

ANÁLISE DA ENCHENTE DE 2024 NO RIO PARDINHO: APLICAÇÃO DO HEC-RAS NA MODELAGEM HIDRÁULICA

Amanda Peres Leite; Andréa Souza Castro; Francisco F. N. Marcuzzo; Diuliana Leandro; Camila Dalla Porta Mattiuzi



Contextualização

- Maior evento de inundação no Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2024;
- Em Santa Cruz do Sul, locais até então não afetados, como a rodoviária e áreas a leste da BR-471, foram inundados;
- Estudos hidráulicos são ótimas ferramentas para o planejamento urbano e mapeamento de áreas de risco;
- Este estudo utiliza o HEC-RAS para simular manchas de inundação do rio Pardinho, com base na cota máxima registrada em 2024, avaliando a acurácia dos resultados frente a estudos anteriores e áreas realmente alagadas.



Foto: Eduardo Wachholtz



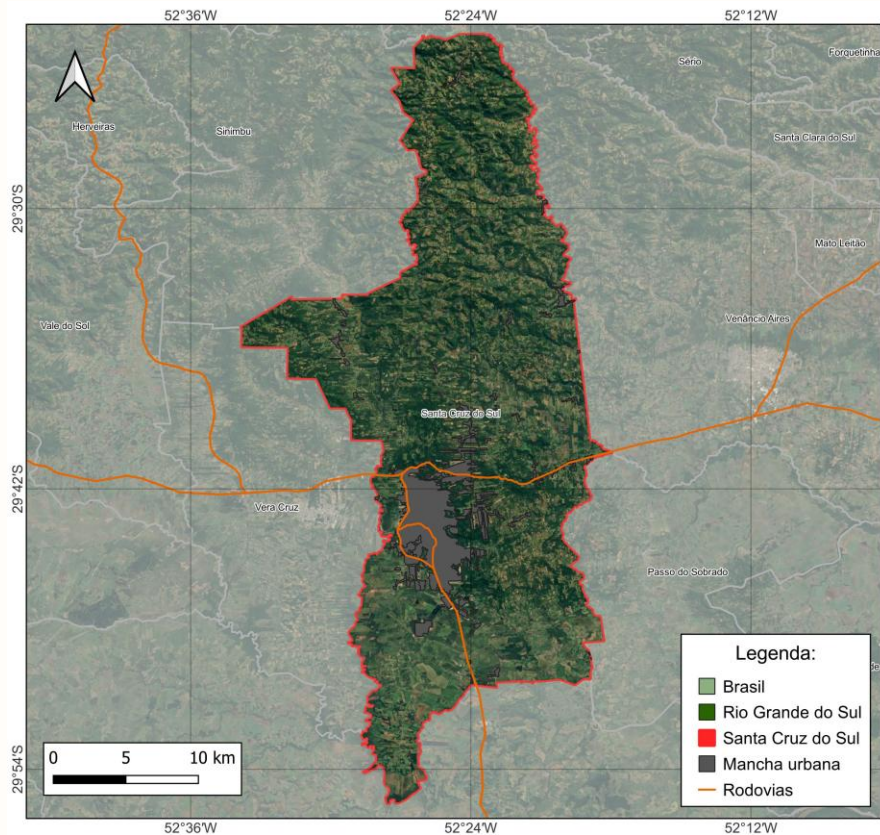
Foto: Deivid Miguel



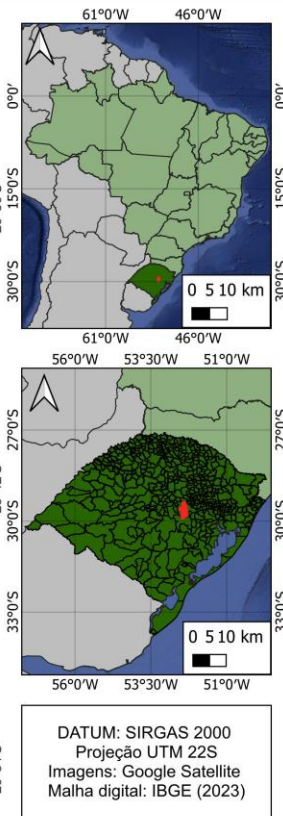
Foto: Ricardo Giusti



Área de estudo



Mapa de localização da área de estudo.



