

Definição do Nível Altimétrico da Estação Maregráfica da EPAGRI-CIRAM e Proposição de Leitura de Alerta de Eventos de Alagamento por Maré para Joinville - SC

Robison Negri¹
Maiko Alexander Bindemann Richter²
Marcielly Elbert Reimer³
Gilmar de Amorim da Luz⁴
Fernando Augusto Drevek⁵
Cristiano Izidoro⁶
Emanuelly Niedzieski⁷
Vitor Estevão Antunes Gomes⁸

Resumo

Conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Cachoeira (PDDU), elaborado em 2011, a área urbanizada a bacia do rio Cachoeira é sistematicamente afetada pelas águas oriundas dos eventos de maré com períodos de recorrência menores que 2 anos. Tendo em vista a necessidade de aprimoramento do controle e alertas dos efeitos da atuação da maré no município, a Defesa Civil de Joinville, juntamente com a EPAGRI-CIRAM, vem desenvolvendo atividades de melhoramento da infraestrutura de monitoramento das marés na região, através de atividade de monitoramento em tempo real das marés. Com o objetivo de prevenção, orientação e planejamento, a Defesa Civil de Joinville, juntamente com o Centro Universitário Católica SC, desenvolveram a presente atividade de Extensão com o objetivo de relacionar as leituras maregráficas da estação localizada no Joinville late Club, através da amarração das leituras monitoradas com a cota altimétrica do local, no sistema SIRGAS 2000. Como resultado pode-se obter uma equação para a relação entre a leitura maregráfica e a altimetria, bem como, atualizar as manchas de alagamento para eventos de maré em Joinville-SC. Também foi possível propor uma cota altimétrica e, conseqüente leitura maregráfica, de referência para o sistema de alerta para os eventos com risco de alagamento mareográfico para o município.

Palavras-chave: Maré. Alagamentos. Previsão. Monitoramento.

¹ Professor na Católica de Santa Catarina; robisonnegri@gmail.com

² Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil na Universidade do Estado de Santa Catarina; maiko.richter@joinville.sc.gov.br

³ Graduanda em Engenharia Civil na Católica de Santa Catarina; marcielly.reimer@catolicasc.org.br

⁴ Graduando em Engenharia Civil na Católica de Santa Catarina; gilmar.luz@catolicasc.org.br

⁵ Graduando em Engenharia Civil na Católica de Santa Catarina; fernando.drevek@catolicasc.org.br

⁶ Graduando em Engenharia Civil na Católica de Santa Catarina; cristiano.izidoro@catolicasc.org.br

⁷ Graduanda em Engenharia Civil na Católica de Santa Catarina; e.niedzieski@catolicasc.org.br

⁸ Graduando em Engenharia Civil na Católica de Santa Catarina; vitor.gomes@catolicasc.org.br

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Pugh apud Truccolo e Schettini (1999) “a maré astronômica é o movimento periódico de subida e descida do nível do mar que obedece à força do campo gravitacional no sistema Terra-Sol-Lua.” Em conjunto com a força gravitacional atua também a força centrífuga da Terra, oriunda de a sua revolução, sendo estas denominadas como forças geradoras de maré.

Logo, recebe o nome de Maré Astronômica, a deformação das superfícies líquidas da terra, atraídas pela massa dos corpos celestes, principalmente da lua, de acordo com os seus movimentos de translação. Esse fenômeno é mais facilmente percebido nas grandes massas de água (mares e oceanos), que por sua vez exercem influência direta nos corpos hídricos e estuários ligados a estas massas.

Os ciclos astronômicos das marés dependem da localização geográfica da região e condições morfológicas do continente. Observa-se maiores amplitudes das ondas de maré nas regiões próximas à linha do Equador, devido o ângulo de declinação lunar (COELHO, 2016).

Existem três tipos de marés, sendo elas: diurnas, semidiurnas e mistas. Segundo McCormick e Thiruvathukal (1981), as marés diurnas são caracterizadas pelo registro de uma maré alta e outra baixa por dia. As semidiurnas tem uma duração de aproximadamente 12 horas, caracterizada por duas marés altas e duas marés baixas ao longo de um dia, sendo localizadas, geralmente, nas costas banhadas pelo Oceano Atlântico. Já, marés mistas, que também possuem duração entre picos de 12 horas, é constituída por duas marés altas e/ou as duas marés baixas com amplitudes distintas entre elas.

