



GT – 02: “Análise socioespacial urbana com sistema de informações geográficas”

ESTIMATIVA DOS IMPACTOS DE INUNDAÇÕES SOBRE O ESTOQUE IMOBILIÁRIO E AS ATIVIDADES ECONÔMICAS EM PORTO ALEGRE (RS)

Ramon Lucato de Aguiar
Faculdade de Arquitetura (FA) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
ramonlaguiar@yahoo.com

Alexander Hellervik
Department of Architecture and Civil Engineering (ACE) - Chalmers University of
Technology
alexander.hellervik@chalmers.se

Clarice Maraschin
Faculdade de Arquitetura (FA) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
clarice.maraschin@ufrgs.br

RESUMO: As enchentes extremas de maio de 2024 ocorridas no RS causaram impactos humanos, sociais e econômicos de grandes proporções. Este trabalho enfoca os impactos sobre o estoque imobiliário e atividades econômicas para dez cotas de enchente simuladas em um cenário de colapso do sistema de contenção de cheias, como o que foi verificado nesta última inundação. Para tanto são utilizados os registros de transações imobiliárias correspondentes ao ano de 2022 e uma medida configuracional (centralidade preferencial) que almeja capturar o potencial de atividades de determinada localização. Conclui-se que entre 3 e 18% do estoque imobiliário estimado e entre 8 e 24% das atividades estimadas poderiam ser afetadas, um relacionamento linear defasado, sugestivo de que o risco à inundação pode depreciar o valor do solo e constranger seu potencial aproveitamento econômico.

Palavras-chave: centralidade; inundações; valor do solo.

1. INTRODUÇÃO

A partir de abril de 2024 fortes chuvas afetaram o vale do Taquari, produzindo vazões sem precedentes nos rios alimentadores do lago Guaíba, que banha a capital gaúcha. Como

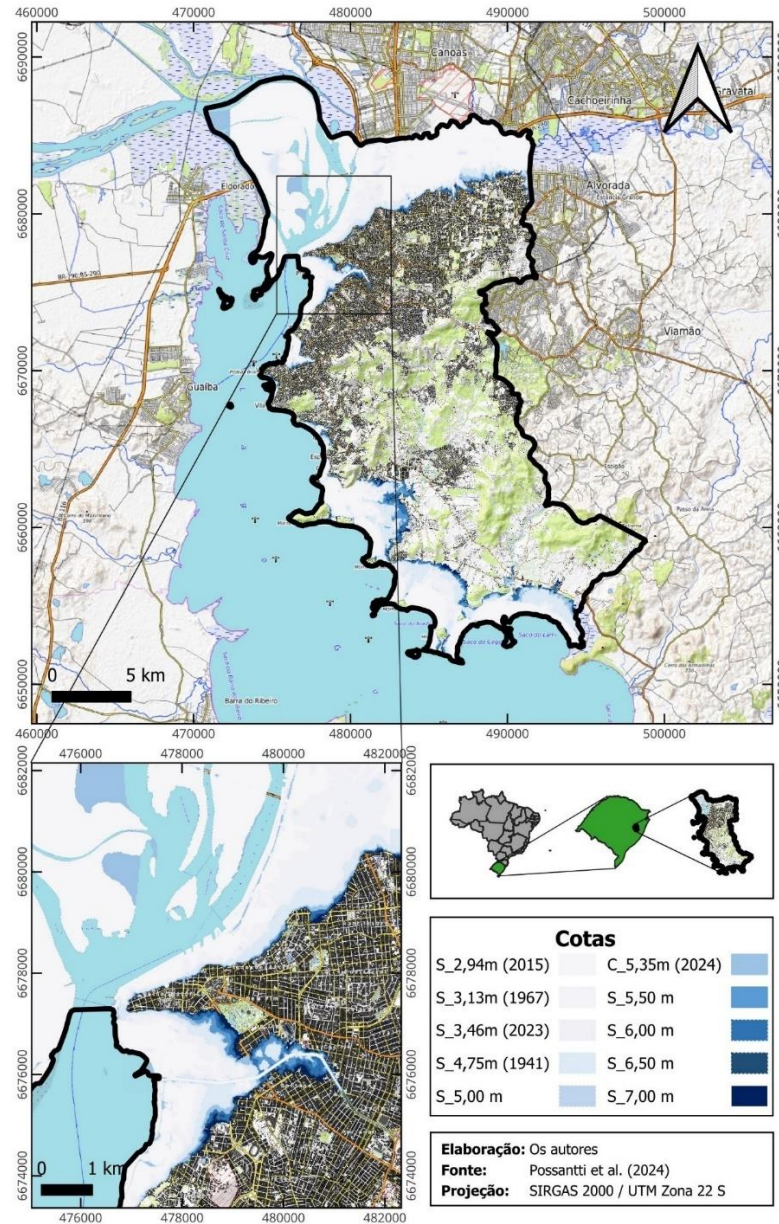
agravante, a drenagem da água foi retardada em função da elevação do nível do mar (“maré de tempestade”), e durante várias semanas, a partir de 2 de maio, o Guaíba permaneceu acima da cota de inundação de 3 metros¹ (Ling; Inglês, 2024). Neste mesmo dia a prefeitura de Porto Alegre decretou estado de calamidade pública (Porto Alegre, 2024) e na madrugada de 05 de maio o lago atingiu a maior cota registrada na cidade (entre 5,30 e 5,35 metros), superando o recorde anterior de 4,76 metros entre abril e maio de 1941 (ANA, 2024).

Estresses hidrológicos são comuns nessa localização, de modo que Possantti *et al.* (2024) registram o fato de Porto Alegre haver experimentado outros episódios de inundação (figura 1): em 1941 (cota de 4,75 metros), em 1967 (3,13 metros), em 2015 (2,94 metros), e em 2023 (3,18 metros em setembro e 3,46 em novembro). As três últimas, entretanto, foram atenuadas pelo sistema de diques, comportas e bombas de água instalado para esse fim na década de 1970² (Ling; Inglês, 2024). Tendo em vista a crise socioambiental contextualizada, o presente trabalho objetiva estimar os impactos das inundações ocorridas em maio de 2024 sobre o estoque imobiliário e os impactos sobre o valor imobiliário agregado por tipo de uso do solo, e sobre as atividades econômicas do município de Porto Alegre (RS). Do mesmo modo, se almeja estimar os potenciais impactos de inundações que atingissem os níveis das cheias históricas mencionadas, na hipótese de falha do sistema de contenção.

¹No momento da redação deste artigo (24/05, 11h15) o nível do Guaíba se encontra em 3,96 m, portanto ainda acima da cota de inundação (ANA, 2024). Mensurações na Estação Cais Mauá C6.

² Diante do volume e da rapidez do avanço das águas esse sistema de contenção colapsou no evento de maio de 2024.

Figura 1. Simulação de áreas afetadas por inundações, segundo cotas históricas e projetadas. Para o episódio de 1941 é simulada a provável abrangência da lâmina d'água. Para o episódio de 2024 os limites da lâmina foram definidos por Possanti *et al.* (2024) a partir de inspeção visual de imagens aéreas. As demais cotas simulam a abrangência da lâmina d'água na eventualidade de falha do sistema de contenção.



Elaboração própria.