- A área de estudo abrange a área urbana do município de Santa Cruz do Sul, a aproximadamente 150 km de Porto Alegre;
- Cidade posicionada à margem esquerda do rio Pardinho;





Levantamento das cotas do rio Pardinho

Fonte de dados: levantamento in loco do nível máximo do evento de maio de 2024 feito por Marcuzzo et al. (2024) e os dados históricos das maiores cotas anuais até 2023 da estação fluviométrica Santa Cruz – Montante (85830000), fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB).

A **consistência dos dados hidrológicos** foi realizada seguindo a metodologia proposta por Naitzel et al. (2020), complementada por uma análise comparativa dos cotagramas das estações fluviométricas de apoio Candelária – Montante (85735000), situada a montante da estação de interesse, e Rio Pardo (85900000), localizada a jusante da mesma.

**Cota máxima em
2024**

8,99 metros

**Cota de
inundação**

7,20 metros





Vazão e tempo de retorno

- Vazões calculadas com base nas equações das curvas-chaves de potência definidas para a estação fluviométrica;
- Optou-se por adotar essa metodologia pois, até o presente momento, não há registros de vazão durante a cheia de maio de 2024 no rio Pardinho dentro do limite municipal de Santa Cruz do Sul;

Curvas de descarga da estação Santa Cruz - Montante utilizadas neste estudo

Início	Fim	Cota mínima (m)	Cota máxima (m)	a	$H0$	n
07/06/1981	24/05/1984	5,42	7,5	14,1726	2,77	1,85
24/06/1988	08/07/2003	6,07	7,5	14,1726	2,77	1,85
09/07/2003	20/09/2012	6,2	7,5	14,1726	2,77	1,85
21/09/2012	21/10/2016	6,2	7,5	14,1726	2,77	1,85
22/10/2016	31/12/2023	6,2	7,5	14,1726	2,77	1,85
01/01/2024	31/12/2024	6,2	7,5	14,1726	2,77	1,85

Fonte: Adaptado SGB/SUREG-PA.





Vazão e tempo de retorno

- Série de vazões calculadas inseridas no software **SEAF** – Sistema Especialista de Análise de Frequência (Cândido, 2003), para estimar vazões associadas aos tempos de retorno de 2 até 1000 anos;
- A cota de 2024 superou o limite máximo da sua curva-chave, exigindo sua extrapolação. Porém, a extrapolação envolve maior incerteza e pode comprometer a confiabilidade das estimativas de vazão (Dias et al., 2019; Sefione, 2002; Filho et al., 2003);
- Os dados de curva-chave deste estudo foram disponibilizados antes de sua atualização. Ou seja, ainda não passaram por validação e, por isso, pode não refletir com precisão os valores associados ao evento extremo de maio de 2024.
- Diante desse cenário, testaram-se valores menores que o extrapolado para encontrar o maior compatível com os critérios estatísticos do SEAF, sem gerar outliers, garantindo maior confiabilidade aos resultados.





Calibração e validação do modelo

- Simulações do rio Pardinho realizadas no HEC-RAS;
- **MDT da área urbana** com resolução de **1 metro**, fornecido pela Secretaria Municipal de Planejamento e Governança (SEPLAG) de Santa Cruz do Sul, e **MDT Copernicus (30 m) para a margem direita do rio**;
- Geometria do rio desenhada no RAS Mapper, com **73 seções transversais** perpendiculares a geometria traçada para o rio;
- **Condição de contorno** adotada foi a de **profundidade normal**, sendo que a declividade da linha d'água foi determinada a partir dos dados obtidos através da geometria feita no RAS Mapper;
- Simulação hidráulica realizada para **escoamento permanente e uniforme**.





Resultados

Vazões inseridas no modelo

Levantamento das maiores cotas anuais e vazões calculadas

Ausência de observador
entre jan/1983 a dez/1987

Ano	Data	Cota (m)	Vazão calculada (m3/s)	Ano	Data	Cota (m)	Vazão calculada (m3/s)
1982	15/jun	6,88	193,7	2007	23/set	7,24	226,2
1988	26/set	6,99	203,4	2008	26/out	7,24	226,2
1989	12/set	7,00	204,6	2009	08/nov	7,30	231,9
1990	12/out	7,10	213,6	2010	05/jan	7,36	237,6
1993	14/mai	7,10	213,6	2011	09/ago	7,28	230,0
1994	22/abr	7,32	233,8	2012	19/set	7,28	230,0
1995	14/fev	7,12	215,1	2013	25/ago	7,30	231,9
1996	26/jan	7,10	213,3	2014	29/jun	7,34	235,7
1997	05/out	7,14	216,9	2015	20/jul	7,35	236,6
1998	07/jan	7,14	217,0	2016	18/out	7,30	231,9
1999	29/mai	7,10	213,3	2017	08/jun	7,40	241,4
2000	13/out	7,18	220,6	2018	24/nov	7,42	243,4
2001	01/out	7,22	224,3	2019	24/jul	7,40	241,4
2002	10/jun	7,20	222,5	2020	08/jul	7,38	239,5
2003	09/jul	7,24	226,2	2021	27/jun	7,30	231,9
2004	11/jun	7,18	220,6	2022	23/jun	7,30	231,9
2005	08/out	7,18	220,6	2023	08/jul	7,40	241,4
2006	45865	7,08	211,5	2024	maio	8,99	416,8