Além dessas classificações, as marés podem ser classificadas como de sizígia e de quadratura. As marés de sizígia acontecem quando a Lua, Terra e o Sol estão alinhados resultando nas maiores marés altas e menores marés baixas. Já as marés de quadratura ocorrem quando a Lua, Terra e o Sol fazem um ângulo de 90° , ocasionando menores amplitudes de maré (ALFREDINI; ARASAKI, 2009; MCCORMICK; THIRUVATHUKAL, 1981).

O nível do mar também pode ser drasticamente alterado por um fenômeno, que amplifica as marés astronômicas, associado ao movimento das massas de água devido a fatores climáticos, principalmente ventos, denominado Maré Meteorológica. O movimento do ar sobre a superfícies líquidas dos mares, dá origem a um escoamento superficial (“ondas”), que quando possui a mesma direção e período da onda de escoamento astronômico, possibilita a sua combinação, dando origem a níveis de marés muito mais elevados que os inicialmente previsto.

A combinação destes fenômenos é frequente e, de acordo com a Prefeitura Municipal Joinville (2011), pode aumentar em até 80% o valor das cotas de alagamento astronômicas previstas para Joinville. Naturalmente, eventos como este trazem consigo, uma série transtornos e impactos nas atividades relacionadas a região costeira e suas ocupações.

O nível médio do mar é regularmente medido pela costa brasileira e fornecem informações importantes a respeito do nível médio do mar e das ondas de maré (MESQUITA, 2003). Sua média estimativa é calculada utilizando séries temporais, com a função de eliminar as variações no curto período, com o objetivo de se obter a informação do nível médio do mar em períodos médios mensais, sazonais e anuais, que fornecem indicações das variações hidrodinâmicas sazonais e tendências de longo período (HARARI; FRANÇA; CAMARGO, 2004).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), com base nas necessidades de referências altimétricas do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), foi permitida a implantação de uma Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), em 1996. Sendo esta constituída por um conjunto de estações maregráficas que inicialmente tinham a função de "determinar e acompanhar a evolução temporal e espacial dos referenciais altimétricos do SGB."

Com o desenvolvimento e crescente necessidade de informação, nas RMPG foram dispostos radares, sensores ou sondas acústicas que monitoram as variações do nível do mar. Na estrutura onde estão fixados esses sensores, há instalado também o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), que tem como atribuição segundo o Manual de Instruções técnicas para controle de estações maregráficas fornecidas pelo IBGE (2010), "a correção dos movimentos verticais nas observações maregráficas seria obtida diretamente dos resultados do processamento das observações GNSS."

Algumas estações maregráficas propagam os dados quase em tempo real para a Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), que contribui para alertas de possíveis enchentes, inundações e tsunamis que podem ser causadas devido ao elevado nível do mar.

Sendo o nível do mar modificado de forma cíclica e contínua, em algumas regiões costeiras, como é o caso de Joinville-SC, tal fenômeno, pode acabar causando inundações, danos matéria, financeiros e de saúde pública.

Conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Cachoeira (PDDU), elaborado em 2011, a área urbanizada a bacia do rio Cachoeira é sistematicamente afetada pelas águas oriundas dos eventos de maré da região (Figura 1), períodos de recorrência relativamente pequenos, conforme pode ser analisado no Quadro 1.

Figura 1 - Alagamento por Maré no Centro de Joinville



Fonte: os autores.

Quadro 1 - Período de Retorno do Nível da Maré e Área Inundável na Bacia Hidrográfica do Cachoeira Joinville – SC

Nível de Maré (m)	TR _{astronômica} (anos)	Área inundável (km ²)		
		Área de Mangue	Área Urbanizada	Área Total
1,60	1,54	3,25	0,58	3,83
1,70	2,94	3,25	0,88	4,13
1,80	8,85	3,25	1,84	5,10
2,00	400	3,25	2,43	5,68
2,50	infinito	3,25	4,66	7,91

Fonte: Prefeitura Municipal Joinville (2011).

A bacia do rio Cachoeira, com 84 km² de área total, drena principalmente a área central da cidade, no entanto, os eventos de maré alta também afetam as bacias da vertente leste. Pequenas bacias hidrográficas independentes que drenam as águas diretamente aos sistemas marinhos circunvizinhos à Joinville.

