



## Índice do Impacto da Pegada D'água ( $I_{pa}$ )

Ronaldo Rosales-Mendoza <sup>1</sup>  
Maria Aurora Santos de Mota <sup>2</sup>

### RESUMO

Fatores usados com frequência no cálculo da avaliação monetária dos prejuízos nas inundações são: a altura da lâmina d'água ou local na zona inundada, velocidade, a permanência (duração), a frequência, e, carga dos sólidos acarreados. O primeiro fator, é intitulado de diferentes maneiras, esses diferentes títulos são concentrados em “pegada d'água”, referindo-se ao rastro que fica depois de um alagamento ou inundação, como evidência do fato. Devido à necessidade de ter um valor que possa diminuir as discrepâncias e incertezas no cálculo dos prejuízos e conciliar os interesses dos usuários, é que se propõe o Índice do Impacto da Pegada d'água ( $I_{pa}$ ). Este índice foi determinado a partir da análise da precipitação ocorrida no período 2000-2016 em duas cidades, identificando os eventos extremos pela técnica do percentil, comparando os resultados com o registro de inundações, e realizando testes na proposta do cálculo. Reflexionasse sobre a conveniência do uso.

**Palavras-Chave:** Meio Ambiente; Economia; Meteorologia; Risco.

---

<sup>1</sup> Doutorado em andamento em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. Mestrado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. [ronaldorm@ufpa.br](mailto:ronaldorm@ufpa.br)

<sup>2</sup> Doutorado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil. Professora na Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. [aurora@ufpa.br](mailto:aurora@ufpa.br)

Lopardo e Seone (2000) sinalaram que as inundações constituem o fenômeno hidrometeorológico que provoca os maiores impactos na sociedade. Nos registros da base de dados de desastre internacionais, *Emergency Events Data Base* (EM-DAT), observa-se que a maior quantidade de desastres naturais no mundo acontece relacionada com eventos meteorológicos e hidrológicos. Eventos que segundo Rodriguez et al. (2009) continuarão acontecendo com maior frequência, devido ao aumento das precipitações, provocando inundações e deslizamentos.

A literatura usa com grande facilidade os termos: alagamento, inundação, cheia, ou desbordamento, muitas vezes, sem reparo das diferenças entre um termo e outro. As causas e efeitos vêm sendo estudadas a muitos anos indistintamente da terminologia usada, sendo uma das maiores preocupações dos pesquisadores e da administração pública.

Devido às perdas monetárias que provocam, seja, pela permanência ou não da água nas zonas ou áreas atingidas, existe a necessidade da determinação do valor monetário dos prejuízos sofridos pelos moradores das áreas atingidas, pois mesmo quando a chuva é rápida, sempre deixa um rastro de danos e prejuízos aos moradores, principalmente nas zonas com desenvolvimento urbano, sem esquecer outras atividades lucrativas como a agricultura ou gado. Além da relevância para os envolvidos, sejam moradores, governo, escritórios de assistência, seguradoras, bancos, e empresa privada. (Baró et al. 2011; Baró et al. 2012; Kobiyama & Fabris-Goerls 2007; López 2002; Lopardo & Seone 2000; Santos 2010; Santos & Rocha 2013).

Procurando calcular esse valor monetário, a evolução do pensamento gerou uma serie de soluções, por exemplo, no ano 1995, as propostas das estimativas de avaliação monetária econômica, segundo Salgado (1995) resumiam-se em três grandes grupos de estudos que incluíam: a) históricos da variação de danos; b) equações simplificadas; e c) variação na altura da inundação. Santillán et al. (1998), incluem os índices de impacto social final (I.I.S.F); o índice de impacto sobre as vidas (I.I.D.V); o índice de impacto sobre os bens materiais (I.I.M); o índice de conflito social (I.C.S); e o índice de marginalização social (n), na proposta os autores assumem um peso de 50% ao índice do impacto sobre as vidas, 20% aos bens materiais, e 30% ao conflito social.

No ano 2007, Kobiyama e Fabris-Goerls incluem o índice de operação eficiente (IOE) para diferenciar uma inundação com crescimento paulatino (*flood*), de outro produto de um alagamento repentino (*flashflood*), devido a que o alagamento paulatino inclui uma consideração de uma área seca que poderia estar urbanizada, sendo assim, a população poderia ser alertada, pois a inundação é um processo paulatino que inicia com a cheia, seguido do alagamento, até chegar realmente à inundação,

enquanto um alagamento repentino se apresenta inesperadamente e de forma violenta, acontecendo de modo geral nos canais dos rios, causando prejuízos nas áreas circunvizinhas.

Na evolução do pensamento científico, pode ser identificadas observações de desastres pontuais em diferentes pontos do planeta, que concordam com uso do histórico do evento, e equações simples, incluindo indicadores ou índices que reúnem na sua composição variáveis sociais, econômicas e naturais. Além disso, Rossi e Gonçalves (2012) mostram que, as técnicas possuem vantagens e desvantagens, dependendo da área, das características do terreno, do tipo de controle pretendido, dos custos com a manutenção. A debilidade para aplicar as metodologias, segundo Salgado (1995), reside na coleta detalhada de dados, feitos porta a porta, de todas as unidades na área atingida, o esforço exaustivo torna o procedimento, caro e demorado, não é aplicável em grandes concentrações urbanas.

Dentre os fatores usados com frequência, se encontram: a altura da lamina d'água ou altura local d'água na zona inundada, época do ano em que acontece, a velocidade, a permanência (duração), a frequência, carga dos sólidos acarreados e tempo disponível de resposta antes do alerta. (Salgado 1995; Estrada 1996; Lopardo & Seoane 2000; Blong 2004; Kobiyama & Fabris-Goerls 2007; Baró et al. 2011; Baró et al. 2012; Rossi & Gonçalves 2012).

O uso da altura d'água no cálculo do prejuízo ou dano, conforme Salgado (1995), já foi incluído nos estudos de Ecksteim em 1958 (*apud* Grigg & Helweg 1975), nas curvas históricas de danos; nas equações simplificadas de James & Lee (1971) e Bhavnagri & Bugliarello (1965); e principalmente nas curvas altura de inundação pelo prejuízo utilizadas pela *Federal Insurance Administration* (FIA) em 1970 a *USA Army Corps Engineers* (USACE) em 1970 e *Soil Conservation Service* (SCS) em 1974 (*apud* Grigg & Helweg 1975); Penning-Roswell & Chatterton (1977).