Segundo a economia urbana clássica, o valor do solo está inversamente relacionado à distância em relação ao centro (ou centros) da cidade. Este conceito é baseado no trabalho de Alonso (1964), que argumenta que negócios obtêm maiores taxas de lucro em locais mais acessíveis e centrais, tornando o solo nessas áreas mais competitivo e caro. Por outro lado, áreas

mais distantes tendem a ser mais baratas e adequadas para usos menos lucrativos, como indústrias (maiores consumidoras de superfície) e residências. No contexto do uso residencial, Schirmer, Eggermond e Axhausen (2014) destacam que o preço do solo pode refletir diversas características do espaço. Isso inclui a acessibilidade aos recursos urbanos, mas também a forma e disposição dos edifícios, o contexto socioeconômico e a proximidade a pontos de satisfação das necessidades comunitárias (Lee, 2016; Zhang, Zhang e Miller, 2021). Além disso, a proximidade a elementos desvalorizadores, como assentamentos informais e áreas violentas, pode depreciar certos locais, mesmo que outros fatores sejam favoráveis (Paixão, 2015). Nesse quesito, a suscetibilidade a alagamentos pode atuar como fator depreciativo, sobretudo para atividades industriais (Sawada *et al.*, 2018), mas igualmente para usos residenciais (Wei; Zhao, 2022; Zhai; Fukuzono; Ikeda, 2003). Neste caso, Bélanger e Bourdeau-Brien (2018) encontraram que residências muito próximas à margem de corpos hídricos podem ser depreciadas pelo risco de inundações, especialmente logo após a ocorrência desses eventos.

No concernente aos impactos econômicos de inundações sobre as atividades econômicas urbanas, Emmanuel *et al.* (2022) salientam a drástica redução de viagens para compras, bem como o significativo incremento nos custos de fornecimento de insumos e nos preços de bens e serviços durante tais episódios. Além disso, pequenos negócios tendem a sofrer mais intensamente que os grandes o impacto direto de inundações. Rentschler *et al.* (2022), por sua vez, enfatizam que inundações levam a disrupções na infraestrutura de transportes, afetando a conectividade entre empresas e comprometendo o acesso a bens e serviços. Desse modo, numa situação de ausência ou falha nos sistemas de proteção a cheias, quanto maior a cota atingida, maiores os impactos tanto sobre o estoque e mercado imobiliário quanto sobre as atividades econômicas da cidade afetada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a estimativa dos impactos sobre o estoque imobiliário nos valem os dados sobre transações imobiliárias efetuadas em 2022³ e declaradas à Secretaria Municipal da Fazenda (SMF) para fins de recolhimento do Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis (ITBI)⁴. As

³ Ano mais recente com dados disponibilizados. De modo a minimizar efeitos longitudinais associados a fatores macroeconômicos intervenientes sobre os preços, preferiu-se considerar apenas o intervalo temporal de um ano.

⁴ Dados não publicados cedidos pela SMF, pelo que agradecemos aos servidores srs. Cláudio Lopes de Almeida e Eduardo Beckel Mallmann.

guias de recolhimento do ITBI dispõem de dados não sigilosos e sem identificação de titularidade, dentre os quais empregamos o endereço, valor pago pela compra do imóvel, área do terreno e área construída privativa. De modo a capturar o impacto sobre todos os usos do solo urbano, analisam-se as transações de *apartamentos*, *casas unifamiliares*, estabelecimentos de *comércio/serviços*, *industriais* e *estacionamentos*. Esses dados fornecem uma amostra da superfície de solo ocupada e da área construída, bem como dos valores de mercado de imóveis em todo o município. O confronto entre os valores correspondentes a propriedades transacionadas diretamente afetados pelas inundações (de 2024 e simuladas) com os valores atinentes ao conjunto de imóveis transacionados em Porto Alegre no ano de 2022 oferece uma aproximação ao impacto desses fenômenos hidrológicos sobre o estoque imobiliário da cidade⁵.

Para o exame dos impactos das inundações sobre as atividades econômicas foi empregada uma medida de rede, a centralidade preferencial (*preferential centrality* - PC), desenvolvida por Hellervik (2021) e Hellervik, Nilson e Andersson (2019) que objetiva representar o total de atividade urbana associada a certa localização. Essa atividade corresponde à soma de todas as interações que envolvem essa localização (dela partindo ou a ela demandando) e pode ser traduzida como “[...] um valor simples genérico que representa tanto o valor econômico monetário quanto a intensidade de usos do solo não monetizados” (Hellervik, 2021, p. 38). Todos os usos do solo contribuem para a geração de atividade, os quais podem assim ser abrangidos por uma unidade de medida comum. Por essa razão, Hellervik⁶ considera o preço do solo um *proxy* adequado para a atividade, posto que da soma de atividades pagando por sua localização emerge um nível agregado de atividade que equivale à renda (ou valor) do solo⁷. Evidentemente, embora esse relacionamento seja teoricamente linear, existem outros fatores intervenientes (atributos de vizinhança, do imóvel etc.), não capturados pela centralidade preferencial, e que complexificam a relação entre atividade e valor do solo. Formalmente, pode-se definir a centralidade preferencial como (Hellervik; Nilsson; Andersson, 2019):

⁵ Pressupõe-se, para tanto, que os imóveis comprados no ano de 2022 exibem distribuição aleatória no município, o que quase certamente é impreciso, posto que o mercado imobiliário tende a ser mais dinâmico (menor intervalo de tempo entre o anúncio e a transação) em áreas mais valorizadas e, portanto, mais demandadas (Hyun; Milcheva, 2018). De qualquer modo, em Porto Alegre estas áreas são muito mais densas, exibindo volume superior de bens imobiliários, efeito que controla até certo ponto a desproporção sugerida.

⁶ *Ibid.*

⁷ Para detalhes sobre os pressupostos, implicações e processo de cálculo da centralidade preferencial remetemos à bibliografia indicada neste parágrafo.

$$a_j = W_j \sum_i \frac{a_i f(c_{ij})}{\sum_k W_k f(c_{ik})} \quad (1)$$

Em que, a_j é a atividade ou centralidade preferencial da localização j ; W_j é sua atratividade (definida como a soma da atividade que ocorre em j com atributos intrínsecos a essa localização que permitam ou potencializem essa atividade⁸); a_i corresponde à atividade ou centralidade preferencial da localização i , com a qual j interage; $f(c_{ij})$ representa os custos de interação (em tempo) entre i e j ; e W_k e $f(c_{ik})$ indicam, respectivamente, a atratividade e custos de interação associados às demais localizações com que j se vincula. A unidade de análise de a_j é o trecho viário⁹. O volume de atividade impactada pelas inundações é estimado mediante a soma dos valores de a_j associados a trechos submersos e seu confronto (razão) com o total de valores de a_j do município.

Neste trabalho se consideram os impactos reais estimados da inundação de maio de 2024, bem como são simulados quais seriam os impactos na eventualidade de as cotas de inundação dos episódios históricos enumerados na Introdução se repetissem no presente. Para as ocorrências de 2015 e 2023 se tem em conta a área inundada caso o sistema de contenção houvesse falhado. Além disso, também são simulados os seguintes níveis de inundação (em metros): 5,00, 5,50, 6,00, 6,50 e 7,00. Os dados sobre as áreas direta ou potencialmente afetadas por esses episódios reais e simulados provém de Possantti *et al.* (2024). As análises espaciais e o preparo do material cartográfico foram efetuados por intermédio do QGIS, versão 3.32.3. O cálculo da PC se realizou através do SpatCent, ferramenta disponível na internet para a análise da acessibilidade e centralidade em redes espaciais (Hellervik, 2024).