Obstante da possibilidade de evitar atais evento naturais, resta aos entes público de defesa da população gerenciar, através das políticas de gestão territorial, a ocupação das áreas de risco, além de orientar e auxiliar na convivência dos passivos públicos já instalados.

Como, a trajetória lunar é conhecida, é possível realizar a previsão da maré astronômica, com grande antecedência e assertividade. Essa previsão é modelada e a fonte oficial no Brasil é a Marinha, recebendo o nome de Tábua de Marés. O Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM), vinculado a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), também modela a maré astronômica para o estado de Santa Catarina, e também realiza previsões de possíveis eventos meteorológicos associados.

Tendo em vista a necessidade de aprimoramento do controle e alertas dos efeitos da atuação da maré em nosso município, a Defesa Civil de Joinville, juntamente com a EPAGRI-CIRAM, vem desenvolvendo atividades de melhoramento da infraestrutura de monitoramento das marés na região de Joinville, através de atividade de monitoramento em tempo real das marés.

Com base neste contexto de prevenção, orientação e planejamento, este trabalho apresenta uma atividade de parceria da Defesa Civil de Joinville, juntamente com o Centro Universitário Católica SC, com o objetivo de relacionar as leituras maregráficas da estação localizada no Joinville late Club, através da amarração das leituras monitoradas com a cota altimétrica do local, no sistema SIRGAS 2000.

2 METODOLOGIA

Com o objetivo de apresentar uma metodologia, que permitisse relacionar as leituras e registros do nível do mar, obtidas na estação Maregráfica da EPAGRI-CIRAM, com as cotas

altimétricas da área urbana da cidade de Joinville, as atividades foram subdivididas em duas etapas.

2.1 PRIMEIRA ETAPA

Atividade de campo que consistiu na execução de levantamento topográfico para a transferência do nível altimétrico do MR-34, da rede de referência topográfica do Município de Joinville, com a localização e características apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Marco de Referência Geodésica de Joinville

Número do Marco MR-34	Obra-Ano: CO-138-Joinville-2007 Data de Ocupação: julho/07	Altitude Ortométrica (*) 4,625 m	(*) Altitude obtida por nivelamento geométrico.
Descrição da Materialização: Marco de concreto nas dimensões 0,50mx0,50mx0,50m, encimado por uma caixa de proteção de ferro fundido, assentada ao nível do solo. No interior da caixa, a uma profundidade de 0,10m encontra-se uma chapa de latão contendo as seguintes inscrições: PMJ; Aerolmaçem; Protegido por lei; 2007; MR-34.			
Sistema de Referência Geodésico	SIRGAS 2000	SAD 69/96	
Elipsóide	GRS80	Internacional 1967	
LAT	26° 17' 28,25640" S	26° 17' 26,46802" S	
LONG	48° 46' 29,31724" W	48° 46' 27,60810" W	
COORDENADAS UTM (M.C. 51° W)	N 7.090.157,338 m.	N 7.090.201,497 m.	
	E 722.174,100 m.	E 722.223,270 m.	
Altitude Geométrica	H 5,301 m.	H 7,813 m.	
Marco de Referência: MR-33	Azimuth Plano: 301° 11' 44,018"	Distância: 1.359,396 m	
CROQUIS DE LOCALIZAÇÃO		FOTO	
Descrição de Itinerário: O marco MR-34 está implantado junto à base do monumento em frente ao trapiche do "Barco dos Príncipes" na Rua Prefeito Baltazar Buschle no bairro dos Espinheiros.			

Fonte: SIMGeo (2007).

O levantamento foi executado inicialmente pela equipe de acadêmicos do curso de engenharia civil do Centro Universitário Católica SC, tutelados pelo professor Robison Negri. A atividade ocorreu no dia 11/07/2020 das 8 às 12:30 horas. O equipamento utilizado foi uma estação total da marca Leica modelo TS02, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Levantamento Topográfico Realizado



Fonte: os autores.

Posteriormente, com o objetivo de contra nivelar e homologar a cota altimétrica da Estação Maregráfica, foi executado pela equipe de topografia da Prefeitura Municipal de Joinville, o contranivelamento de verificação e compensação do erro. A atividade ocorreu no dia 11/07/2020 das 8 às 12:30 horas.

