de água que passara pelo seu exutório, incrementando o efeito das enchentes no interior da bacia e a jusante da mesma.
2	Forma da Bacia	-	Normalmente o sistema ambiental apresenta uma forma, costuma-se atribuir uma forma de figura geométrica: círculo retângulo, quadrado.	Atualmente o estudo da formada bacia tem avançado para mensuração mais complexa no âmbito dos fractais, mas na Amazônia essa aplicação ainda é muito insipiente, utilizando-se ainda formas geométricas conhecidas (ASSIS et al. 2008; VESTENA e KOBAYAMA, 2010)
3	Índice de Circularidade	$IC = \frac{A}{Ac}$	É a relação entre a área da bacia é um círculo de mesmo perímetro (MILLER, 1953). Onde Ic é índice de circularidade; A é a área da bacia e AC é a área do círculo de igual perímetro. O valor máximo obtido é igual a 1,0, e quanto maior o valor mais próximo da forma da bacia circular se encontra a bacia	A forma da bacia influência na retenção da água das chuvas. Quanto mais circular, maior a retenção de água na bacia, aumentando a suscetibilidade as enchentes reduzindo os efeitos a jusante.

4	Amplitude Altimétrica da Bacia (H)	$H = AN - AF$	Diferença entre os valores altimétricos máximo e mínimo dentro da bacia. Geralmente corresponde à diferença de altitude entre o ponto mais alto (NA) e a altitude da desembocadura (AF).	A amplitude altimétrica é um parâmetro importante, pois, fornece a declividade da bacia hidrográfica, quanto maior a amplitude, maior a possibilidade de inundações rápidas e bruscas em uma situação de extremo climatológico. Vale ressaltar que de forma grosseira pode dar uma noção do perfil longitudinal e do gradiente do rio que é a representação gráfica da variação da declividade do canal (gradiente); desde a nascente até a foz nível de base formando uma linha irregular côncava para cima com gradiente maior em direção a nascente do que a foz (MACHADO & TORRES, 2012).
5	Índice de Rugosidade	$Ir = H \times Dr$	O índice de rugosidade combina qualidade de declividade e o comprimento das vertentes e a densidade de drenagem. Expressando-se como valor que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (H) e a densidade de drenagem (Dd), de modo que:	O índice de rugosidade é um importante parâmetro pois indica a possibilidade de ocorrência de erosão evidencia maior diversidade de ambientes e maior movimento do relevo, o que implica na variação das declividades e comprimento das vertentes, além da dimensão das drenagens. A declividade influencia na infiltração e nos processos erosivos, em função do escoamento superficial. Indica a dissecação do relevo. Quanto maior esse coeficiente, mais restritiva serão as possibilidades de uso. Poderá indicar ocorrência de inundações bruscas.
6	Índice de Sinuosidade	$IS = \frac{Lc}{dv}$	O índice de sinuosidade, proposto por Schumm (1963), relaciona o comprimento do canal principal com a distância vetorial entre os extremos do canal	Atualmente o estudo da formada bacia tem avançado para mensuração mais complexa no âmbito dos fractais, mas na Amazônia essa aplicação ainda é muito insipiente, utilizando-se ainda formas geométricas conhecidas (ASSIS et al. 2008; VESTENA e KOBAYAMA, 2010)

Fonte: OLIVEIRA, 2017.

Esse fato é corroborado pela interpretação do coeficiente de compacidade (K_c), que foram inferiores a 2 (dois). Na bacia do igarapé Altamira esse valor é de 1,47 para o igarapé Ambé 1, 45 e na bacia do igarapé Pannels igual a 1,26. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia hidrográfica circular. Para uma bacia alongada seu valor é significativamente superior à unidade (VILLELA e MATTOS, 1975) (quadro 01).

A amplitude topográfica das três sub-bacias é bastante variável. A sub – bacia Pannels a variação foi maior em torno de 214 m, seguida pela amplitude topográfica da bacia do igarapé Altamira com 108 m apesar de se tratar de uma bacia com área inferior as demais bacias analisadas, e

106 na sub – bacia do igarapé Ambé. Essas diferenças Altimétricas influenciaram a ocupação da histórica do núcleo urbano de Altamira que se instalou na planície e terraços fluviais na confluência com o Rio Xingu com cotas até 120 metros, com bairros consolidados como Catedral, Centro, Esplanada do Xingu e Premem.

As cotas acima de 130 metros foram ocupadas mais tardiamente, que envolvem dificuldades de deslocamento, custos na instalação das residências aplainamento do terreno, abertura de poços individuais nas residências etc. Desta maneira surgem bairros em áreas de transição como entre Planície e os Planaltos como o bairro Brasília, Ibiza, Sudam II que geralmente correspondiam a antigas fazendas que estavam no entorno do núcleo urbano (Figura 02).