3. IMPACTOS DE INUNDAÇÕES SOBRE O ESTOQUE IMOBILIÁRIO DE PORTO ALEGRE

A tabela 1 exhibe os impactos estimados da inundação de maio de 2024 e de inundações simuladas sobre o estoque imobiliário de Porto Alegre por tipo de propriedade, considerando-

⁸ Nota-se que atividade associada a j aparece em ambos os lados da equação. Por essa razão, o cálculo da PC é iterativo, i.e., o algoritmo atribui inicialmente um valor de atividade a todos os segmentos da rede, o qual é inversamente proporcional ao custo médio de acesso, dado em tempo de deslocamento, entre este segmento e todos os demais. A partir dessa atribuição, os cálculos são reprocessados até que para cada segmento o número de interações que o demandam equivalha ao de interações que dele partam.

⁹ O trecho viário é a porção de uma via pública compreendida entre duas intersecções ou entre uma intersecção e seu término (Oliveria e Medeiros, 2016).

se o número de unidades, a superfície total de terrenos (apenas para casas unifamiliares e estabelecimentos industriais/logísticos), a área construída privativa e o valor imobiliário total afetado. Apenas se exibem valores relativos, os quais permitem a estimativa da proporção do total de imóveis afetados, mediante comparação com o universo de propriedades registradas no ITBI (vendas em 2022)¹⁰. Os valores para as cheias de 1941, 1967, 2015 e novembro de 2023 simulam os impactos *atuais* na eventualidade de falha do sistema de contenção seguida pelo extravasamento da água adotando-se as respectivas cotas verificadas naqueles episódios. O mesmo se diz sobre as simulações das cotas em metros. No que tange à cheia de maio de 2024, estimam-se os impactos reais sobre o patrimônio imobiliário.

Tabela 1. Impactos simulados e real (para maio de 2024) estimados em diferentes cenários de cotas de inundação em Porto Alegre. A área privativa e o valor imobiliário incluem imóveis em pavimentos não alagados, porém cujos terrenos dos respectivos edifícios o foram (ou seriam, nas simulações). S: eventos simulados; C: impactos estimados da cheia de 2024. (continua)

UNIDADES AFETADAS (% da amostra)						
	Casas	Estaciona- mentos	Aparta- mentos	Comércio/ Serviços	Indústria/ Logística	Total
S_2,94m (2015)	0,97	1,73	2,21	8,71	2,21	2,51
S_3,13m (1967)	1,55	2,10	2,88	10,38	24,24	3,19
S_3,46m (2023)	3,31	3,95	5,65	17,06	64,55	6,00
S_4,75m (1941)	4,89	8,33	11,28	25,59	65,15	11,13
S_5,0m	4,98	8,39	11,55	26,51	66,67	11,38
C_5,35m (2024)	4,98	9,06	12,03	28,37	68,18	11,96
S_5,5m	6,53	9,46	13,15	28,02	68,18	12,86
S_6,0m	8,33	10,30	14,48	31,95	69,70	14,33
S_6,5m	8,57	10,70	15,14	35,88	69,70	15,14
S_7,0m	9,57	12,43	17,78	37,43	72,73	17,34
SUPERFÍCIE DO TERRENO AFETADA (%)						
	Casas	Estaciona- mentos	Aparta- mentos	Comércio/S erviços	Indústria/ Logística	Total
S_2,94m (2015)	1,51	/	/	/	7,85	/
S_3,13m (1967)	1,67	/	/	/	8,12	/
S_3,46m (2023)	3,64	/	/	/	35,20	/
S_4,75m (1941)	5,76	/	/	/	67,19	/
S_5,0m	5,80	/	/	/	67,36	/
C_5,35m (2024)	5,69	/	/	/	67,48	/
S_5,5m	6,93	/	/	/	67,48	/

¹⁰ Por limitação de espaço, não expomos a tabela completa, com os valores absolutos para todo o município e para as áreas afetadas, constantes nas guias ITBI. A requerimento, os autores podem disponibilizá-la.

(conclusão)

S_6,0m	8,09	/	/	/	67,62	/
S_6,5m	8,61	/	/	/	67,62	/
S_7,0m	10,05	/	/	/	67,81	/

ÁREA PRIVATIVA AFETADA (%)

	Casas	Estaciona- mentos	Aparta- mentos	Comércio/S erviços	Indústria/ Logística	Total
S_2,94m (2015)	0,83	1,67	1,94	9,68	15,66	3,77
S_3,13m (1967)	1,19	2,01	2,48	11,62	16,69	4,55
S_3,46m (2023)	2,84	3,99	4,89	20,27	62,82	9,91
S_4,75m (1941)	4,52	8,00	9,57	28,20	72,67	15,33
S_5,0m	4,69	8,07	9,80	28,53	73,37	15,60
C_5,35m (2024)	4,97	8,73	10,30	30,18	73,94	16,28
S_5,5m	6,97	9,11	11,34	29,53	73,94	17,00
S_6,0m	8,66	9,85	12,48	32,80	74,61	18,45
S_6,5m	8,93	10,24	13,05	36,28	74,61	19,45
S_7,0m	10,39	11,73	14,89	37,26	75,10	21,09

VALOR IMOBILIÁRIO AFETADO (%)