2.2 SEGUNDA ETAPA

Consistiu no tratamento de dados, com o objetivo de amarrar as leituras da estação maregráfica à cota altimétrica do IBGE, no sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

Posteriormente, seguindo o mesmo procedimento do PDDU da bacia hidrográfica do Cachoeira, Joinville (2011), forma modeladas as manchas de inundação urbana por maré, definindo-se em conjunto com a Equipe Técnica da Defesa Civil de Joinville, os níveis de Atenção e Alerta para a população afetada.

A modelagem das manchas de inundação foi realizada para as cotas altimétricas 1,40, 1,60, 1,80 e 2,00 m (SIRGAS 2000), utilizando o software ArcGIS®.

3 RESULTADOS

O levantamento topográfico foi realizado partindo do MR (Marco de Referência Geodésica de Joinville número 34) e lançando mão do caminhamento apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Caminhamento do Levantamento Topográfico Realizado



Fonte: adaptado do Google Earth (2020).

As coordenadas encontradas para os pontos levantados são apresentadas no Quadro 2, tendo sido implantado um Marco de Referência local (MR = 1,929 m), conforme a Figura 5. A cota do Marégrafo igual a 3,237 m, está referida a parte superior do braço de fixação do sensor (leitor de nível).

Quadro 2 - Coordenadas e Cotas Altimétricas

PONTO	E (m)	N (m)	ALTITUDE (m)
E0	722174,10	7090157,34	5,301
E1	722167,40	7090156,51	5,304
E2	721652,34	7090465,00	2,266
E3	721595,83	7090493,47	1,990
E4	721610,77	7090306,87	4,396
E5	721668,79	7090136,13	2,570
E6	721677,45	7090018,24	1,993
MR	721641,30	7090001,99	1,884
MAREGRÁFO	721621,80	7089935,24	3,186

Fonte: os autores.

Dessa forma, e conhecendo-se as características geométricas de instalação do sensor de nível, que está posicionado a - 0,235 m da geratriz superior da haste de fixação do mesmo, é possível estimar a cota do sensor igual a 2,951 m.

Figura 5 - Marco de Referência Local



Fonte: os autores.

De acordo com as informações fornecidas pela EPAGRI-CIRAM, com base no histórico de monitoramento do nível da maré nesta estação, o nível médio do mar NMM no JIC está a 2,837 m abaixo do nível do radar, ou seja, cota altimétrica de 0,114 m, com base no elipsoide do IBGE, sistema geocêntrico de referência Geodésica SIRGAS 2000.

Por tanto, a Equação 1 apresenta a metodologia para a conversão da leitura do radar da Estação Maregráfica em cota altimétrica local, sendo possível relacionar o monitoramento realizado pela estação maregráfica com a cota altimétrica de alagamento de Joinville, conforme apresentado na Figura 6.