Apesar dos estudos já feitos, ainda existe uma aparente discordância nas medidas utilizadas. Estrada (1996) determinou uma altura de 1,5 metros, intitulado “altura da mesa” ou “cota de mesa” como indicador para avaliação monetária das perdas materiais. Enquanto, Paoli e Calvo (1988 *apud* Salgado 1995) a medida estimada foi de 0,80 metros, para Salgado (1995) a partir de 0,50 metros com incremento de 0,25 metros até um metro e depois um incremento a cada 0,50 metros até uma altura de 3 metros. Lopardo e Seoane (2000) consideram que a altura deveria ser de 0,90 metros. Por outro lado, Blong (2004) fez uma comparação entre os danos sofridos nas edificações, em diferentes eventos de furacões como o Katherine em 1988, e sugere a altura de 1,34 metros. Outras pesquisas propõe medidas de 0,53 metros (Sydney em 1986); menor que 0,50 metros (Clonccurry em 1997); 0,75 metros (Nynganem em 1990); e 0,68 metros (Inverellem em 1991), as mostras tomadas foram de,

respectivamente: 70, 31, 25, 23, e 04 edificações na área atingida, revelando, como observam Baró et al. (2012) a inconsistência pela aplicação diferenciada da porcentagem de danos em cada evento.

Do exposto, se deduz duas grandes necessidades: a) fornece uma ferramenta para determinar esse limite marcado nas paredes das propriedades nas áreas atingidas, e b) uma equação que reúna a condição média ambiental, os seja, a interação entre as condições naturais, sociais e econômicas. Este estudo se concentra na primeira necessidade identificada, obter uma forma de determinar o rastro da altura d'água. Por ser um fator, na aparência, de índole natural, se estuda a relação causa-efeito natural da precipitação sob a área atingida com inundações contínuas. O produto um índice que pode ser usado nos cálculos dos prejuízos monetários, reduzindo a incerteza e evitando seja determinado pela “expertise” do pesquisador, procurando que o cálculo pode ser feito com informações de uso público, e de fácil acesso e compressão.

## **METODOLOGIA**

A condição natural foi analisada dos fatores fortemente entrelaçados, a precipitação (chuva) e a altura da inundação. Partindo da revisão bibliográfica, buscou-se encontrar uma frase ou palavra cujo conceito, seja a “rastros d'água”, depois de um uma cheia, alagamento ou inundação de ordem unificada. O resultado contrário ao esperado motivou a introduzir o conceito da “Pegada d'água”, que é usado nesta pesquisa.

Os dados de precipitação correspondem à cidade de Belém do Pará, Brasil, fundada em 1616, localizada às margens da Baía do Guajará (01°26'06”S, 48°26'16”W). Ela está situada a uma distância de aproximadamente 100 km do Oceano Atlântico, é banhada pelo rio Guamá ao sul, Baía do Guajará e rio Pará a oeste, compreende uma área de 1.059,00 km<sup>2</sup> e possui uma população 1.526.423 habitantes conforme o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2010). A temperatura média é de 26°C, vento predominante de Nordeste com velocidade média de 10 km/h, umidade relativa de 87%, tem uma elevação acima do nível médio do mar de 16 metros.

Também foi utilizado os dados da precipitação da cidade de Carrillo de Guanacaste, Costa Rica, fundada em 1877, localizada nas coordenadas (10°26'45”N, 85°33'13”W), situada a uma distância de aproximadamente 02 km do Oceano Pacífico, compreende um área de 557,50 km<sup>2</sup>, e possui uma população de 37.122 habitantes, conforme o censo do Instituto Nacional Estatística e Censo, Costa Rica (INEC 2011). A temperatura média é de 23°C, vento de Este com velocidade de três km/h, umidade relativa de 94%, tem uma elevação sobre o nível médio do mar de 17 metros.

Os dados meteorológicos, são do período de 01 (primeiro) de janeiro de 2000 a 31 (trinta e um) de dezembro de 2016, foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia, Brasil (INMET), estação meteorológica de Belém-PA, e para Carrillo do Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica (IMN) da estação localizada no aeroporto de Liberia.

Os dados foram agrupados por mês, ano. A técnica do percentil foi utilizada para identificar as precipitações extremas, utilizando a Eq. (1) Percentil, conforme sugerido por Xavier et al (2007). Foram considerados eventos extremos de precipitações diários os valores maiores ou iguais a 70 mm para Belém e, 87 mm para a cidade de Carrillo, valor correspondente nonagésimo nono percentil (99%).

$$P_x = \left[ F_{i-1} + f_i \frac{X - L_i}{a} \right] \frac{100}{n} = \% \quad (1)$$

onde:  $P_x$  = Percentil buscado;  $F_{i-1}$  = Frequência absoluta acumulada anterior à porcentagem buscada;  $f_i$  = Frequência absoluta simples do intervalo da porcentagem buscada;  $X$  = Porcentagem buscada;  $L_i$  = Limite menor;  $a$  = Amplitude do intervalo que contem a porcentagem;  $n$  = Tamanho da mostra.

Usando a técnica de Campos et al. (2015) de obter notícias dos jornais locais (NJL) sobre as chuvas que afetaram a cidade e/ou sociedade, foi procurada as notícias dos eventos com precipitações maiores a 70 mm na cidade de Belém e de 88 mm na cidade de Carrillo. As datas com os eventos extremos identificados foram comparadas, com os informes das notícias no jornal local disponível pela internet, para comprovar acontecimentos de eventos de alagamentos e inundações.

Pela baixa frequência dos eventos extremos, foi tomada uma mostra em cada cidade da altura da lâmina d'água depois das inundações sofridas, no caso de Belém o dia 14 de maio de 2016 e de Carrillo o dia 5 de outubro de 2017.

Mediante uma equação da proporcionalidade de Thales de Mileto foi calculada a razão para cada cidade, conforme na Eq. (2), onde ( $h_x$ ) é a medida pontual da altura d'água na área de inundação e  $PRP$  é a precipitação.

$$\text{Razão da pegada d'água}(RPA) = \frac{h_x}{PRP} \quad (2)$$

A razão foi analisada pela correlação dos fatores calculando o coeficiente de regressão, usando as Eq. (3), Eq. (4), Eq. (5) e Eq. (6) para cada cidade com os dados das precipitações extremas no período 2000-2016, primeiro com todos os dados e depois com dados acima de 70 mm. Após o cálculo do coeficiente de regressão, foi construída uma tabela com a variação da Razão da Pegada d'água para cada 10 mm até 300 mm, realizando as comparações dos resultados.

$$y = mx + n \quad (3)$$

$$y - \bar{y} = \frac{O_{xy}}{O_{x^2}}(x - \bar{x}) \quad (4)$$

$$m = O_{xyfi} = \frac{\sum xyfi}{N} - \bar{x}\bar{y} \quad (5)$$

$$n = O_{x^2fi} = \frac{\sum x^2fi}{N} - \bar{x}^2 \quad (6)$$

Onde:  $y$ = Altura da pegada d'água;  $x$ = Precipitação;  $\bar{y}$ = Altura média da pegada d'água;  $\bar{x}$ = Precipitação média;  $m = O_{xyfi}$ = Covariância;  $n = O_{x^2fi}$ = Variância;  $N$ = Número de Dados;  $fi$ = Frequência.