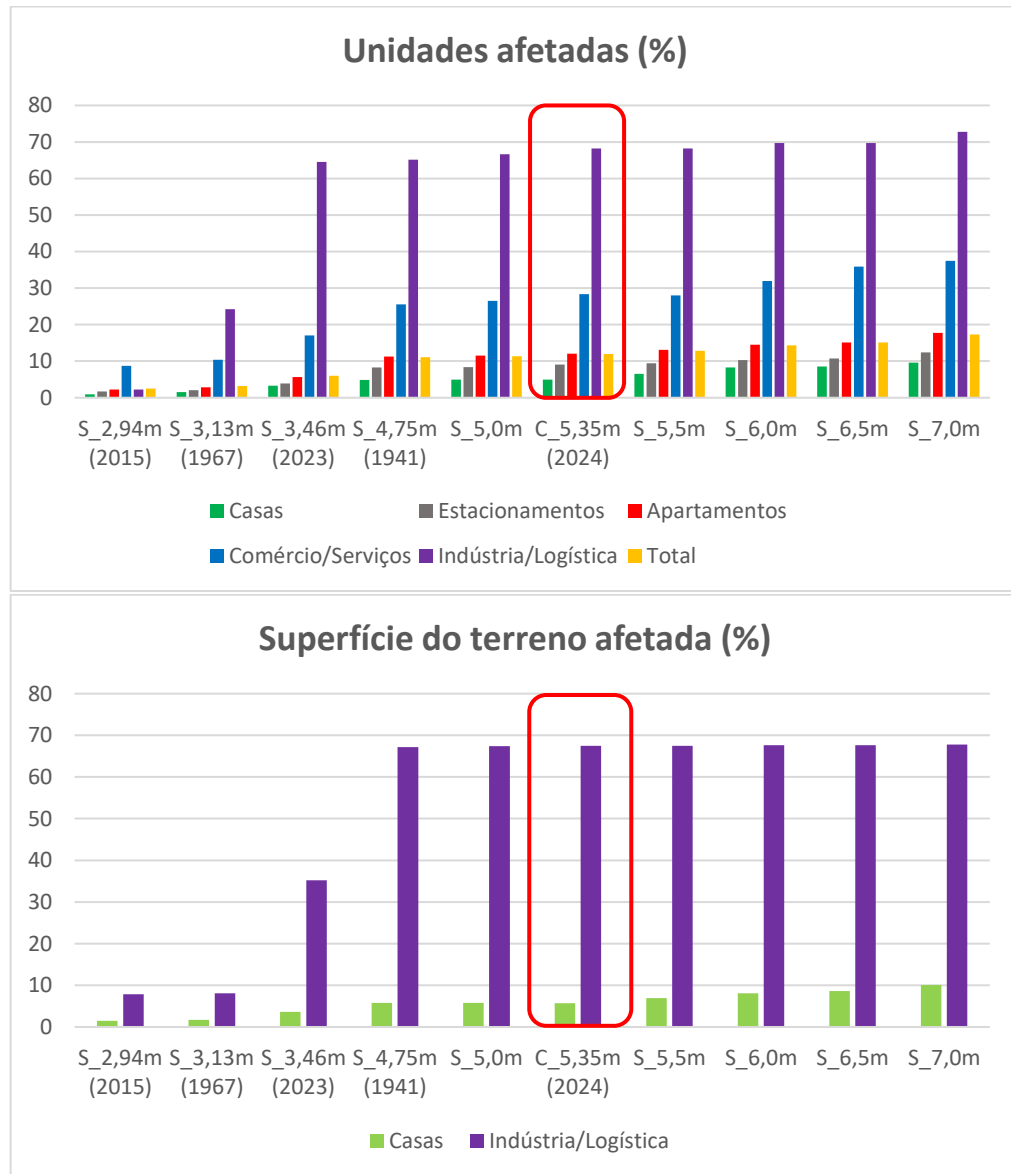
	Casas	Estacionam entos	Aparta- mentos	Comércio/S erviços	Indústria/ Logística	Total
S_2,94m (2015)	0,74	1,52	2,01	10,21	12,43	3,18
S_3,13m (1967)	1,03	1,84	2,64	11,74	13,20	3,92
S_3,46m (2023)	2,73	3,57	4,62	17,74	60,81	7,33
S_4,75m (1941)	4,14	6,78	8,84	24,77	69,26	11,97
S_5,0m	4,28	6,84	9,04	24,92	69,77	12,16
C_5,35m (2024)	4,50	7,58	9,67	26,67	70,07	12,92
S_5,5m	6,99	8,00	10,59	25,95	70,07	13,63
S_6,0m	8,77	8,82	11,54	28,99	70,87	14,82
S_6,5m	8,94	9,19	12,10	33,51	70,87	15,83
S_7,0m	10,25	10,80	14,15	34,32	71,46	17,70

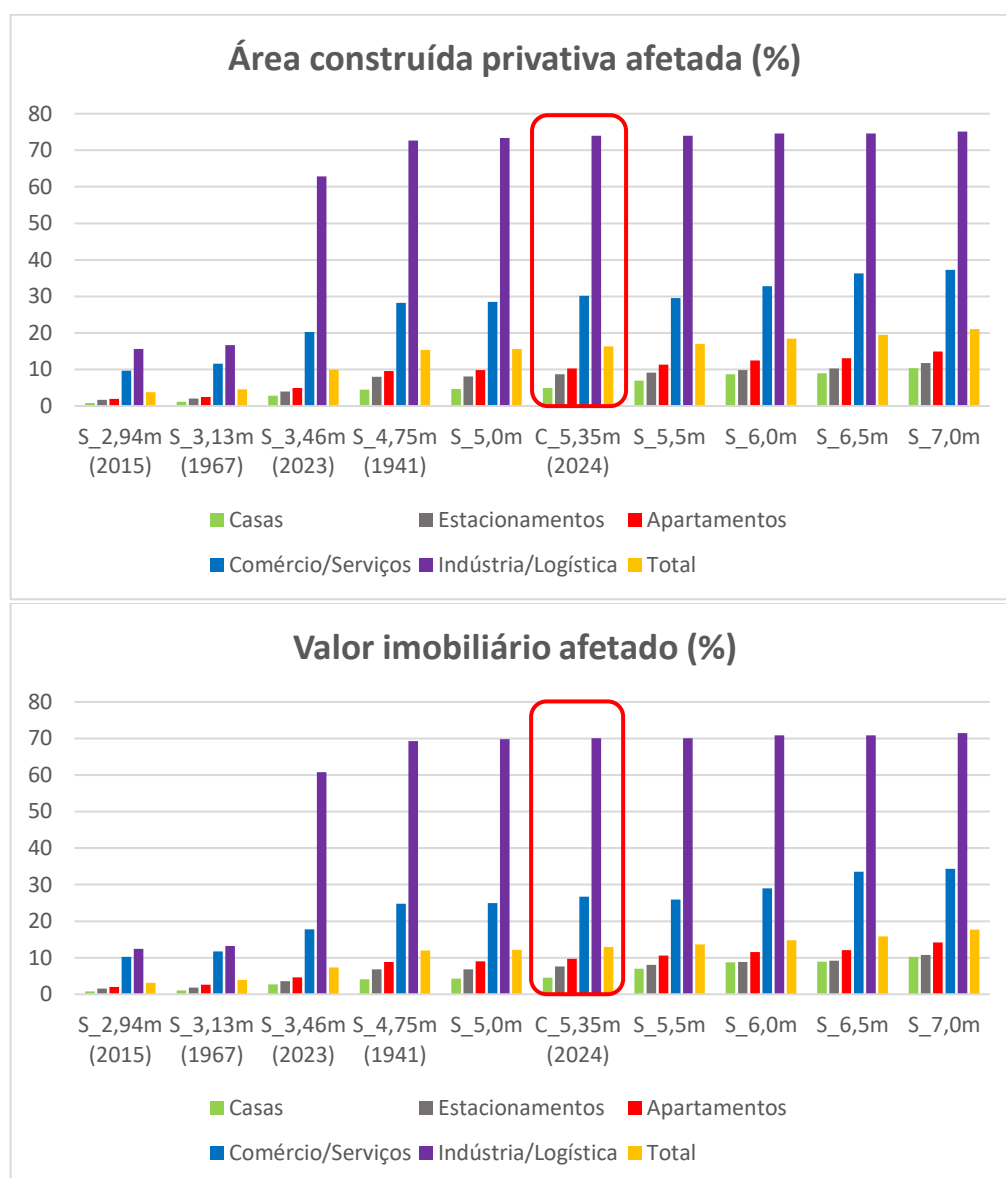
Elaboração própria.

Os gráficos representados na figura 2 ilustram as proporções do estoque imobiliários afetado, por tipo de propriedade, no que tange ao número de unidades, superfície do terreno, área construída privativa e valor imobiliário¹¹.