Vazão calculada
pelo
extrapolamento da
curva-chave





Resultados Vazões inseridas no modelo

Ano	Data	Cota (m)	Vazão calculada (m ³ /s)
2024	maio	8,99	416,8



A inclusão dessa vazão no SEAF gerou outliers, provocando resultados insatisfatórios nos testes de ajuste do programa.

A vazão de 2024 foi substituída por valores inferiores a 416,8 m³/s na série de vazões inserida no SEAF. Essa substituição foi realizada progressivamente até se obter um valor máximo que gerasse resultados estatísticos satisfatórios dentro do software. Assim, a maior vazão possível para o ano de 2024 foi de **261,2 m³/s**.

Aplicando essa correção no SEAF, adotou-se os resultados da distribuição Pearson-III, pois foi o que apresentou melhores resultados por exibir o menor valor de |Z| dentre as demais séries. No teste de Filliben, essa distribuição apresentou R=0,9869 e R (90%)=0,9821, satisfazendo a condição $R > R(90\%)$.





Resultados

Vazões inseridas no modelo

Vazões associadas a diferentes tempos de retorno aplicadas na modelagem hidráulica

Tempo de retorno	Vazão (m³/s)
2	226,3
5	237,3
10	242,9
50	252,1
100	255,3
200	258,1
1000	263,8

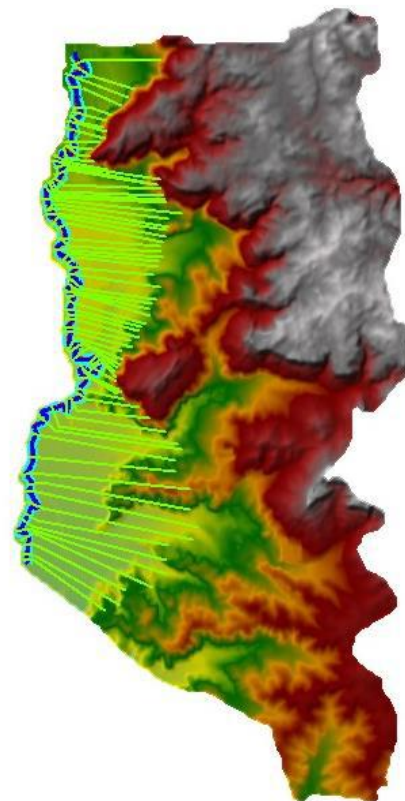
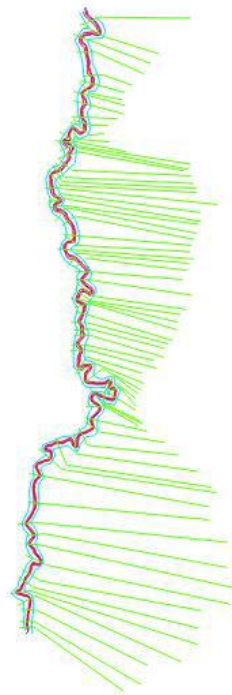
A vazão de 226 m³/s foi registrada na estação SCM no dia 9 de agosto de 2011, associada a uma cota de 7,28 metros. Ou seja, a vazão calculada no SEAF para o TR de 2 anos já está associada à cota de extravasamento do rio.