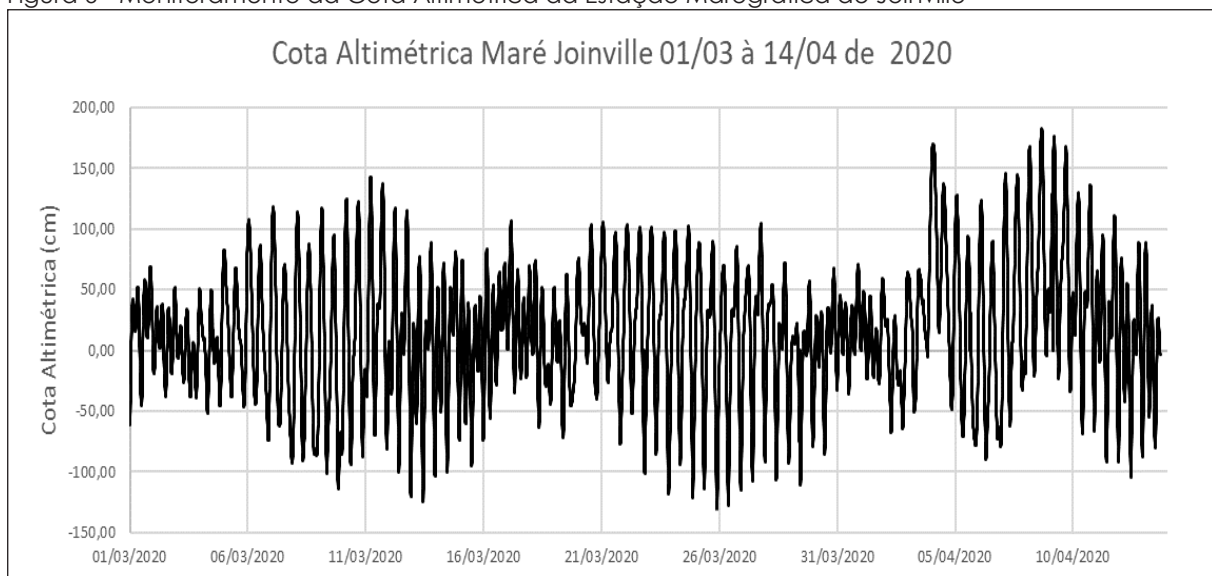
$$C_z = L_R - 95,4 \quad (1)$$

Onde:

C_z – Cota Altimétrica do Nível do Mar (cm);

L_R – Leitura Registrada no Radar do Marégrafo (cm).

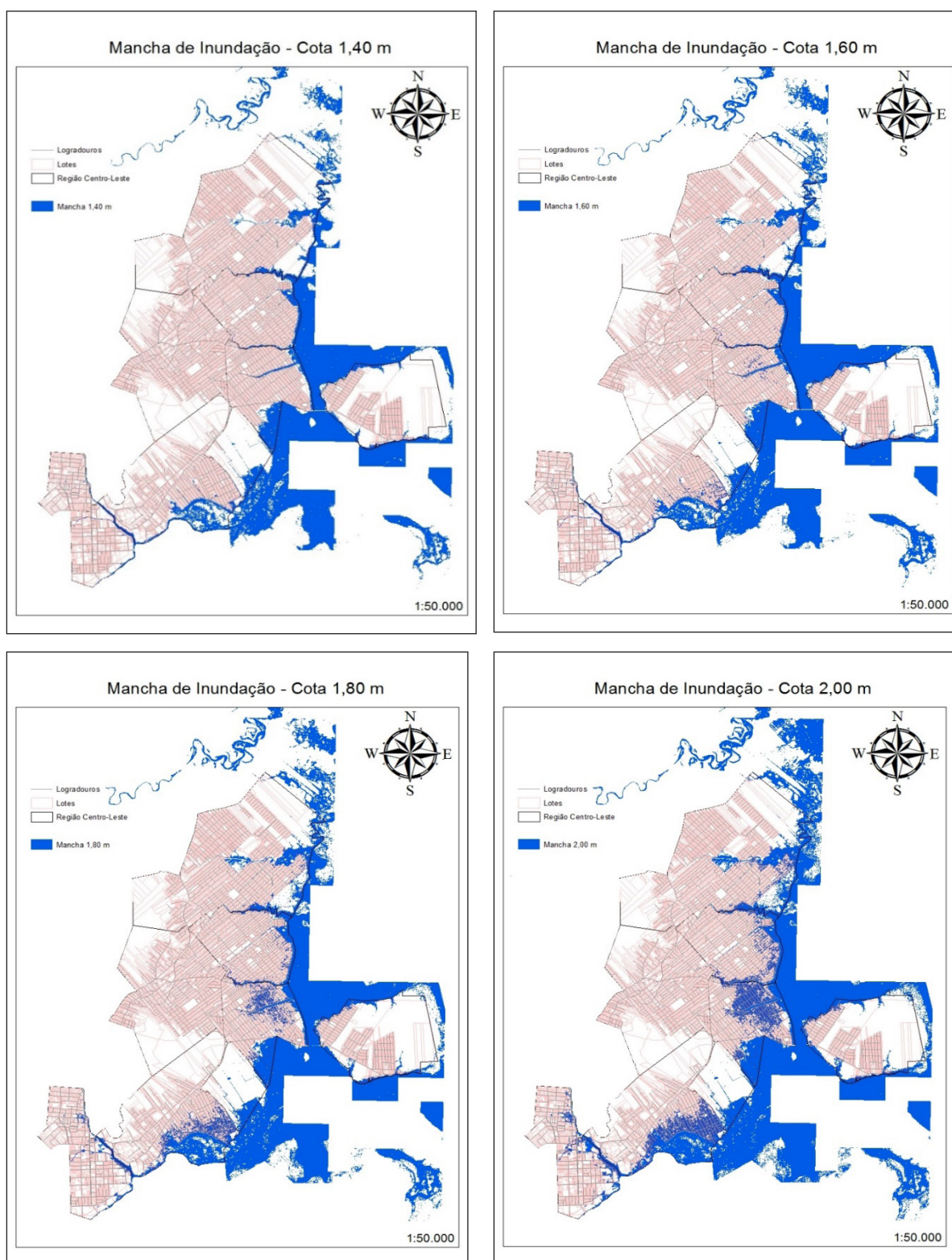
Figura 6 - Monitoramento da Cota Altimétrica da Estação Maregráfica de Joinville