¹¹ Deve-se atentar para o fato de que em números absolutos o montante de casas, apartamentos, unidades comerciais e de serviços e de estacionamento afetadas supera significativamente o total de unidades industriais/logísticas atingidas.

Figura 2. Impactos simulados e reais (maio de 2024) estimados em diferentes cenários de cotas de inundação em relação ao universo do patrimônio imobiliário transacionado em Porto Alegre. S: simulação; C: impacto real estimado da cheia de maio de 2024.





Elaboração própria.

É patente a desproporção do impacto de inundações sobre as propriedades *industriais e logísticas* em Porto Alegre. Enquanto a simulação do nível de 2015 (2,94 m) afeta apenas 2,21% das propriedades do tipo (ainda que 7,85 da superfície de terrenos; 15,66% da superfície construída privativa; e 12,43% do valor imobiliário transacionado estimado), este número salta para quase um quarto de unidades (24,24%) na simulação do nível de 1967 (3,13m), ainda que a superfície total de solo ocupado (8,12%), a área construída (16,69%) e o valor imobiliário estimado afetados (13,20%) ascendam desproporcionalmente menos. Tal constatação pode ser indicativa da concentração de indústrias e galpões de pequenas dimensões em locais situados

entre as cotas 2,94 e 3,13 m, enquanto os maiores e mais caros se localizam preferencialmente em patamares mais elevados. Isso é confirmado quando se simula o nível de novembro de 2023 (3,46 m), o qual provoca o disparo dos valores de número de unidades (64,55%), superfície de solo (35,2%), área construída (62,82%) e valor imobiliário estimado (60,81%) impactados¹². A partir deste nível de inundação se assiste a um acréscimo gradual e constante dos impactos até a simulação de 7,00 metros, com proporção de 72,73% de unidades; 67,81% da superfície do solo; 75,10% da área privativa construída; e 71,46% dos valores imobiliários estimados afetados pela submersão.

No que tange ao evento de maio de 2024, calcula-se que **68,18%** das unidades industriais e logísticas de Porto Alegre; **67,48%** da superfície de seus terrenos; **73,94%** de suas áreas construídas privativas; e **70,07%** de seus valores imobiliários estimados tenham sido diretamente acometidos pelo transbordamento do Guaíba. Esses valores, embora surpreendentemente elevados, se justificam pela localização desses estabelecimentos, agrupados em bairros de baixa altitude na zona norte, junto ao Guaíba/Jacuí (Floresta, São Geraldo, Navegantes, Farrapos, Humaitá), ou na planície de inundação do rio Gravataí (Sarandi).

A segunda classe de uso do solo mais suscetível de ser atingida por inundações, em termos percentuais, é de *comércio e serviços*. Essa vulnerabilidade se explica pela proporção elevada de estabelecimentos do gênero no setor norte do Centro Histórico (áreas baixas e aterros junto ao Guaíba) e nos citados bairros da zona norte, paralelos à orla. Na simulação menos impactante, correspondente ao evento de 2015 (2,94 m), seriam submersas 8,71% das unidades comerciais e de serviços; 9,68% de suas áreas construídas privativas; e 10,21% de seu valor imobiliário estimado. Essas cifras se elevariam até, respectivamente, 37,43%; 37,26%; e 34,32% na simulação mais grave de 7,00 metros, a qual levaria, portanto, a uma estimativa de que mais de um terço do setor terciário da capital gaúcha seria diretamente impactado. Em maio de 2024 estimamos que **28,37%** das unidades; **30,18%** da área construída; e **26,67%** do valor imobiliário transacionado de estabelecimentos comerciais e de serviços tenham sido acometidos.

¹² O aumento menor da superfície de solo ou terrenos em relação à área construída e valor imobiliário sugerem localizações industriais mais densas em localizações mais urbanizadas e caras. De fato, em cotas superiores situadas na zona leste (especialmente no bairro Sarandi) os terrenos tendem a ser muito mais amplos.

Entre os *apartamentos*, um nível de extravasamento equivalente ao da cheia de 2015 (2,94 m) afetaria 2,21% das unidades de Porto Alegre (tendo-se em vista a localização do edifício); 1,94% da área privativa; e 2,01% do valor imobiliário transacionado. Esse valor aumentaria rapidamente até o nível da cheia de 1941 (4,75 m), em que 11,28% das unidades; 9,57% da área privativa; e 8,84% do valor imobiliário transacionado seriam impactados. No caso da inundação de maio de 2024, infere-se que **12,03%** das unidades; **10,30%** da área privativa; e **9,67%** do valor imobiliário tenham sido atingidos pela transgressão das águas. No cenário extremo de 7,00 m, esses valores incrementariam para 17,78%; 14,89%; e 14,15%, respectivamente. Nota-se que em praticamente todos os modelos o número de unidades e a área privativa total exibem valores superiores ao do valor imobiliário transacionado, indício de desvalorização dos imóveis em cotas baixas, já antes da inundação do presente ano.

No que tange a *estacionamentos*, a cota de 2015 (2,94 m) afetaria diretamente 1,73% das unidades; 1,67% da área privativa; e 1,52% do valor imobiliário transacionado, cifras que ascenderiam gradualmente até, nessa ordem, 12,43%; 11,73%; e 10,80%, com o nível da água a 7,00 m. Em maio de 2024 se infere que **9,06 %** das unidades; **8,73%** da área privativa; e **7,58%** do valor imobiliário tenham sido acometidos.

Por último, as *casas unifamiliares* parecem o tipo de uso do solo percentualmente menos exposto a eventos de transgressão das águas do Guaíba¹³. Isso se deve à localização preferencial dessa tipologia em regiões elevadas e afastadas do Guaíba. Por sua vez, a zona sul, onde a proximidade com a orla é atributo de prestígio a muitas casas, revela-se significativamente menos sujeita a inundações do que a zona norte (figura 1). Na simulação com a cota de 2015 (2,94 m), seriam atingidas 0,97% unidades; 1,51% da superfície total dos terrenos; 0,83% da área construída; e 0,74% do valor imobiliário transacionado. Ao nível de 7,00 m seriam impactadas 9,57%; 10,05%; 10,39%; e 10,25%, respectivamente. Em maio de 2024, estimamos que **4,98%** das propriedades em casas; **5,69%** da superfície total de seus terrenos; **4,97%** de suas áreas construídas; e **4,50%** de seu valor imobiliário tenham sido diretamente afetados. Vale mencionar que até esta cota (5,30 m) as proporções de unidades e

¹³Evidentemente, com essa afirmativa não consideramos que as unidades residenciais em casas se encontram, na maioria das vezes, ao nível do solo e, por essa razão, estariam mais expostas a sinistros que apartamentos ou escritórios em pavimentos superiores. Estes seriam afetados pelo isolamento do edifício, mas não pela danificação ou perda da propriedade em si e dos bens móveis nela abrigados.

de área construída são superiores à proporção do valor imobiliário estimado, o oposto constatando-se a partir de 5,50 m. Essa condição indica que muitas casas de alto valor se localizam suficientemente próximas ao lago a ponto de sofrerem com inundações de cotas mais elevadas¹⁴, embora aquelas situadas na vizinhança imediata da orla sejam relativamente desvalorizadas¹⁵, em concordância com o encontrado por Bélanger e Bourdeau-Brien (2018) no Reino Unido.