A Eq. (7) foi aplicada, para testar o efeito da localização da área de estudo com referência ao nível médio do mar, no caso da cidade de Belém o ponto da medição se encontrava a 06 metros de altura, e a da cidade de Carrillo a 15 metros.

$$\text{Altura na medição}(h) = \frac{\text{Medição no ponto}}{\text{Localização ponto de medição referida ao NMM}} \quad (7)$$

Comparou-se os resultados de cada uma das opções da pegada d'água: a) somatória das razões da pegada d'água; b) média da somatória das razões das cidades; c) somatória das razões da pegada d'água incorporando a referência da localização no ponto da medição com relação ao nível médio do mar; e d) média da somatória das cidades incorporando a referência da localização no ponto da medição com o nível médio do mar, para identificar a melhor proposta como indicador do impacto da pegada d'água ( $I_{pa}$ ). Assim se aplicaram as Eq. (8), Eq. (9), Eq. (10) e Eq. (11).

$$I_{pa} = \left[ \frac{(h_{MB} + h_{BC})}{(PRP_B + PRP_C)} \right] \quad (8)$$

$$I_{pa} = \left[ \frac{(h_{MB} + h_{BC}) / (PRP_B + PRP_C)}{N} \right] \quad (9)$$

$$I_{pa} = \left[ \frac{\left( \frac{h_{MB}}{L_{pm} \rightarrow NMM} \right) + \left( \frac{h_{BC}}{L_{pm} \rightarrow NMM} \right)}{(PRP_B + PRP_C)} \right] \quad (10)$$

$$I_{pa} = \left\{ \left[ \frac{\left( \frac{h_{MB}}{L_{pm} \rightarrow NMM} \right) + \left( \frac{h_{BC}}{L_{pm} \rightarrow NMM} \right)}{(PRP_B + PRP_C)} \right] / N \right\} \quad (11)$$

Onde:  $h_{MB}$  = Altura no bairro Marco-Belém;  $h_{BC}$  = Altura no bairro Bambú-Carrillo;  $PRP_B$  = Precipitação Belém;  $PRP_C$  = Precipitação Carrillo;  $N$  = Quantidade de Observações;  $L_{pm} \rightarrow NMM$  = Localização do ponto da medição em relação ao Nível Médio do Mar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Confirmou-se uma relação direta de causa-efeito entre a precipitação e a altura d'água nas áreas e zonas atingidas constantemente com inundações, como foi estudada por Salgado (1995), Lopardo e Seoane (2000), Blong (2004), Kobiyama e Fabris-Goerls (2007), Baró et al. (2012) e Rossi e Gonçalves (2012). No entanto, a rasto da altura d'água e intitulada de diferentes formas como curva da altura de inundação, altura de mesa, cota de mesa, lâmina d'água. Neste estudo o rastro é intitulado “pegada d'água”, que é diferente da pegada hídrica, utilizada para cálculo econômico da produção de bens e serviços (Hoekstra & Hung 2002).

A “pegada d'água” foi analisada a partir da sua relação com a precipitação, o estudo histórico de duas cidades facilitou conhecer seu comportamento causa-efeito.

Usando o cálculo de percentil com k-eximo de 99% nos dados da precipitação na cidade de Belém, permitiu separar 46 eventos com valor acima de 70 mm, apresentado na Tabela 01, o dia 24 de abril de 2005 teve o maior evento com 200,8 (mm) da precipitação.

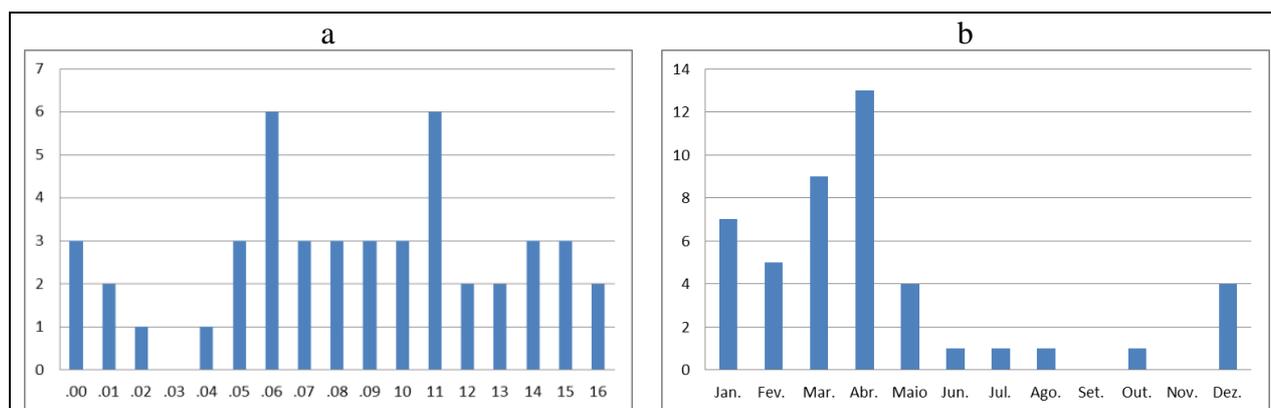
**Tabela 01.** Lista de Eventos Precipitações (PRP) Maiores que Limite Base para Belém do Pará, Brasil, Período 2000-2016.

Data	Precipitação	Data	Precipitação	Data	Precipitação
14/04/2000	133,7	27/01/2007	87,4	27/04/2011	75,9
17/04/2000	118,7	21/04/2007	98,2	12/05/2011	78
15/12/2000	79,2	01/12/2007	73,7	11/03/2012	81,9
29/03/2001	75,7	02/03/2008	92,1	08/07/2012	75,3
19/04/2001	75,5	31/03/2008	131,4	12/02/2013	161,2
15/04/2002	85,9	13/06/2008	78,4	19/03/2013	77,1
11/01/2004	82,9	19/01/2009	72,2	11/01/2014	75,5
24/04/2005	200,8	15/03/2009	77,6	28/02/2014	86,3
02/05/2005	74,9	25/04/2009	78,6	30/12/2014	74,1
06/10/2005	74,4	15/01/2010	76,2	27/02/2015	72,1
02/01/2006	72,5	06/05/2010	101,6	14/04/2015	81,2
01/03/2006	89,2	06/08/2010	72,4	29/04/2015	78,3
18/03/2006	85,3	21/01/2011	97,8	23/02/2016	70,2
29/03/2006	84	18/02/2011	115	26/05/2016	76,6
20/04/2006	96,7	13/04/2011	82,4		
11/12/2006	84,3	23/04/2011	100,3		

Fonte: Autor.

A variação da quantidade de eventos extremos de precipitação é apresentada na Figura 01. Pode ser identificado que os anos 2006 e 2011 tiveram a maior quantidade de eventos extremos (Figura 01a), e a maior frequência aconteceu no mês de abril de cada ano (Figura 01b). Resultado da influência da Zona de Convergência Intertropical e do fenômeno La Niña, nestes períodos, observado da mesma maneira por diferentes autores Liebmann & Marengo (2001), Ferreira (2008), Moura e Vitorino (2012), Loureiro et al. (2014), Neto (2014), Oliveira & Oyama (2015) e MAPA/INMET (2017).

