

## A GRANDE CHEIA DE 2020 EM MUÇUM / RS E O TEMPO DE RETORNO DAS SUAS COTAS DE ATENÇÃO, ALERTA E INUNDAÇÃO NO SACE

*Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>; Eber J. de Andrade Pinto<sup>2</sup>*

**RESUMO** – É importante que cotas de grandes enchentes e de atenção, alerta e inundação em rios com Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), estejam associados ao tempo de recorrência do evento, apontando a probabilidade de retorno destas cotas. O objetivo deste trabalho foi calcular e estudar os períodos de recorrência para as cotas das maiores cheias registradas, e para as cotas de atenção, alerta e inundação do rio Taquari no município de Muçum / RS. Pesquisou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Gumbel, Log-Normal com dois parâmetros (2P) e Log-Normal com três parâmetros (3P) à série histórica das cotas máximas dupla leitura (7h00 e 17h00) de cada ano hidrológico, empregando o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância. A distribuição Log-Normal 3P, com momentos L, foi a escolhida. Para a maior cheia histórica em Muçum/RS, registrada em 08/07/2020, com 2.202 cm, foi de 38,23 anos, para uma série histórica de 35 anos, com a probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 2,62 %. Os tempos de retorno encontrados para as cotas de atenção (500 cm), alerta (900 cm) e de inundação (1.800 cm) do rio Taquari, nas réguas de Muçum (86510000), ficaram no intervalo de 1,03 a 4,18 anos.

**Palavras-Chave** – Sistema de Alerta Hidrológico, Rio Taquari, Análise de Frequência Local.

### 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de um Sistema de Alerta Hidrológico (SAH), que visa, entre outros objetivos, a previsibilidade futura de inundação, provocam a necessidade que cotas de importância em rios sejam associados a Tempos de Retorno (TR), seja destas cotas ou de suas vazões associadas.

Segundo a publicação de Melati e Marcuzzo (2015a,b), a área de drenagem da bacia do Taquari é de 26.372,8 km<sup>2</sup>. O Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.sgb.gov.br/sace/>), do Serviço Geológico do Brasil (SGB), na bacia do rio Taquari, considerando as informações disponíveis até 04/2023, há previsão de níveis para quatro municípios do Rio Grande do Sul (SILVA; MATOS, 2022): Muçum (que é foco deste estudo), Encantado, Estrela e Lajeado.

Segundo as informações do SACE (<https://www.sgb.gov.br/sace/>), com o objetivo de prever níveis do rio Taquari que causem transtorno para a população das cidades de Muçum, Encantado, Lajeado e Estrela, o SGB iniciou o projeto de monitoramento e alerta hidrológico do rio Taquari em 2013. De tal maneira, para a operação, foi instalada uma rede de monitoramento hidrológico automático e telemétrico em 10 pontos da bacia, que transmitem em tempo real dados de chuvas e níveis dos rios, que funciona em conjunto com sistema de recepção de dados e previsão de níveis, conseguindo uma antecipação dos valores de cotas para as cidades de Muçum e Encantado da ordem de 12 horas aproximadamente, e, para Estrela/Lajeado, de 8 horas de antecedência.

Portanto, conforme o exposto, este estudo de análise de frequência local tem por finalidade apresentar e discutir os períodos de recorrência estimados para as cotas das maiores inundações registradas, e, também, as cotas de atenção, alerta e inundação do SAH-SACE do rio Taquari, do SGB, na localidade da estação fluviométrica Muçum (86510000), no município de Muçum / RS, com as informações disponíveis até o ano de 2022.

<sup>1</sup> SGB - Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. francisco.marcuzzo@sgb.gov.br.