Tendo em vista o total transacionado das propriedades imobiliárias de Porto Alegre e a aproximação efetuada neste estudo no que refere aos dados obtidos, podemos afirmar que entre os cenários simulados menos danoso (2,94 m) e o mais catastrófico (7,00 m), de 2,51% a 17,34% das unidades imobiliárias do município seriam diretamente atingidos por inundações, o que corresponde a 3,77 – 21,09% das áreas construídas privativas e 3,18 – 17,70% do valor imobiliário estimado. Revela-se importante aumento nos valores imobiliários estimados acumulados até a cota de 4,75 m, correspondente à inundação de 1941, fato sugestivo do impacto daquele evento sobre a memória urbana de Porto Alegre e que implica, até a atualidade, na marcante desvalorização dos imóveis situados abaixo do referido nível topográfico, fato em harmonia com as conclusões de Wei e Zhao (2022) e Zhai, Fukuzono e Ikeda (2003) para cidades asiáticas e de Bélanger e Bourdeau-Brien (2018) para cidades britânicas. Ao se observarem os valores associados ao evento de maio de 2024, a estimativa é de que **11,91%** de todas as unidades imobiliárias; **16,28%** da área total construída privativa; e **12,92%** do valor imobiliário total estimado para o município tenham sido impactados, tendo como referência os totais transacionados em 2022.

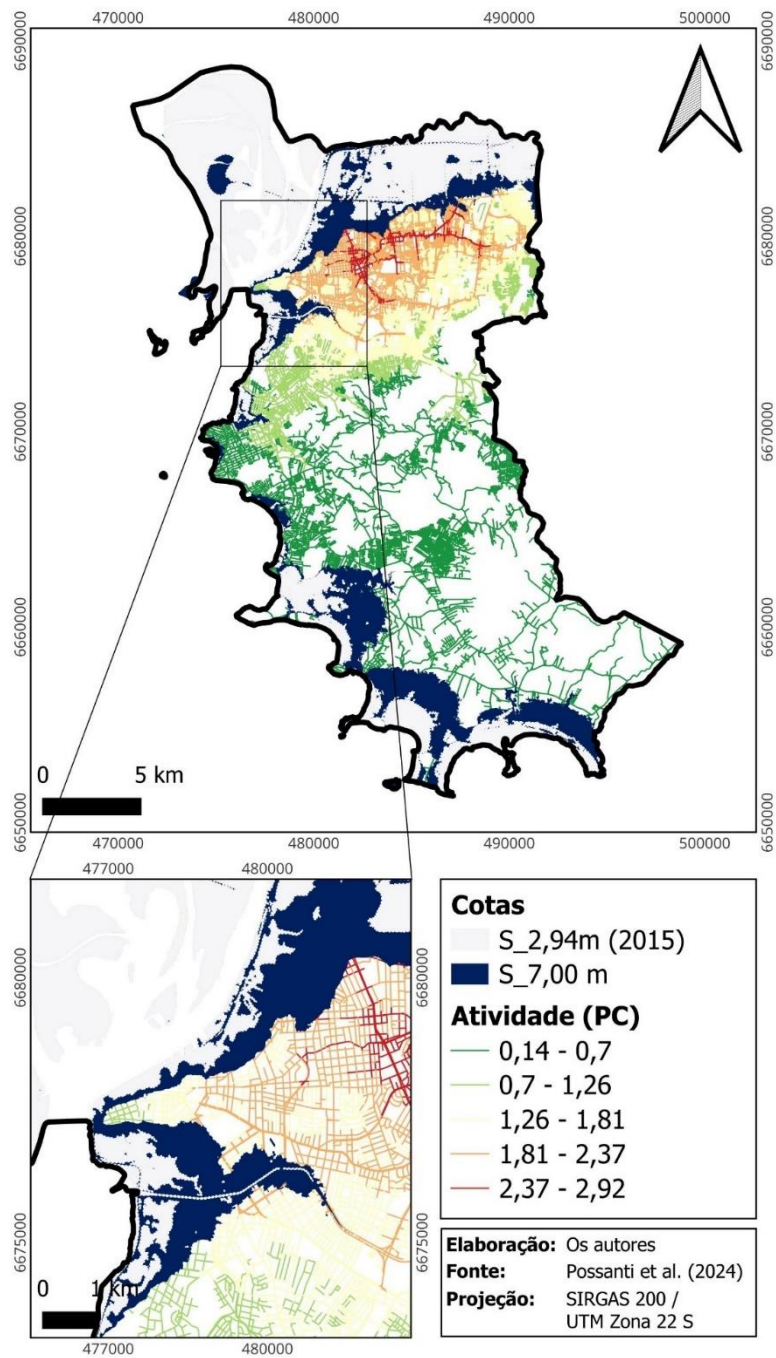
4. IMPACTOS DE INUNDAÇÕES SOBRE AS ATIVIDADES ECONÔMICAS DE PORTO ALEGRE

A figura 3 demonstra a distribuição de atividade por trecho viário estimada mediante a PC, bem como os impactos dos diferentes níveis de inundação simulados ou real sobre a atividade. A tabela 2, por sua vez, revela os valores de PC ou atividade diretamente impactado por cada nível. A figura 4, finalmente, exhibe a estimativa das proporções de atividades impactadas por diferentes cotas de inundação.

¹⁴ Conforme mencionado, na zona sul o Guaíba atua como amenidade natural/paisagística que valoriza o imóvel.

¹⁵ Possivelmente refletindo a externalidade negativa do maior risco de inundação.

Figura 3. Atividade (PC) por trecho viário e impactos dos diferentes níveis de inundação simulados ou real sobre a atividade.



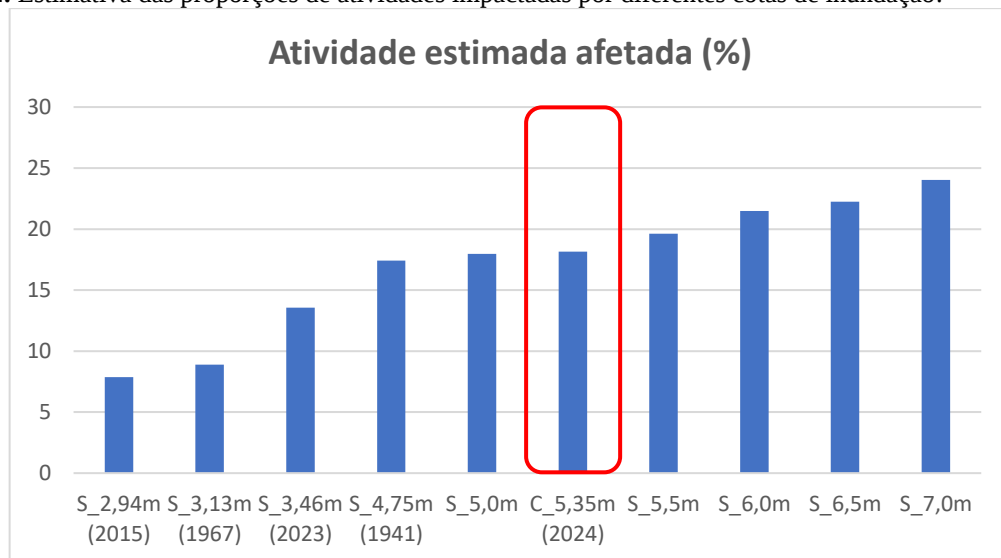
Elaboração própria.