**Figura 01.** Precipitações extremas na Cidade de Belém do Pará, Brasil, período de 2000 a 2016. a) Precipitações Extremas por Ano. b) Precipitações extremas por Mês.



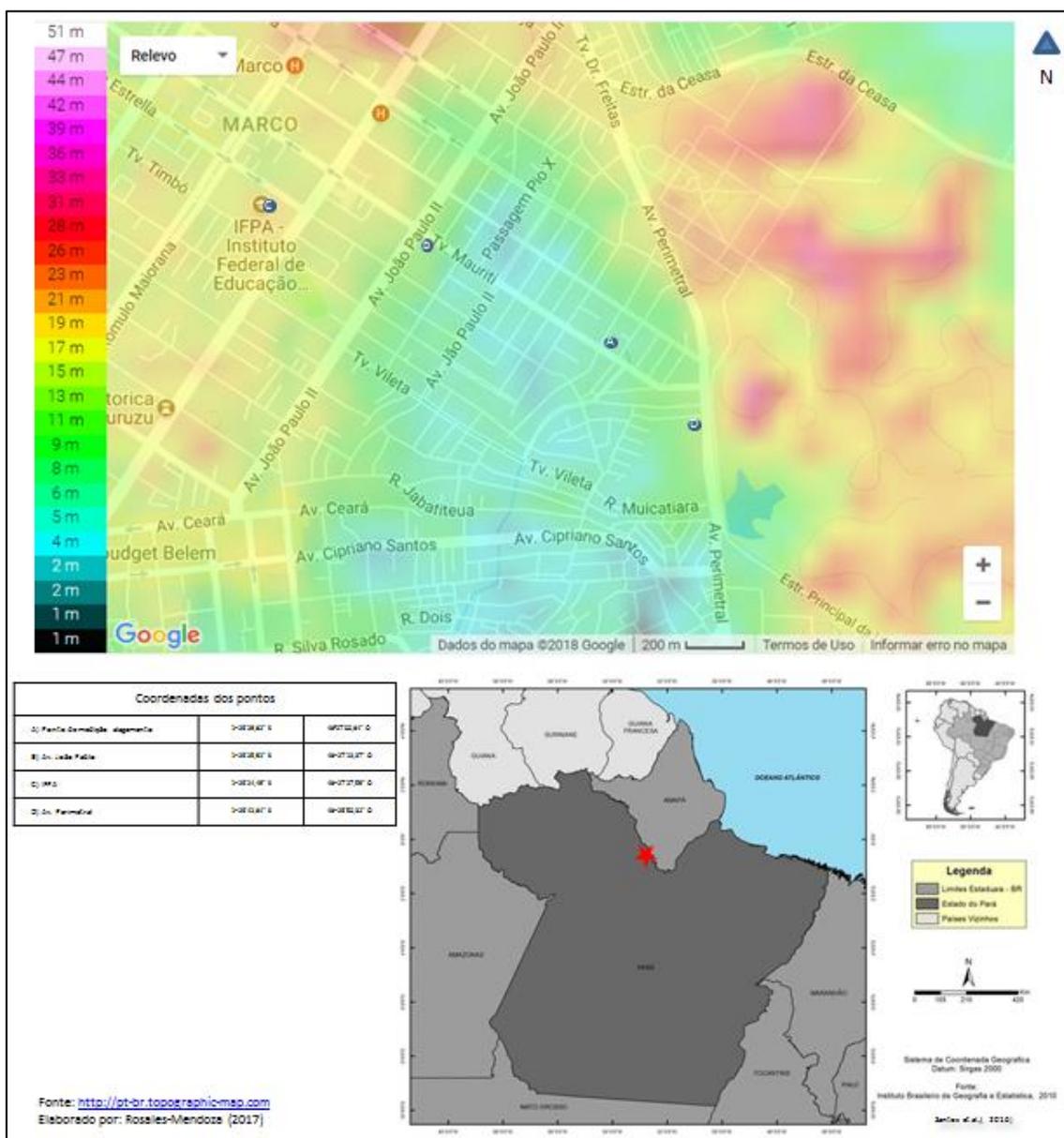
Fonte: Autor.

Algumas datas com maiores volumes pluviométricas coincidiram com notícias do jornal local (NJL) como aconteceu nos estudos de (Campos et al. 2015; Santos 2015). No entanto, foi impossível encontrar o dado do impacto da pegada d'água. Na ausência do dado da pegada d'água nas datas identificadas, foi feita a medição para o dia 14 de maio de 2016, onde a precipitação acumulada no dia foi de 72 mm segundo INMET, ocasionando uma pegada d'água de 0,70 metros de altura no bairro do Marco (Figura 02). O seja, a razão de 0,009722 metros por milímetro de precipitação.

Mesmo procedimento foi aplicado para cidade de Carrillo, mediante o cálculo de percentil com k-eximo de 99% dos dados da precipitação permitiu separar 26 eventos com valor acima de 88 mm, apresentado na Tabela 02, o dia 31 de outubro de 2001 teve o maior evento com 197 (mm) da precipitação.

O histórico da quantidade de eventos extremos para a cidade de Carrillo no período estudado é apresentado na Figura 03. Os eventos extremos aconteceram com maior frequência no mês de setembro de cada ano (Figura 03b). Na Figura 03a pode ser identificado que os anos 2001 e 2008 tiveram a maior quantidade de eventos extremos, resultado da influência do fenômeno do La Niña nestes períodos.

**Figura 02.** Ponto de medição bairro Marco na cidade de Belém do Pará, Brasil.

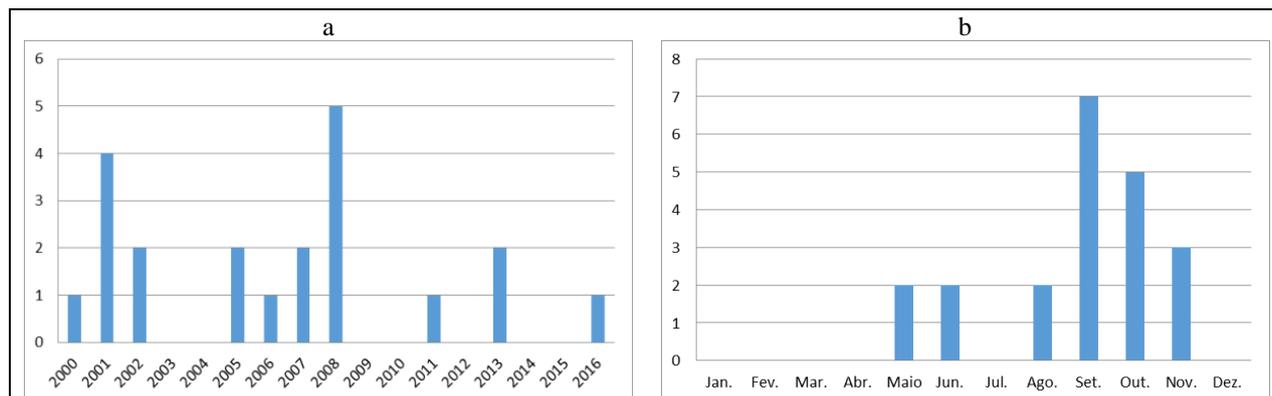


Fonte: Autor.