Fonte: os autores.

Por fim, obteve-se as projeções de alagamento por maré, para as cotas altimétricas de 1,40, 1,60, 1,80 e 2,00 m, registrada pela Estação Maregráfica da EPAGRI-CIRAM, para toda a área urbana do município de Joinville, conforme apresentado na Figura 7.

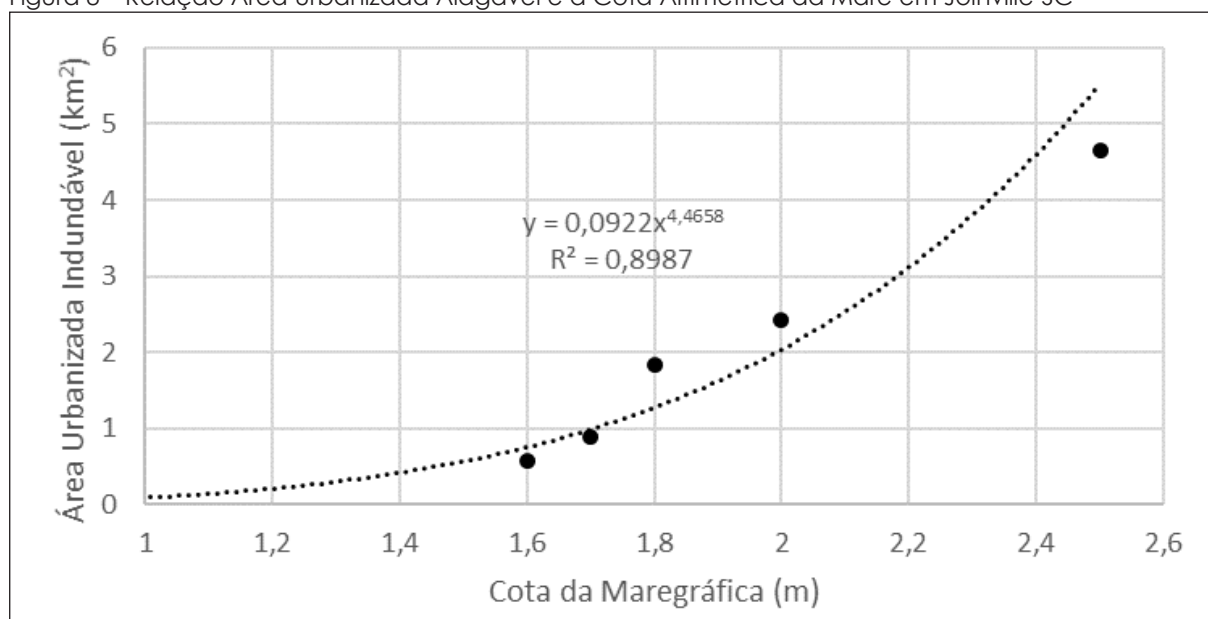
Figura 7 – Mancha de Inundação Urbana por Maré em Joinville-SC



Fonte: os autores.

Baseado nos resultados obtidos, verificou-se que as áreas urbanizadas do município começam a ser afetadas pelos eventos de maré a partir da cota altimétrica de 1,00 m, conforme ilustra a Figura 8, no entanto, até a cota de 1,60 m identificaram-se poucos impactos relativos aos alagamentos nas residências atingidas nas manchas de inundação.

Figura 8 – Relação Área Urbanizada Alagável e a Cota Altimétrica da Maré em Joinville-SC



Fonte: os autores.