Tabela 2. Impactos simulados e real (para maio de 2024) sobre a atividade estimada para diferentes cenários de cotas de inundação em Porto Alegre.

IMPACTO ESTIMADO DE INUNDAÇÕES SOBRE AS ATIVIDADES EM PORTO ALEGRE		
	PC soma	PC (%)
CONTROLE - Total POA (2022)	33.093,384	100
Simulado Cheia 2015 - 2,94 m	2.606,491	7,88
Simulado Cheia 1967 - 3,13 m	2.941,819	8,89
Simulado Cheia Nov/2023 - 3,46 m	4.484,149	13,55
Simulado Cheia 1941 - 4,75 m	5.768,312	17,43
Simulado 5 m	5.947,910	17,97
Cheia Mai/2024 - 5,3 m	6.008,169	18,16
Simulado 5,5 m	6.495,466	19,63
Simulado 6 m	7.107,306	21,48
Simulado 6,5 m	7.360,701	22,24
Simulado 7 m	7.952,115	24,03

Elaboração própria.

Figura 4. Estimativa das proporções de atividades impactadas por diferentes cotas de inundação.

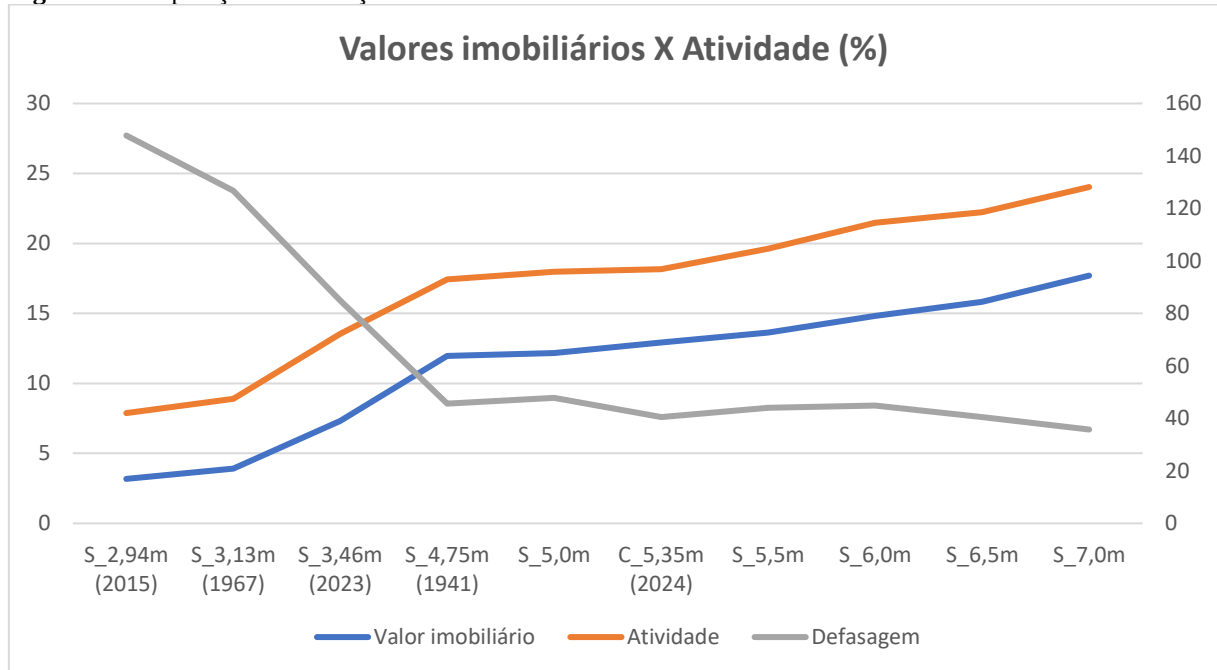


Elaboração própria.

A partir do cálculo da centralidade preferencial se estima que a proporção de atividades afetadas em Porto Alegre varia de 7,88% na simulação com a cota da cheia de 2015 (2,94 m) até 24,03% na simulação com a cota de 7,00 m, i.e., em torno de um quarto das atividades do município. Infere-se que no evento de maio de 2024 **18,16%** das atividades tenham sido diretamente impactadas pela inundação. Ao comparar a variação dessas grandezas com a variação dos valores imobiliários totais transacionados em 2022 se deslinda uma notável

correlação linear de 0,9967 ($p < 0,001$), muito embora em termos nominais a atividade estimada exiba defasagem em média 65,86% superior ao valor imobiliário estimado, com tendência declinante à medida que maior proporção de atividades e imóveis são afetados pelas inundações (figura 5).

Figura 5. Comparação das variações nos valores imobiliários estimados e na atividade estimada.



Elaboração própria.

O fenômeno demonstrado se explica, pois, conforme relatado, a centralidade preferencial é capaz de representar a atividade potencialmente existente a partir da configuração da rede viária, desconsiderando outros fatores interferentes que possam localmente afetar os preços imobiliários. No caso em tela, a proximidade à orla do Guaíba, notavelmente na zona norte, é tida como atributo depreciativo, devido não somente à maior exposição a transgressões da água, como à natureza do uso do solo que ali se delineou (Cabral, 1982; Souza e Müller, 2007). Nesse sentido, a vizinhança do cais do porto, a concentração de atividades industriais e logísticas e a presença de comércio e serviços de natureza indesejada afastam potenciais compradores de imóveis de padrão superior e pressionam negativamente os preços, ainda que configuracionalmente esta seja uma localização relativamente vantajosa à concentração de atividades. À medida que se afasta da orla, maiores altitudes atraem usos mais prestigiosos e se

constata redução na defasagem entre atividades e valores imobiliários estimados, pois a atenuação de externalidades negativas repercute, por assim dizer, na otimização dos usos do solo urbano (atividades) de acordo com sua potencialidade configuracional. Conclui-se que em busca de minimizar os impactos adversos sugeridos por Emmanuel *et al.* (2022) e Rentschler *et al.* (2022), em Porto Alegre o aproveitamento econômico do solo é inferior ao potencial em áreas mais sujeitas a inundações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisa os impactos da inundação ocorrida em maio de 2024, bem como de inundações simuladas, sobre o estoque imobiliário e as atividades econômicas do município de Porto Alegre. Os resultados apontam que entre 2,51% e 17,34% das unidades imobiliárias de Porto Alegre podem ser afetadas por eventos de transgressão das águas do lago Guaíba que variem, respectivamente, desde 2,94 m até 7,00 m. Deve-se destacar novamente que esta estimativa tem como referência o total de imóveis transacionados em 2022, assim, esses resultados devem ser relativizados., Em termos percentuais, o uso do solo mais atingido é o industrial/logístico (2,21 – 72,73% das unidades), seguido por comércio/serviços (8,71 – 37,43%), devido a suas particulares localizações. No entanto, residências também podem ser severamente atingidas (como a inundação de maio de 2024 o demonstrou), com proporções que variam de 0,97% das casas unifamiliares no cenário menos grave até 17,78% dos apartamentos no mais crítico. No que tange aos valores imobiliários estimados, as cifras para o conjunto do estoque edificado transacionado oscilam de 3,18% (2,94 m) a 17,70% (7,00 m), sendo que os estabelecimentos industriais/logísticos são os principais prejudicados (12,43 – 71,46%), os comerciais em segundo lugar (10,21 – 34,32%), os apartamentos em terceiro (2,01 – 14,15%), enquanto as casas unifamiliares consistem no uso menos impactado (0,74 – 10,25%).