**Tabela 02.** Lista de Eventos Extremos Maiores do Limite Base de Precipitação Carrillo de Guanacaste, Costa Rica Período (2000 – 2016).

Data	Precipitação	Data	Precipitação	Data	Precipitação
30/10/2001	197,1	15/10/2011	115,0	02/09/2008	96,0
10/02/2001	178,0	05/06/2006	111,5	18/09/2002	94,6
24/05/2002	172,0	23/11/2016	109,4	19/09/2007	93,6
03/09/2008	133,8	15/08/2013	108,8	15/10/2008	90,9
31/10/2001	128,3	21/09/2005	104,5	14/10/2007	89,2
14/10/2008	123,7	24/09/2005	104,1	30/09/2000	88,5
28/09/2000	122,7	27/08/2008	102,2		
04/06/2013	121,8	25/05/2001	101,3		

Fonte: Autor.

**Figura 03.** Precipitações Extremas na Cidade de Carrillo de Guanacaste, Costa Rica (2000-2016); a) Precipitação extremas por ano; b) precipitações extremas por mês.

Fonte: Autor.

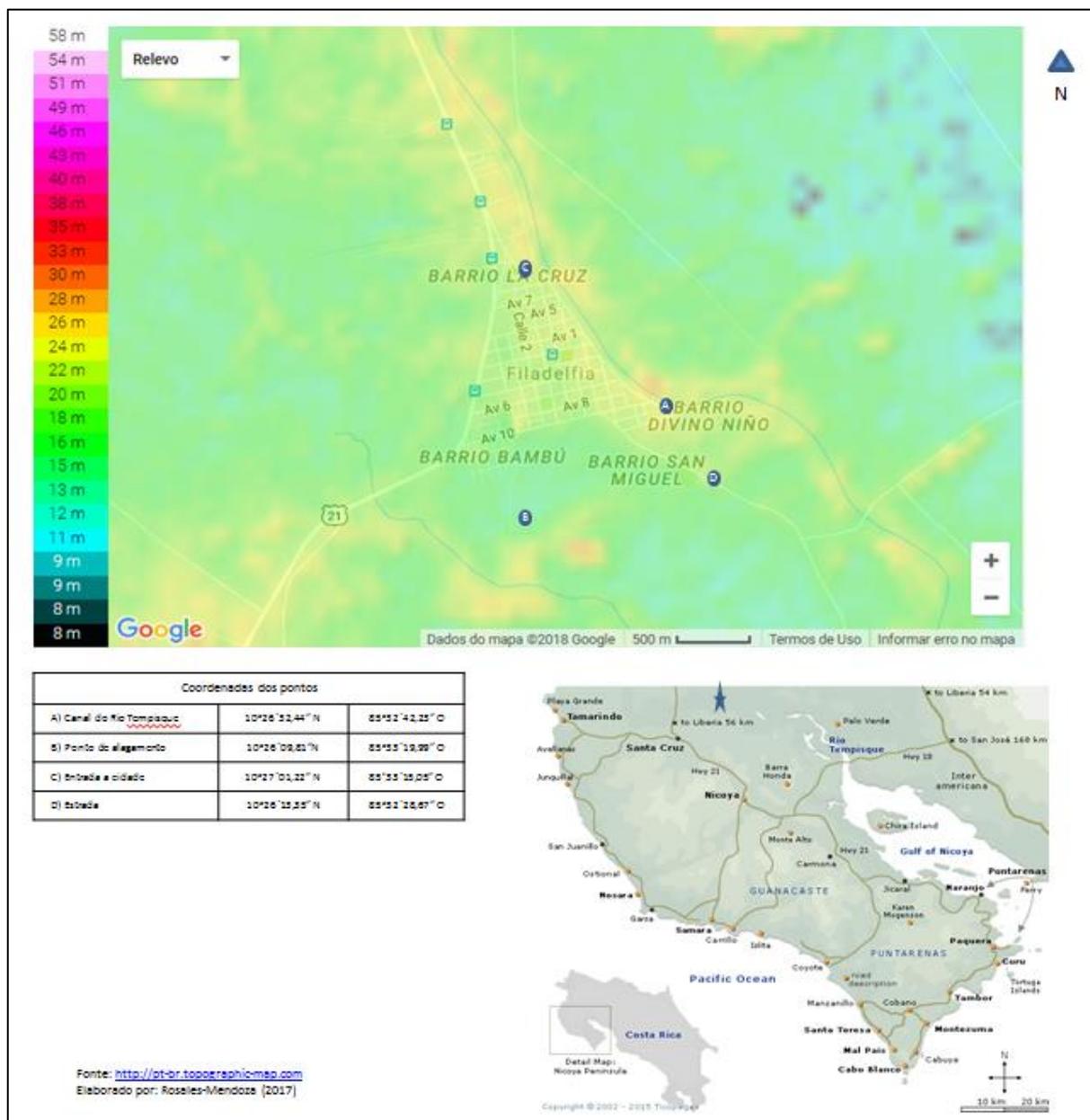
Alguns eventos extremos de precipitação que foram noticiados pelo jornal local (NJJ) conforme a técnica usada por Campos et al. (2015) e Santos (2015), encontrando-se que os principais veículos de comunicação como TELETICA, REPRETEL, o jornal LA NACIÓN, DIARIO EXTRA, informaram constantemente sobre alagamentos, cheias, inundações, famílias atendidas em albergues, desaparecidos, etc. Assim, foram confirmadas a utilidade das informações fornecidas pelos veículos de comunicação. Além disso, foi impossível encontrar o dado da pegada d'água, pois existiam divergência nas informações para uma mesma região, e eram em pontos distantes da área de estudo. Sendo que a pesquisa foi realizada no Brasil, e necessitou de informações da Costa Rica. Então, foi solicitada a medição para comissão de emergência local, que informou que o ponto de inundação maior alcançou uma altura de 2,15 metros no bairro Bambú (Figura 04), para o dia 5 de outubro de 2017, a precipitação acumulada nesse dia foi de 146 mm segundo IMN. O seja, a razão de 0,014527027 metros por milímetro de precipitação.

Usando a razão individual da altura da pegada d'água em cada uma das cidades Figura 05 (a, b) mostra uma correlação quase perfeita, em quanto aumenta a precipitação incrementa a altura da pegada d'água.