Resultados Modelo hidráulico

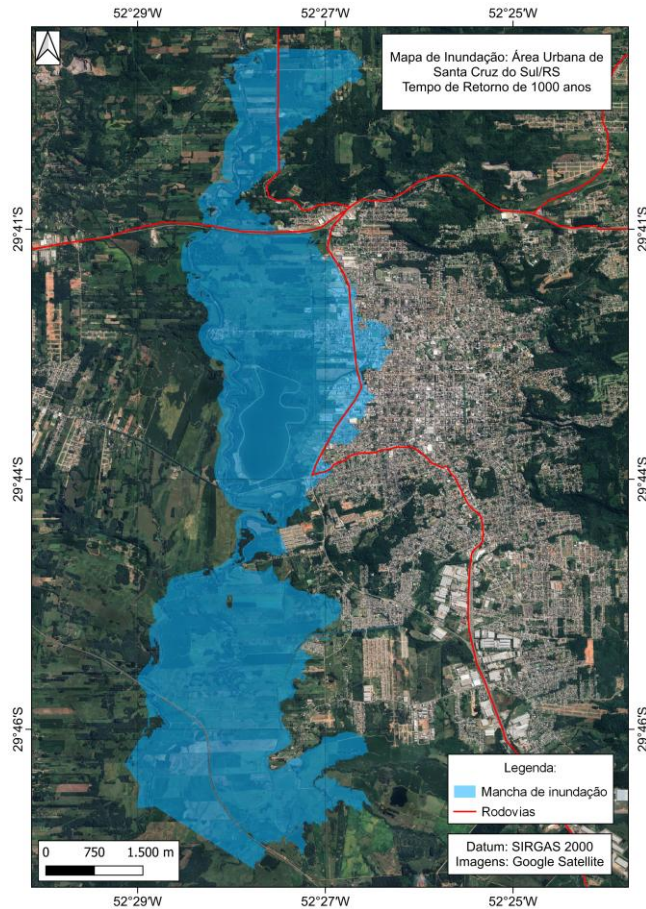
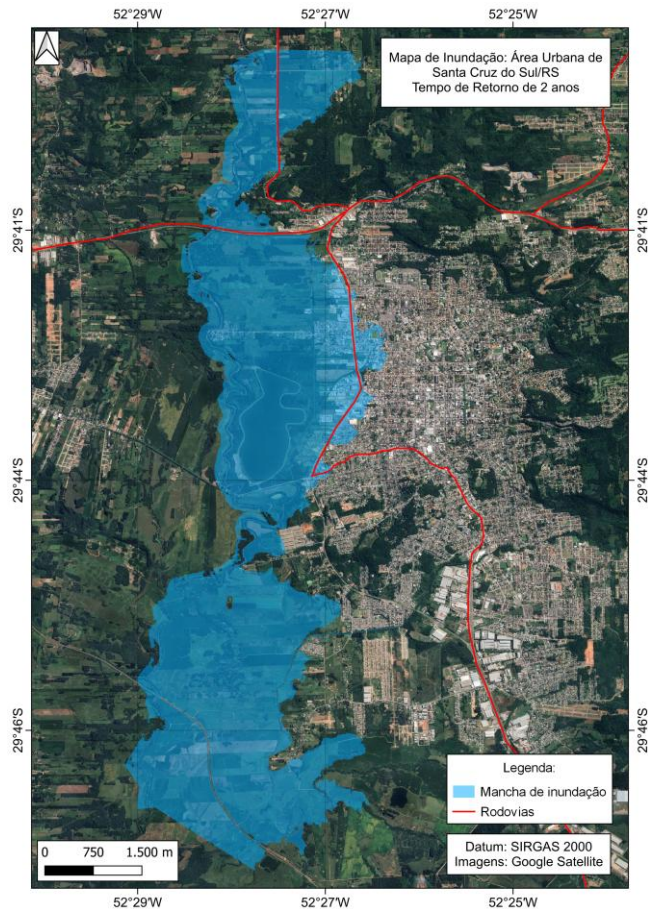
- **Coeficiente de Manning**, estabelecido com base em Chow (1959), foi de **0,0851**, resultado semelhante ao encontrado por Monte et al. (2019) para o rio Pardinho;
- **Declividade** calculada: **0,0007 m/m**;