Variações de mesma ordem são verificadas nos resultados da modelagem das atividades econômicas, embora nominalmente estas se revelem em média cerca de 66% superiores aos valores imobiliários (7,88% de atividades afetadas na cota 2,94 m a 24,03%, na cota 7,00 m). A defasagem é superior nas cotas inferiores (147,80% em 2,94m) do que nas mais elevadas (35,76% em 7,00 m), indicando tendência à convergência entre valores e atividades à proporção que se afasta da orla. Esse fenômeno pode ser explicado à luz de uma tendência de desvalorização relativa das localizações próximas ao corpo hídrico, particularmente na zona

norte, por fatores exógenos à configuração da malha viária e que induzem à subutilização de seu potencial configuracional quanto à instalação de atividades diversas.

Finalmente, não obstante a obviedade da advertência, é necessário sublinhar a importância de que se garantam sistemas de contenção das cheias do lago Guaíba, de modo a evitar o extravasamento das águas sobre a área urbanizada. Este estudo revelou as estimativas de impactos sobre o patrimônio imobiliário e sobre as atividades econômicas em Porto Alegre tendo em vista a simulação de nove cotas, além da consideração do evento real de maio de 2024. Destacam-se os contratempos sobretudo às atividades industriais/logísticas e de comércio e serviços, ainda que outros usos do solo, como apartamentos, estacionamentos e casas unifamiliares também sejam significativamente atingidos na maioria das estimativas.

Para mais, a ruptura nos valores imobiliários estimados acumulados até as cotas 4,75 m (inundação de 1941), bem como o confronto das estimativas desses valores com as atividades impactadas estimadas indica que nas proximidades da orla o solo tende a desvalorizar-se e sujeitar-se à escassez das atividades que potencialmente poderiam ali ser abrigadas. A despeito de não contemplarmos uma análise de natureza sociodemográfica ou de acessibilidade financeira à habitação, com base em nossos resultados poderíamos assumir que os solos mais baratos e potencialmente acessíveis à população mais pobre estão mais vulneráveis a sinistros relacionados às cheias. Além disso, essas áreas são presumivelmente mais carentes em atividades que poderiam satisfazer as necessidades cotidianas dessa população.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb**: nível Guaíba. 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiazRjZDlmYjgtNzAzMS00ZTFmLTlmZDAtNzEwNjM0MDU0NTJhIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGltNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>. Acesso em: 24 mai. 2024.

ALONSO, W. **Location and Land Use**: toward a general theory of land rent. Cambridge: Harvard University Press, 1964.

BÉLANGER, P.; BOURDEAU-BRIEN, M. The impact of flood risk on the price of residential properties: the case of England. **Housing Studies**, Abingdon-on-Thames, v. 33, n. 6, p. 876-901, 2018.

CABRAL, G. F. **Distribuição espacial dos usos residenciais do solo – o caso de Porto Alegre**. 1982. Dissertação (Mestrado em Planejamento urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1982.

EMMANUEL, C. Evaluation of the effect of 2022 flooding on business activities in Lokoja Metropolis. **Journal of Geography Environment and Earth Science International**, [s.l.], v. 28, n. 4, p. 15-26, 2022.

HELLERVIK, A. **Networks of urban interaction**: Growth and centrality in the computer geography of urban activity. 2021. Tese (Doctor of Philosophy) – Chalmers University of Technology, Gothenburg, 2021.

_____. **SpatCent**. Gothenburg, 2024. Disponível em: <https://www.spatcent.se/>. Acesso em: 31 mai. 2024.

HELLERVIK, A.; NILSSON, L.; ANDERSSON, C. Preferential centrality – A new measure unifying urban activity, attraction and accessibility. **Urban Analytics and City Science**, v. 46, n. 7, p. 1331-1346, 2019.

HYUN, D.; MILCHEVA, S. Spatial dependence in apartment transaction prices during boom and bust. **Regional Science and Urban Economics**, v. 68, p. 36-45, jan. 2018.

LEE, J. Measuring the value of apartment density? The effect of residential density on housing prices in Seul. **International Journal of Housing Markets and Analysis**, Leeds, v. 9, n. 4, p. 483-501, 2016.

LING, A.; INGLÊS, R. **Entendendo as enchentes em Porto Alegre**: parte 1. 2024. Disponível em: <https://caosplanejado.com/entendendo-as-enchentes-em-porto-alegre-parte-1/>. Acesso em: 24 mai. 2024.

OLIVEIRA, V.; MEDEIROS, V. Morpho. Combining morphological measures. **Environment and Planning B**, Thousands Oaks, v. 43, n. 5, p. 805-825, set. 2016.

PAIXÃO, L. A. R. Índices de Preços Hedônicos para imóveis: uma análise para o município de Belo Horizonte. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 5-29, 2015.

PORTO ALEGRE. **Prefeitura decreta estado de calamidade pública em Porto Alegre**. 2024. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/gp/noticias/prefeitura-decreta-estado-de-calamidade-publica-em-porto-alegre>. Acesso em: 24 mai. 2024.

POSSANTTI *et al.* (2024). **Banco de dados das cheias na Região Hidrográfica do Lago Guaíba em Maio de 2024** [Versão 0.7]. Zenodo. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11166770>. Acesso em: 24 mai. 2024.

RENTSCHLER, M. *et al.* **Three Feet Under**: the impact of floods on urban jobs, connectivity, and infrastructure. Policy Research working paper n. WPS 8898. Washington D.C.: World Bank Group, 2022.

SAWADA, Y. *et al.* Land and Real Estate Price Sensitivity to a Disaster: Evidence from the 2011 Thai Floods. **Economics Bulletin** [s.l.], v. 38, n. 1, p. 89-97, 2018.

SCHIRMER, P. M.; EGGERMOND, M. A. B.; AXHAUSEN, K. W. The role of location in residential location choice models: a review of literature. **The Journal of Transport and Land Use**, Minneapolis, v. 7, n. 2, p. 3-21, 2014.

SOUZA, C. F.; MÜLLER, D. M. **Porto Alegre e sua evolução urbana**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2007.

WEI, F.; ZHAO, L. The Effect of Flood Risk on Residential Land Prices. **Land**, Basel, v. 11, n. 10, p. 1-18, 2022.

ZHAI, G.; FUKUZONO, T.; IKEDA, S. Effect of Flooding on Megalopolitan Land Prices: A Case Study of the 2000 Tokai Flood in Japan. **Journal of Natural Disaster Science**, Kyoto, v. 25, n. 1, p. 23-36, 2003.

ZHANG, Y.; ZHANG, D.; MILLER, E. J. Spatial Autoregressive Analysis and Modeling of Housing Prices in City of Toronto. **Journal of Urban Planning and Development**, Reston, v. 147, n. 1, p. 1-16, jan. 2021. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29UP.1943-5444.0000651>. Acesso em: 01 set. 2023.