O uso da técnica de análise de correlação e regressão linear, é importante para estimar parâmetros desconhecidos e ainda prever a relação entre variáveis dependentes e uma ou mais variáveis independentes, possibilitando, assim, a tomada de decisão, como foi feito no estudo para criar um ambiente ergonômico ideal para exercer atividades bancárias. Também pode ser usado para determinar a influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície; verificar os fatores socioeconômicos e de saúde associados à qualidade de vida de idosos e vidas comunitárias; e, inclusive, conhecer a contribuição dos fatores antropométricos, bioenergéticos e biomecânicos para a

performance de nadadores de elite no pico de forma, na época de verão (Subramaniam et al. 2007; Costa et al. 2012; Sampaio 2015; Alves 2016; Rodrigues et al. 2017). Então a técnica ser usada amplamente, e foi muito conveniente para o estudo presente.

**Figura 04.** Ponto de medição bairro Bambú, na cidade de Carrillo de Guanacaste, Costa Rica.

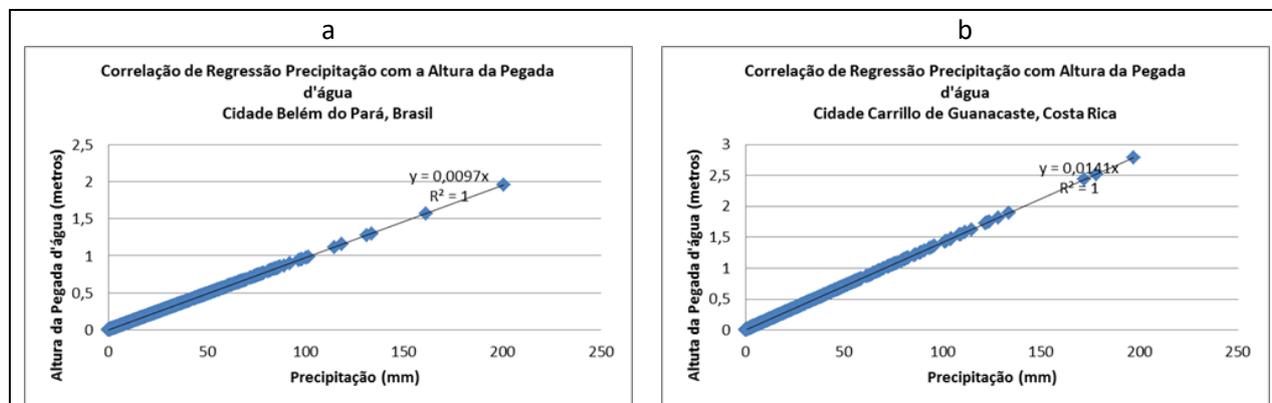


Fonte: Autor.

O uso frequente da pegada d'água como um fator de importância significativa, é reconhecido, no cálculo das avaliações dos prejuízos, devido à correlação dos custos monetários em função da marca d'água, pois quando aumenta a pegada d'água aumentam as perdas, (Lopardo & Seone 2000; López 2002; Rodriguez et al. 2009; Kobiyama & Fabris-Goerls 2007; Baró et al. 2011; Baró et al. 2012). Evidencia-se que a medição caprichosa resulta do critério definido pelo analista, especialista ou

pesquisador, de acordo com sua “expertise” ou teste, pois cada um indica uma altura. O estudo mostra que possivelmente a incongruência, seja produto de condições próprias de cada área ou zona estudada, como pode ser identificado entre as cidades de Belém e Carrillo.

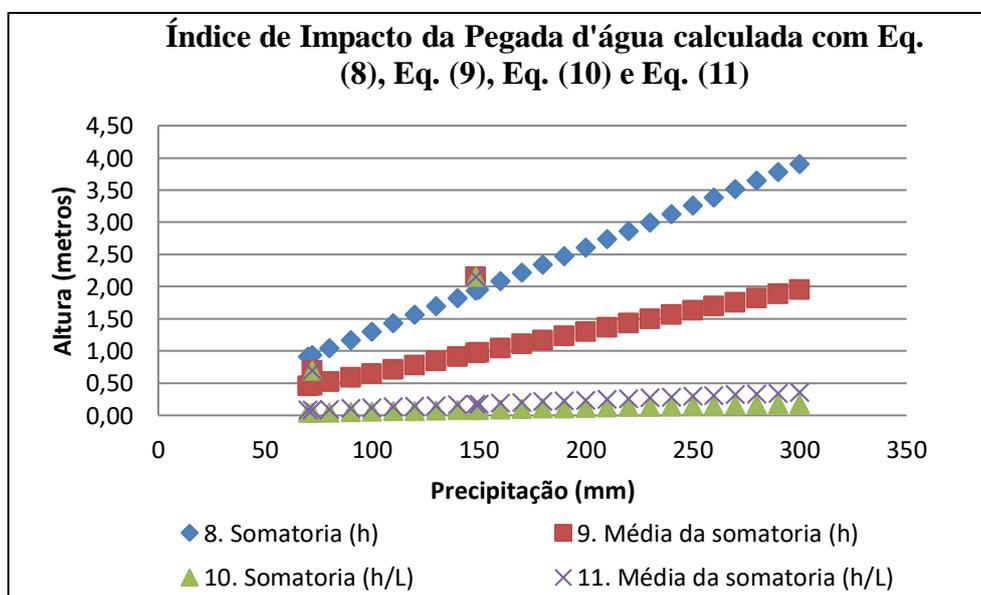
**Figura 05.** Correlação de Person nas cidades. a) Cidade Belém do Pará, Brasil; b) Cidade Carrillo de Guanacaste, Costa Rica.



Fonte: Autor.

Para eliminar essa medição “caprichosa”, se realizou o cálculo do índice de impacto da pegada d'água, com quatro cenários: a) a somatória das razões da pegada d'água; b) a média da somatória das razões das cidades; c) a somatória das razões da pegada d'água incorporando a referência da localização no ponto da medição com o nível médio do mar; e d) a média da somatória das cidades incorporando a referência da localização no ponto da medição com o nível médio do mar. A Figura 06, mostra o índice de impacto da pegada d'água, incluindo os dados certos das mostras, medidas tomadas em campo, nos pontos dos bairros das cidades estudadas.