Por meio de observações empíricas nas três sub-bacias podem ser consideradas como de pequeno e médio porte, aumentando a possibilidade de as chuvas recobrirem boa parte das extensões da bacia. Outro aspecto, importante a ser analisado diz respeito, a cobertura vegetal e uso do solo dessas sub - bacias, duração das chuvas durante o período chuvoso na região, permeabilidade dos solos e interação de diferentes pulsos de inundações do Xingu e das sub-bacias.

A análise morfométrica das três sub – bacias do Rio Xingu demonstrou que a probabilidade de inundações a partir dos índices obtidos por meio de cálculos de variáveis lineares, areais forneceram indicadores baixos a médios da possibilidade de ocorrerem inundações nesta bacia em função da geometria das sub bacias, apresentam formas mais alongadas que pode ser observada na análise visual do mapa de drenagem das três, pela baixa densidade de drenagem, pelo índice de circularidade inferior a 1, baixa sinuosidade dos canais é inferior a 1,5 que não o qualificaria como um canal meadrante típico, sendo evidente um padrão arborescente que os enquadram com um padrão dendrítico. A morfometria das três sub-bacias: Altamira, Ambé e Pannels é representada pelas características e índices apresentados sumarizados no quadro 02.

Quadro 02: Características morfométricas das sub-bacias do igarapé Altamira, Ambé e Pannels

Sistema de Drenagem	Unidade	Altamira	Ambé	Pannels
Ordem do rio principal	-	2ª	3ª	4ª
Padrão de drenagem	-	Subdendrítico	Subdendrítico	Subdendrítico
Densidade de drenagem	km/km2	0,58	0,56	0,69
Sinuosidade do curso	km/km	1.14	1.47	1.24
Comprimento do canal principal	Km	19, 024	33, 684	41, 737
Comprimento total dos canais	Km	44, 293	128, 902	367, 021
Comprimento da nascente a foz	Km	16, 566	22, 827	33, 532
Área de drenagem	-	-	-	-
Área da sub-bacia	Km2	75, 652	230, 347	529, 984
Perímetro da bacia	Km	45, 859	78, 567	104, 321
Relevo das sub-bacias	-	-	-	-
Altitude mínima	m	92	98	96
Altitude máxima	m	200	204	310
Amplitude Altimétrica	m	108	106	214
Forma das sub- bacias	-	-	-	-
Índice de circularidade (Ic)	-	0,44	0,36	0,48
Coeficiente de compactidade (Kc)	-	1, 47	1,45	1,26
Fator forma	-	0,27	0,44	0,47

Fonte: OLIVEIRA, 2017.

Além da amplitude topográfica considerável nas três sub – bacias, as inundações antes da construção da UHBM, pareciam estar relacionadas a uma interação existente entre o rio Xingu e os três afluentes e um setor de morfologia específica denominada Volta Grande do Xingu, que consiste em um meandro, com morfologia resultante de processos estruturais como linhas de fraturas e dobramentos desenvolvida do contato do Cráton Amazônico e a Bacia Sedimentar Amazônica. Apesar da análise da morfometria do Rio Xingu não apresentar-se como objetivo da pesquisa cabe inferir que a relação largura e profundidade do Rio Xingu é em torno de 389,7m (SILVA, 2012) que configura um perfil transversal muito largo e raso, essa morfologia reflete diretamente sobre a velocidade das águas do Rio.

De acordo com Silva (2012) relação vazão e velocidade demonstra que a cada acréscimo de $1000\text{m}^3/\text{s}$ tem-se um aumento na velocidade $0,5\text{ m/s}$ (SILVA, 2012; p. 189). A velocidade da vazão mantém-se baixa mesmo com um aumento considerável da vazão, em caso, de cheias de elevada magnitude, associada a pulsos locais dos afluentes resultantes de precipitação locais espera-se eventos de inundação de elevada magnitude em função dessa especificidade.

A vazão do rio Xingu apresenta-se influenciada pelo regime pluviométrico na bacia hidrográfica como um todo desde as cabeceiras. Ao observar a série histórica do posto de Altamira (ANA) definiram-se três grandes períodos: 1º (1971-1986), 2º(1987-2002) e 3º (2003 a 2014) (Figura 02).

Figura 02: Série histórica das vazões do Rio Xingu, demonstrando três grandes períodos

Fonte: ANA, 2017. Elaboração: OLIVEIRA, 2017.

As tendências dos eventos extremos de precipitação, que causam inundações estão associadas às anomalias de temperatura registradas em porções específicas do oceano Pacífico provocando o resfriamento (*La Niña*) e aquecimento (*El Niño*) superficial das águas do Pacífico Equatorial. As alterações no comportamento climático influenciam na intensidade dos ventos alísios, no volume de precipitação, nas cheias e secas dos rios (SALES, REBELLO E FÁTIMA, 2010; MARCUZZO E ROMERO, 2013).