Resultados

Mapeamento das áreas inundadas





Resultados

Análise do mapeamento das áreas inundadas

- As manchas de inundação para todos os TRs apresentaram resultados semelhantes devido a pequena variação ($\approx 37,5 \text{ m}^3/\text{s}$) entre as vazões correspondentes aos TRs;
- Segundo a Universidade de Santa Cruz do Sul (2018), o bairro Várzea sofreu com eventos de inundação de forma recorrente entre os anos de 2010 e 2017, indicando que o modelo apresenta precisão na identificação de áreas críticas;
- Comparando com o estudo de Monte et al. (2019), cuja mancha de inundação da cheia de julho de 2015 (cota = 7,26 m; $Q = 228 \text{ m}^3/\text{s}$) não ultrapassa a BR-471, observa-se que, já no TR 2 deste trabalho, a mancha ultrapassa a rodovia em diversos pontos. Tal diferença pode ser atribuída as diferenças metodológicas entre os estudos e o modelo de escoamento (Monte et al. (2019) utilizaram o não permanente). Cabe ressaltar que o modelo de escoamento permanente, utilizado no presente trabalho, pode majorar resultados, pois age a favor da segurança (Chow et al., 1988; Tucci, 1998);
- Menezes (2014) identificou áreas suscetíveis a inundação principalmente a oeste da BR-471, resultado compatível com este estudo;
- A mancha de inundação do TR 2 coincidiu com diversos locais atingidos pelo evento de maio de 2024, incluindo ruas do bairro Várzea e a rodoviária, confirmando os registros da Defesa Civil e observações de Cruz & Wachholtz (2024).





Conclusões

- Entre 2007 e 2024 a cota de inundação do rio Pardinho, estabelecida em 7,20 metros, foi superada anualmente, ressaltando que a região do município de Santa Cruz do Sul próxima ao rio apresenta alta susceptibilidade a inundações.
- As vazões obtidas pela curva-chave são satisfatórias, com exceção do ano de 2024, em que foi necessário minorar o valor calculado para estimar uma vazão correspondente a cota registrada durante a cheia de maio de 2024 no rio Pardinho. Porém, não há dados e nem equações de curva de descarga atualizada que valide esse resultado;
- Os resultados das manchas de inundações refletem mais o cenário da cheia de maio de 2024 do que eventos de diferentes magnitudes associados a cada tempo de retorno.
- Recomenda-se, para estudos futuros, a incorporação de bases altimétricas mais homogêneas e de alta precisão, bem como a utilização de modelagem não permanente, que permitiria melhor representação das dinâmicas hidrológicas.





Referências

- CAMPOS, A. F. S. (2022). "Simulação no software HEC-RAS da mancha de inundação do rio Itabirito na cidade de Itabirito – MG para diferentes períodos de retorno". Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 62.
- CÂNDIDO, M. de O. (2003). "SEAF – Sistema Especialista de Análise de Frequência".
- CHOW, V.T. (1959). Open Channel Hydraulics.
- CHOW, V. T. et al. (1988). Applied Hydrology.
- CRUZ, M. da; WACHHOLTZ, E (2024). "Imagens: marca de sujeira mostra até onde enchente chegou na rodoviária de Santa Cruz". Portal Ar Auto, Santa Cruz do Sul, 1 maio 2024.
- DEFESA CIVIL DE SANTA CRUZ DO SUL (2024). "Imóveis atingidos em 2024". Santa Cruz do Sul.
- DIAS, L. C. et al. (2020). "Elaboração e Extrapolação de Curvas-chave na Região Amazônica". Revista Brasileira De Geografia Física, 12(6), 2285–2301.
- FELICIANO, F. C. S. (2022). "Modelagem hidrodinâmica e mapeamento de áreas de inundação urbana do município de Rio Piracicaba/MG". Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 70.
- FILHO, D. P. et al. (2003). "Sistema de ajuste e extrapolação de curva de descarga – STEVENS".
- MARCUZZO, F. F. N. et al. (2024). "Nota Técnica: aferição direta e avaliação indireta do nível máximo de rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024." 9ª versão. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2024.
- MENEZES, D. J. (2014). "Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul – RS." . Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria
- MONTE, B. E. O. et al. (2019). "Capacidade do modelo HAND na representação de uma mancha de inundação comparado ao modelo hidrodinâmico HEC-RAS 2D.)". In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2019, Foz do Iguaçu. Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019. Porto Alegre: ABRHidro, 2019.
- NAITZEL, L. et al. (2020). "Recuperação de dados históricos da rede de referência e dos sistemas de alerta do rio Cai, Taquari e Uruguai". In: XV SRHNE - SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2020, Caruaru. Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017. Porto Alegre: ABRHidro.
- SEFIONE, A. L. (2002). "Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave". 240 f. Tese (Mestrado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M. (1998). Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL. (2018). "Sistema de Abastecimento de Água: Etapa III – Etapa Final do Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Cruz do Sul – RS". Santa Cruz do Sul: Pró-Reitoria de Extensão e Relações Comunitárias, Núcleo de Gestão Pública.



OBRIGADO



<https://1drv.ms/f/c/0a77db4f8aaea244/Ev707zgK4sVFhSQs3b29pl4Btzi3N2iaHXb0UW9JMd6ZSw?e=04A2LG>