**Figura 06.** Considerações na determinação do índice de impacto da pegada d'água.



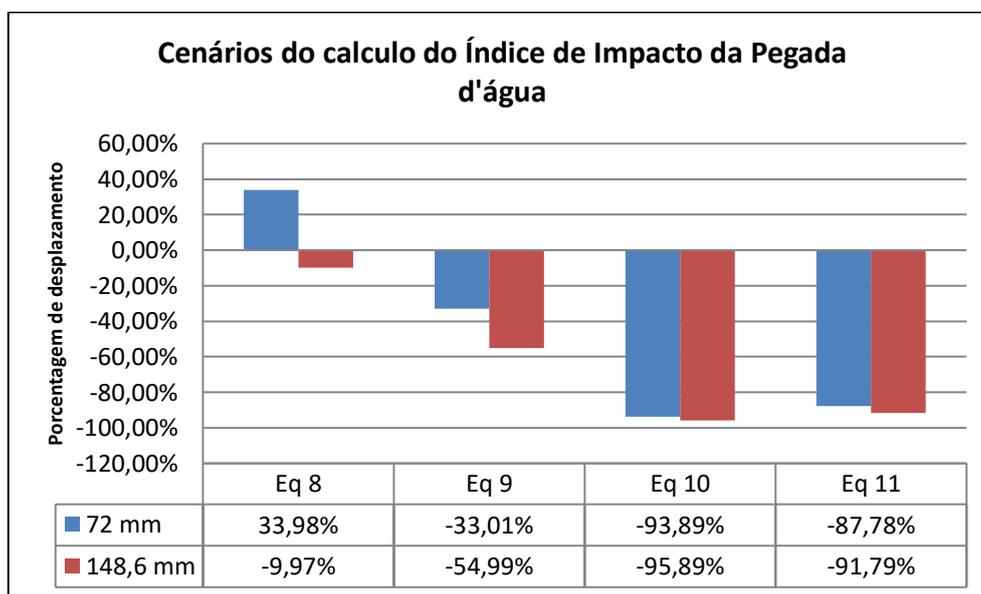
Fonte: Autor.

Os cenários mostram o comportamento dos resultados da pegada d'água usando as diferentes equações, foram incluídas na figura as medições feitas nas cidades como referência real, resultados mostram:

- O cenário usando a Eq. (8), mostra o comportamento positivo de aumento da altura da pegada d'água em função da precipitação, mostrando uma aproximação aos pontos de medição da pegada d'água.
- Usando a Eq. (9) mostra um deslocamento para baixo, ficando abaixo da medição maior de 2,15 metros da altura da pegada d'água.
- Os cenários C e D incluem a consideração da localização com referência ao Nível Médio do Mar provocando um deslocamento maior (valores menores) e com resultados distantes das medições feitas nas cidades.

Uma segunda análise do produto das variações percentuais, foi realizada, como é mostrado na Figura 07.

**Figura 07.** Cenários do cálculo do Índice de Impacto da Pegada d'água.



Fonte: Autor.

A percentagem nas Eq. (10) e Eq. (11) mostram resultados distantes e maiores a 80% das medições nos pontos de inundação, as porcentagens na Eq. (8) mostram uma variação entre 34% e menos 10% aproximadamente. O deslocamento é maior quando a precipitação é menor, e se aproximam quanto maior seja a precipitação. Os resultados da Eq. (9) demonstram um valor sempre menor, entre a 33% e 55%, aproximadamente.

A análise do possível uso do índice gerado pelas Eq. (8) e Eq. (9) mostra que, no caso de usar a Eq. (8), ela fornece um índice com diferença que variam de mais 34% e menos 10%, uma dualidade que pode gerar conflito de interesses pelos usuários. Ou seja, os usuários percebem uma baixa avaliação do bem, ou por outra parte uma super valoração dos bens que afetaria, por exemplo, a seguradora para cobrir os bens assegurados pelos beneficiários. O caso dos resultados da aplicação da Eq. (9) mostra a porcentagem sempre baixa de entre 33% a 55% de que poderia ser um valor “real” o “certo”, sendo que o valor real ou absoluto é verdadeiramente incerto e irreal, pois as estimativas sempre são estimativas, aproximações. No caso que o índice seja utilizado para cálculo dos prejuízos monetários fica a vantagem do mesmo, o deslocamento da porcentagem exposto, porque na realidade, os bens afetados sempre têm um valor menor ao preço de mercado, pois já sofreram de uma depreciação pelo uso, e a quantidade de anos, ademais das transformações da tecnologia.

Por outra parte, uma seguradora poderia considerar uma indenização distante não do prejuízo monetário calculado, pois a porcentagem encontrasse dentro dos valores de uso. As famílias, pessoas afetadas, reconheceriam com grande facilidade o jeito da diminuição do valor dos bens pela causa do deterioro. As entidades governamentais e de auxílio poderiam ter uma ferramenta pronta para o reparo de ajudas em caso de emergência, ou avaliar ações preventivas em função custo-benefício.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A marca da altura d'água é intitulada de diferentes formas, entre elas, curva da altura de inundação, altura de mesa, cota de mesa, lamina d'água, neste estudo foi intitulado como “pegada d'água” por ser o rastro, a evidência do acontecido, mesmo assim, deve se evitar confundir com a pegada hídrica, utilizada para calcular o valor econômico na produção de bens e serviços.

O estudo das condições naturais mostra a relação existente entre a precipitação e a altura da pegada d'água. Nas cidades de estudo, mostraram uma relação direta entre os eventos identificados como extremos, (chuvas intensas) que coincidem com cheias, alagamentos e inundações. Entretanto, carece de um histórico de registro da altura da pegada d'água nas zonas ou áreas atingidas, pois não existem observações da medição, e os veículos de informação como o jornal local e a televisão mostram as imagens do acontecido e em diferentes oportunidades informam a altura da pegada d'água.

A inundação é produto de um processo que inicia com a saturação do solo (SS), provocando a cheia (CH) e está o desbordamento (Desb), seguido o alagamento (Alag) até chegar à inundação (Inund). Mesma que é reduzida pela capacidade de drenagem (Dren) e vaporização (Vap) até chegar ao nível natural (normal) ou condição habitável = (SS=>CH=>Desb=>Alag=>Inund) – (Dren + Vap), o

que sugere o enfoque em conhecer os limites de cada fase, o que é um convite para as diferentes especialidades, disciplinas a realizar seus aportes.

O índice do impacto da pegada d'água ( $I_{pa}$ ) tem um valor de 0,0065128 metros por milímetro de precipitação, pode usar-se nos cálculos dos prejuízos monetários causados pelas chuvas intensas, dependente do conhecimento da precipitação do dia e na cidade do estudo, porém responde a uma condição local de condições meteorológicas. Além disso, pode ser usado no estudo das cidades que forem atingidas por um evento de inundação sem presença de chuva, sempre que a cidade atingida ficar perto de uma zona alta, caso das cidades desenvolvidas nos vales. Pois, em muitas ocasiões as populações atingidas moram nas partes mais baixas das cidades, e o alagamento e a inundação são consequências da chuva ocorridas nas zonas altas, e pelo escoamento da água pode provocar um alagamento ou inundação repentina na parte mais baixa da cidade.