Baseado em tal constatação, recomenda-se a cota altimétrica de 1,80 m como cota emergencial para alagamentos devido eventos maregráficos no município de Joinville.

No entanto, considerando a possibilidade de coincidência de eventos maregráficos meteorológicos, que podem potencializar em até 50% a amplitude das marés astronômicas, a cota máxima segura para previsões de maré astronômica de longo prazo considerada foi de 1,20 m.

Por tanto, relacionando as leituras do marégrafo de referência as áreas inundáveis potenciais no município de Joinville, recomenda-se a adoção de medidas de alerta à população em caso de previsão de eventos maregráficos astronômicos com leitura igual ou superior a 215 cm.

4 Conclusão

Conforme apresentado, existe uma relação consistente entre as leituras e previsões de maré da Estação Maregráfica da EPAGRI-CIRAM com as cotas de alagamento a área urbana da cidade de Joinville-SC.

Analisando as manchas de inundação apresentadas constata-se que, tanto da bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, como das Bacias Hidrográficas da Vertente Leste, pode-se verificar, conforme já constatado no Joinville (2011), que para níveis de maré de 1,60 m as áreas urbanizadas apresentam inundações de pequena monta, distribuídas em várias áreas das bacias estuarinas urbanas, sendo este o nível implicitamente adotado pela população para construção “em seco”.

Portanto, espera-se que para níveis de maré próximos ao nível de 1,80 m, ter-se-á presença de alagamento de lote e, em algumas regiões necessidade, possibilidade de danos materiais. Baseado nisso recomenda-se a adoção desse nível altimétrico de maré com “Cota de Alerta de Alagamento por Maré” para as áreas atingidas de Joinville.

Outro aspecto a ser considerado, tendo em vista a dificuldade na previsão dos efeitos meteorológicos na amplitude das marés astronômicas (mais fáceis de serem previstas) e considerando a necessidade de anteceder a ocorrência dos eventos de alagamento, recomenda-se a adoção de uma escala de Atenção que antecede ao alerta de Emergência.

Conforme estudo apresentado no Joinville (2011), os efeitos meteorológicos podem ampliar o nível das marés astronômicas em até 50% (com maior recorrência).

Baseado nisso, recomenda-se a aplicação de tal fator de segurança sobre a “Cota de Alerta de Emergência de Alagamento por Maré”, sendo a cota de 1,20 m estabelecida com cota de Atenção, com o objetivo de auxiliar o processo de monitoramento.

Por tanto, a leitura maregráfica recomendada como base para disseminação de alertas de ocorrência de eventos de alagamento por maré à população de Joinville é de 215 cm.

Dessa forma, tem-se informações consistentes para o planejamento e ocupação urbana, bem como para o estabelecimento de medidas de prevenção e mitigação dos eventos adversos de maré nas áreas atualmente já afetadas.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e Gestão de Portos e Costas**: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

COELHO, A. de L. **Método de previsão de maré oceânica, utilizando análise harmônica em séries de 18,69 anos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, São Paulo, 2016.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 26 ago. 2020.

HARARI, J.; FRANÇA, C. A. S.; CAMARGO, R. Variabilidade de longo termo de componentes de marés e do nível médio do mar na costa brasileira. Afro-Am. **Gloss News**, v. 8, n. 1, 2004.

IBGE. **Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/10842-rmpg-rede-maregrafica-permanente-para-geodesia.html?edicao=16277&t=sobre>. Acesso em: 26 ago. 2020.

IBGE (2010). **Instruções técnicas para controle geodésico de estações maregráficas (CGEM) e sua vinculação vertical ao sistema geodésico brasileiro (SGB)** / IBGE, Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JOINVILLE, Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira**. Prefeitura Municipal de Joinville, 2011.

JOINVILLE, Prefeitura Municipal. **Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas da Prefeitura de Joinville (SIMGEO)**. Bairros de Joinville. Joinville, 2007.

MCCORMICK, J. M.; THIRUVATHUKAL, J. V. **Elements of Oceanography**. 2nd ed. Orlando: Saundres College Publishing, 1981.

MESQUITA, A. R. Sea level variations along the Brazilian coast: a short review. **Journal of Coastal Research**. SI 35, p. 21-31. 2003.

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. Marés astronômicas na Baía da Babitonga, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 57-66, 1999.