<sup>2</sup> SGB - Serviço Geológico do Brasil - Avenida Brasil, 1731. Funcionários Belo Horizonte/MG - Brasil CEP 30140-002. Tel.: (31) 3878-0307. eber.andrade@sgb.gov.br.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização geral da região de estudo

Na Figura 1, além da divisão territorial dos municípios, altimetria, classificação climática de Köppen-Geiger e distribuição espacial da chuva média anual da bacia do rio Taquari, que é parte integrante da sub-bacia 87 (MARCUIZZO, 2017; 2018), observa-se a localização das estações do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), como a de Muçum (86510000), que possuem previsão de cota (Quadro 1). As Figuras/Mapas deste trabalho em PDF, em alta resolução, além do material produzido e apresentado, e/ou utilizado em sua execução, pode ser baixado pelos *links* do Quadro 2.

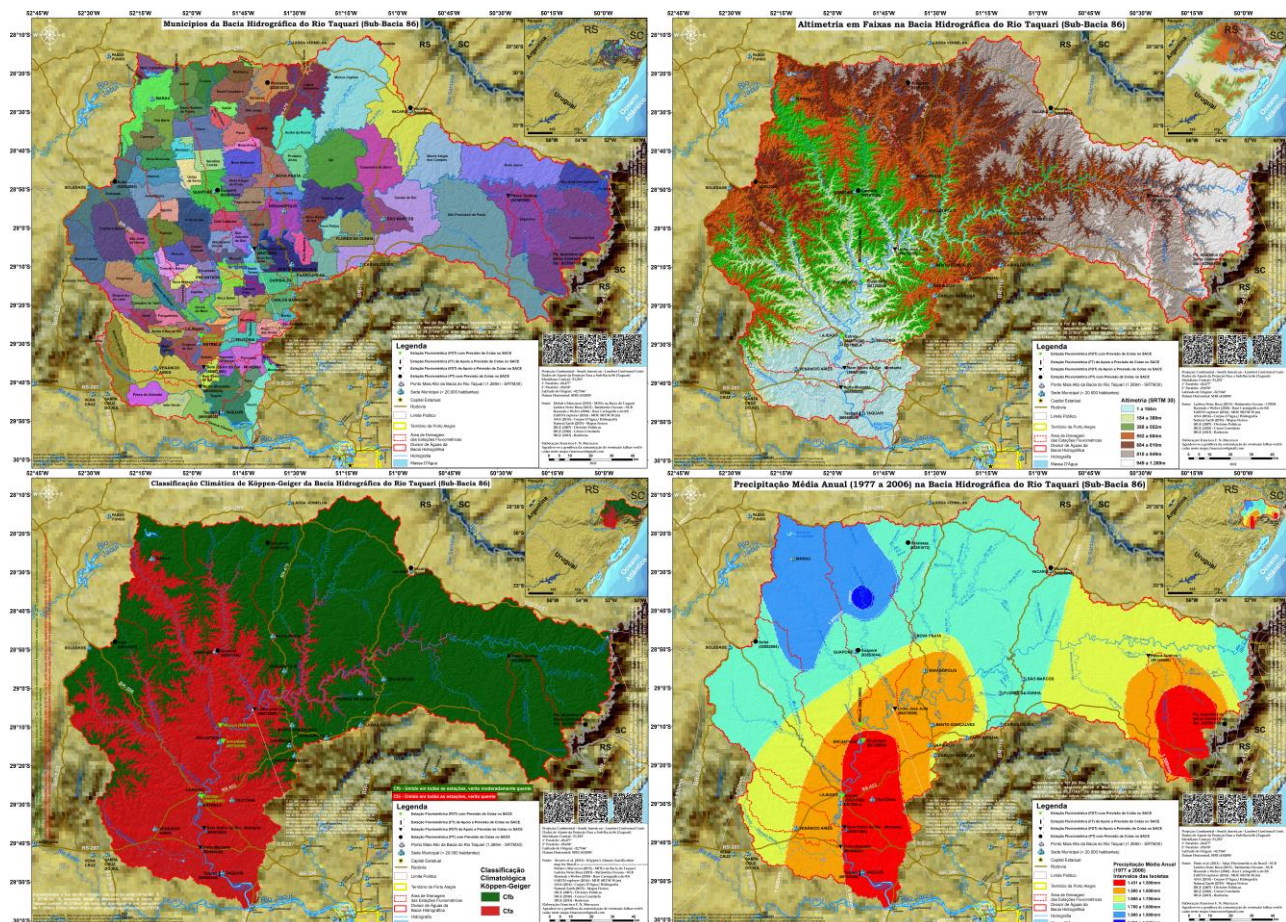


Figura 1 – Área territorial dos municípios, altimetria, classificação climática de Köppen-Geiger e distribuição espacial da precipitação média anual da bacia hidrográfica do rio Taquari, além da localização das estações do SACE Taquari.