## REFERÊNCIAS

- Alves EDL 2016. Influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície: análise por meio de regressão linear múltipla. *R. Ra'e GA*, 38:345-364.
- Baró JES, Díaz CD, Calderón GA, Esteller MVA, Cadena EV, Franco RP 2012. *Metodología para la Valoración económica de danos potenciales tangibles directos por inundación*. Primera Edición, México, 169 pp.
- Baró JES, Diaz CD, Calderón GA, Esteller MVA 2011. Costo más probable de danos por inundación en zonas habitacionales de México. *Tecnología y ciencias del agua*, 2(3): 201-218.
- Bhavnagri VS, Bugliarello G 1965. Mathematical Representation of an Urban Flood Plain. *Journal of the Hydraulics Division of the American Society of Civil Engineers*, 91(hy2): 149-73.
- Blong R 2004. Residential building damage and natural perils: australian examples and issues. *Building research and information*, 32(5): 379-390.
- Campos TLOB, Mota MAS, Quadros dos Santos SR 2015. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. *Ambiente & Água – An interdisciplinary journal of applied*, 10(1):182-194.
- Costa MJ, Bragada JA, Mejias JE, Louro H, Barbosa TM 2012. Contributo dos fatores antropométricos, bioenergéticos e biomecânicos para a performance de nadadores de elite no pico de forma na época de verão. *Motricidade*, 8(S1): 27-34.
- Estrada F 1996. *Análisis económico del control de crecidas, apuntes del curso de planificación hidrológica y medio ambiente*. CEDEX - Ministério de Obras Públicas y Medio Ambiente, Madrid.
- Ferreira DBS 2008. *Eventos extremos da zona de convergência intertropical sobre o atlântico durante o período chuvoso da Amazônia oriental*. Dissertação de Mestrado (Ciências Ambientais), Universidade Federal do Pará, Belém, 65 pp.

- Grigg NS, Helweg OJ 1975. State of the art of estimating flood damage in urban areas. *Journal of the American Waater Resources Association*, 11: 379-390.
- Hoekstra AY, Hung PQ 2002. *Virtual watertrade: a quantification of virtual water flowsbetween nations in relation to international croptrade*. Value of water research Report series nº11.
- IBGE 2010. *Censos demográficos*. IBGE, Brasil.
- INEC 2011. *Censos demográficos*. INEC, Costa Rica.
- James LD, Lee RR 1971. *Economics of water resources planning*. McGraw-Hill, New York, 301 pp.
- Kobiyama M, Fabris-Goerls R 2007. Quantitative method to distinguish flood and flashflood as disasters. *Hydrological research letters*, 1: 11-14.
- Liebmann B, Marengo JA 2001. Interannual variability of the raint season and rainfall in the brazilian amazon basin. *Journal of Climate*, 14:4308-4318.
- Lopardo RA, Seoane R 2000. Algunas reflexiones sobre crecidas e inundaciones. *Ingeniería del agua*, 7(1):11-21.
- López S 2002. Las crecidas torrenciales como factor de riesgo: propuesta metodológica de evaluación para la ciudad de San Cristóbal, Venezuela. *Memorias del seminario taller binacional sobre control y manejo de inundaciones*. San Cristóbal. Edo. Tachira, Venezuela, 8 pp.
- Loureiro RS, Saraiva JM, Saraiva I, Senna EC, Fredo AS 2014. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. *Revista brasileira de meteorologia*, 29(esp):83-94.
- MAPA/INMET (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Instituto Nacional de Meteorologia) 2017. *Panorama geral das condições meteorológicas e os principais eventos extremos significativos ocorridos no Brasil em 2016*. Coordenação Geral de Meteorologia Aplicada, Desenvolvimento e Pesquisa (CGMADP), Brasília-DF.
- Moura MN, Vitorino MI 2012. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à zona de convergência intertropical. *Revista brasileira de meteorologia*, 27(4):475-483.
- Neto OBS 2014. *ZCIT e VCAN causam chuvas intensas e acumulados significativos causam impactos em áreas das regiões metropolitanas de Belém-PA e de São Luis-MA em Fevereiro de 2013*. GPT.
- Oliveira FP, Oyama MD 2015. Antecedent Atmospheric Conditions Related to Squall-Line Initiation Over the Northern Coast of Brazil in July. *Weather and Forecasting*, 30:1254-1264.
- Penning-Rowsell EC, Chatterton JB 1977. *The benefits of floof alleviation. A manual of assessment techinques*. Saxon House, UK.
- Rodrigues LR, Tavares DS, Dias FA, Pegorari MS, Marchiari GF, Tavares DMS 2017. Qualidade de vida de idosos comunitários e fatores associados. *Revista de Enfermagem UFPE on line*, 11(3): 1430-1438.
- Rodriguez J, Vos F, Bellow R, Guha-Sapir D 2009. *Annual disaster statistical review 2008 the numbers and trends*. CRED (Centre for research of the epidemiology of disasters). University Catholique de Loraine, Melin, 33 pp.

Rossi E, Gonçalves LM 2012. Ecotécnicas de drenagem urbana: urbanização de impacto ambiental. *Anais do 3 SIMPEGEU, Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana*, Maringá.

Salgado JCM 1995. *Avaliação econômica de projetos de drenagem e de controle de inundações em bacias urbanas*, Dissertação de Mestrado, COPPE/Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Sampaio NAS 2015. *Aplicações da correlação e regressão linear*. AEDB, Brasil, 10 pp.

Santillán OD, Torregrosa ML, Ramírez AI, Dehays J, Aparicio J 1998. Determinación de zonas de riesgo hidrológico, de acuerdo con el impacto social y la severidad de las inundaciones. *Memorias del 18 congreso latinoamericano de hidráulica*, México, p. 425-433.

Santos FAA 2010. *Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação de risco*. Dissertação de Mestrado (Ciências Ambientais), Universidade Federal do Pará, Pará, 164 pp.

Santos FAA, Rocha EJP 2013. Alagamento e inundação em áreas urbanas estudo de caso: cidade de Belém. *Revista GeoAmazônia*, 2: 33-55.

Santos JS 2015. *Frequência de precipitação e impactos decorrentes associados à chuva na cidade de Belém-PA*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Pará, 164 pp.

Subramaniam A, Coutinho AS, Silva LB 2007. Aplicação de método e técnica multivariados para previsão de variáveis termo ambientais e perceptivas. *Produção*, 17(1): 42-70.

Xavier TM, Xavier AFS, Alves JMB 2007. *Quantis e eventos extremos –aplicações em ciências da terra e ambientais*. Fortaleza, 278 pp.

## Water Footprint Index ( $I_{pa}$ )

### ABSTRACT

Frequently used factors in calculating the monetary assessment of flood damage are: height of the water sheet or site in the flooded zone, speed, permanence (duration), frequency, load of solids carried ... The first factor, and titled in different ways, these different titles are concentrated in "water footprint," referring to the trail that remains after a flood or flood, as evidence of the fact. Due to the need to have a value that can reduce discrepancies and uncertainties in the calculation of losses and reconcile users' interests, it is proposed the Water Footprint Impact Index ( $I_{pa}$ ). This index was determined from the 2000-2016 precipitation analysis in two cities, identifying the extreme events by the percentile technique, comparing the results with the flood record, and performing tests in the calculation proposal. Reflect on the convenience of use.

**Keywords:** Economic; Environmental; Meteorology; Risk.

Submissão: 13/06/2018

Aceite: 03/12/2018