Na prática, no setor onde estava instalado o núcleo urbano de Altamira apresentava maior vulnerabilidade a inundações, porém, não relacionado as geometrias das sub-bacias dos igarapés Ambé, Altamira e Panelas, mas a forma do rio Xingu Volta Grande (meandro). Em caso de chuvas locais a água é drenada rapidamente das sub-bacias em virtude da diferença altimétrica entre a área de cabeceiras e jusante dos três igarapés, especialmente o igarapé Altamira pelo comprimento de sua bacia, e dependendo do uso do solo nestas sub- bacias os impactos serão maiores.

ISSN 1980-0827 – Volume 16, número 7, 2020

A variação topográfica permite inferir sobre os três domínios geomorfológicos que abrangem a área urbana de Altamira, conforme detalhado na metodologia as áreas mais elevadas das sub-bacias com altimetria acima de 150 metros compõem o Planalto Residual Sul Amazônico frequentemente, rochas vulcânicas representadas por diabásios de idade jurássica da Formação Penatecaua com formas predominantes de morros e morrotes e do Planalto Marginal da Amazônia Baixos platôs da Amazônia Centro Oriental (DANTAS & TEIXEIRA, 2013) com topografia variando de 110 a 130 m são constituídos de colinas dissecadas abrangem bairros centrais com formas mais tabulares.

A última unidade é o Domínio Planície do Xingu abrange fluviais de idade holocênica e apresenta notável diversidade de formas de relevo, destacando-se planícies de inundação, recobertas no médio Xingu por matas de igapó e vegetação pioneira; um complexo sistema de drenagem repleto de igarapés, canais de drenagem, lagoas, remansos que foi transformada para instalação do núcleo urbano de Altamira e que sofria por inundações anuais, foi totalmente alterado com as obras da UHBM (Figura 03), com aparecimento de novos Reassentamentos Urbanos (RUCS), áreas revitalizadas por meio de parques ambientais do igarapé Ambé e Altamira e áreas de inundação permanente.

Figura 03 Evolução da ocupação urbana em Altamira antes e depois da instalação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte

Fonte: LAIG-UFPA, 2019.

As obras de engenharia de implementadas no canal do Rio Xingu, na Volta Grande do Xingu com a construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Belo Monte foi o principal fator de inundação permanente de bairros como Açaizal, invasão dos padres, Aparecida, Sudam I, uma vez que elevou o nível da lamina d'água, submergiu várias unidades hidrogeomorfológicas localizadas próximas a desembocadura dos igarapés. A praias do pepino foi submersa (Ponto 03) praia do Pajé foi submersa (ponto 06); Pedrais foram submersos no balneário pedral (ponto 09); lagoa marginal com tipo de inundação alterada (ponto 01) com alagamentos permanentes (ponto 01); planície fluvial parcialmente inundada (ponto 08) que interferem na dinâmica da paisagem (Figura 04).

A mudança na dinâmica de inundação das lagoas marginais antropogênicas originou uma alagamento crônico no local que tornou crítico o risco a inundação, como apontado pela Defesa Civil em (BRASIL, 2012) potencializando os movimentos socioambientais motivados pelo desmoronamentos de vinte três casas, cumprimento das determinações do IBAMA para

reconhecimento da população da lagoa como impactados pela Usina Hidrelétrica de Belo Monte. Outro movimento socioambiental é dos antigos oleiros que em agosto de 2018, ocuparam as antigas olarias no igarapé Pannels, sob a alegação da ausência de parte das indenizações ao grupo de oleiros.

Figura 04: Carta imagem da jusante do igarapé Pannels com pontos mais afetados pela inundação, os principais conflitos socioambientais na sub – bacia do igarapé Pannels⁴ e a direção dos fluxos populacionais: (01) Lagoa marginal com setas vermelhas demonstrando fluxo de repulsão da população em função dos alagamentos crônicos após a construção da UHBM reivindicando casas nos RUCs ou indenizações; (08) – Área Planície fluvial parcialmente alagada após a construção da UHBM de antiga olaria com fluxo de atração populacional tendo em vista a reativação das olarias em função de um alagamento parcial da área e divergências nas indenizações.

Fonte: OLIVEIRA, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As três sub – bacias dos três igarapés apresentaram características morfométricas naturais que sugerem um baixo a médio risco de inundação, a variável de maior relevância foi a topografia, com amplitude altimétrica acima de 100m associadas a precipitação local, uso do solo e a interação desses igarapés com a bacia do Rio Xingu. Essa interação complexa aponta para inundações relacionadas a eventos com influência regional como El Niño e La Niña que contribuem para maior ou menor incidência de eventos extremos, do início dos anos 70 até o ano de 2014 identificou três grandes períodos, sendo o último período com tendência a aumento das vazões, potencializadas pela morfologia da Volta Grande do Xingu que influencia na redução da velocidade do fluxo. Por outro lado, a intervenção antropogênica na região com a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte mudou completamente a dinâmica de inundação a montante da barragem alterando grandes faixas da planície de inundação que eram encobertas pelas águas do rio periodicamente, receberam volume de água permanente que gerou conflitos socioambientais como dos moradores da lagoa que sofrem com alagamentos crônicos, os oleiros que tiveram a profissão extinta no município pela inundação da planície do igarapé Pannels, extinção de refúgios naturais como pedrais, áreas de lazer da população como a praia do pepino.

⁴ As famílias do bairro Independente I, em março de 2018, foram reconhecidas pelo IBAMA como impactadas, e aguardam a retirada das famílias pela Norte Energia. O sindicato dos Oleiros também alega a necessidade de ressarcimento de indenizações dos oleiros que não foram indenizados conforme afirma o Sindicato dos Oleiros de Altamira –SINDOALTA.

Esse modelo de barragem na verdade suprimiu vários ambientes fluviais após a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. O risco de inundação brusca ainda é iminente mesmo com controle da vazão na barragem de Belo Monte, pelas especificidades geológicas, geomorfológicas e do uso da sub-bacia do Rio Xingu. As três sub-bacias apresentam dinâmica de inundação polimodal dependendo de picos de precipitação, do declive e do uso atual dessas barragens é possível que ocorra inundações bruscas como no ano de 2009.

O nível de inundação das unidades hidrogeomorfológicas tem dado origem a diferentes tipos de movimentos socioambientais que reivindicam por uma nova apropriação da área como as antigas olarias e movimento contrário de total abandono da área da lagoa marginal por meio da criação de assentamentos urbanos como na área e indenizações pela Norte Energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BRASIL, ELETROBRAS. LEME ENGENHARIA LTDA: **Aproveitamento Hidroelétrico (AHE) Belo Monte – Estudo de Impacto Ambiental (EIA)**. 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo. Editora Edgard Blucher Ltda. 1ª Edição. 1999. 236p.

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M.T.F.; JUNK, W.J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2015. 165p.

BRASIL, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa**. 2012. 6p.

LOPES, L. O. do C. **Várzea e varzeiros da Amazônia**. 1. Ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2008.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. A. S.; MENEZES, R. H. N.; COSTA, R. F.; OLIVEIRA, L. L. Regionalização da precipitação na bacia hidrográfica do Xingu, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2006, Florianópolis. Anais...2006.

MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. **Diagnóstico da vegetação e da flora da área de estudo da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, Estado do Pará**. Belém: Convênio MCT-MPEG/ELETRONORTE, 2002. Relatório Técnico. 171 p.

OLIVEIRA, R.D. **Dinâmica De Inundação Das Planícies Fluviais do Rio Xingu, na Região do Complexo Hidrelétrico De Belo Monte - Altamira -Pa**. UNESP. Presidente Prudente, SP. 2018. 398p.

SALOMÃO, R. de P.; VIEIRA, I.C.G.; SUEMITSU, C.; ROSA, N. de A.; ALMEIDA, S. S. de; AMARAL D. D. do; MENEZES, M.P. M. de. **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, 2007. p. 57-153.

SAWAKUCHI, A. O., HARTMANN, G. A., SAWAKUCHI, H. O.; PUPIM, F. N.; SOUSA, L. M., BERTASSOLI, D. J.; PARRA M., ANTINAO, J. L.; SABAJ PÉREZ, M. H.; OLIVEIRA, P. E.; SANTOS, R. A.; SAVIAN, J. F. ; GROHMANN, C. H. ; MEDEIROS, V. B. ; MCGLUE, M. M.; FAUSTINO, D. C. BICUDO, S. B. **The Volta Grande do Xingu: reconstruction of past environments and forecasting of future scenarios of a unique Amazonian fluvial landscape**. Published by Copernicus Publications on behalf of the IODP and the ICDP. Sci. Drill., 3, 1–12, 2015.

SYVITSKI, J.P.M., VÖRÖSMARTY, C.J., KETTNER, A.J., GREEN, P., **Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean**. Science 308, 2005. 376–380.

SIOLI, H. **Alguns resultados e problemas da Limnologia da Amazônia**. Boletim técnico do Instituto Agrônomo do Norte. Número 24. Belém. Pará. 1951. 44p.

SIOLI, H.; KINGLE, H. **Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia**. Boletim Geográfico. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1964. p.146-153. nº XXII

SIOLI, H. **Amazônia**: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Editora Vozes, Petropolis.1985.72p. (Tradução de John Becker).

OLIVEIRA, G.; HORA, M. **Estimativa da vazão ecológica no trecho de vazão reduzida do aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte**. XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2012. 4p.