Quadro 1 – Cotas de atenção, alerta e inundação no SACE Taquari, além da área de drenagem e altitude da estação.

Código da Estação	Nome da Estação	Nome do Rio	Atenção <sup>1</sup>	Alerta <sup>1</sup>	Inundação <sup>1</sup>	Área de Drenagem <sup>2,3</sup> ----- km <sup>2</sup> -----	Altitude <sup>2</sup> ----- m -----
			----- cm -----				
86510000	Muçum	Taquari	500	900	1.800	16.000 <sup>2</sup> / 15.937 <sup>3</sup>	240

<sup>1</sup>Cotas do SACE-SGB (03/2023); <sup>2</sup>Inventário da Agência Nacional de Águas de 11/03/2023; <sup>3</sup>Estudo publicado por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017).

Quadro 2 – Material produzido ou utilizado direta e/ou indiretamente como apoio, neste estudo, para baixar da internet.

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
Figuras – Mapas da bacia do rio Taquari e das áreas de drenagem das estações do SACE	PNG: <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1mQGcP-px8bMxYLS-jRoNQ896BN4V-VnT?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1mQGcP-px8bMxYLS-jRoNQ896BN4V-VnT?usp=share_link</a>
	PDF: <a href="https://drive.google.com/drive/folders/18wcTAn5UAEuysjXh7ZJZ7vOqCloCZV1?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/18wcTAn5UAEuysjXh7ZJZ7vOqCloCZV1?usp=share_link</a>
Planilha de aplicação do Tempo de Retorno de cotas em Muçum (86510000)	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1Vf0XdxOi5dRwrW8nB3Jdsp12vKUL_Zx7?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1Vf0XdxOi5dRwrW8nB3Jdsp12vKUL_Zx7?usp=share_link</a>
Apresentação deste trabalho em PDF	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1OdIpdzNp56A1hsprJJKserAC2B1vnZr?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1OdIpdzNp56A1hsprJJKserAC2B1vnZr?usp=share_link</a>
Localização das estações KMZ Google Earth	KMZ: <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1U59GIRwY6uDpctY9ZGphoxfiqNwaXdlw?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1U59GIRwY6uDpctY9ZGphoxfiqNwaXdlw?usp=share_link</a>
	Imagens JPG: <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1H71MwTuV3iU4E-poFH9sTDBsrSTBkG_7?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1H71MwTuV3iU4E-poFH9sTDBsrSTBkG_7?usp=share_link</a>
Diagramas unifilares da bacia do rio Taquari	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18953">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18953</a> e <a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15128">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15128</a>
Dados deste estudo, delimitação, altimetria e demais informações da bacia do rio Taquari	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17849">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17849</a> e <a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15126">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15126</a>
	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15060">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15060</a> e <a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15055">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15055</a>

O rio das Antas passa a ser denominado rio Taquari (Figura 2 e Anexo IV de Marcuzzo e Pinto, 2022b) a partir do momento em que encontra as águas do rio Carreiro, em sua margem direita, à aproximadamente 1,5 km a jusante da estação fluviométrica Linha José Júlio (86472000), a partir das coordenadas aproxima das de 50°42'48"O e 29°05'24"S, próximo a tríplice divisa entre os territórios dos municípios de Catiporã, São Valentim do Sul e Santa Tereza. O comprimento total do rio Taquari, do exutório a sua nascente, é de 1.140,73 km, dos quais 708,51 km (62,1 %) são do rio das Antas e, 432,22 km (37,9 %) são do rio Taquari, após o rio das Antas encontrar o rio Carreiro, conforme indicado no mapa abaixo.

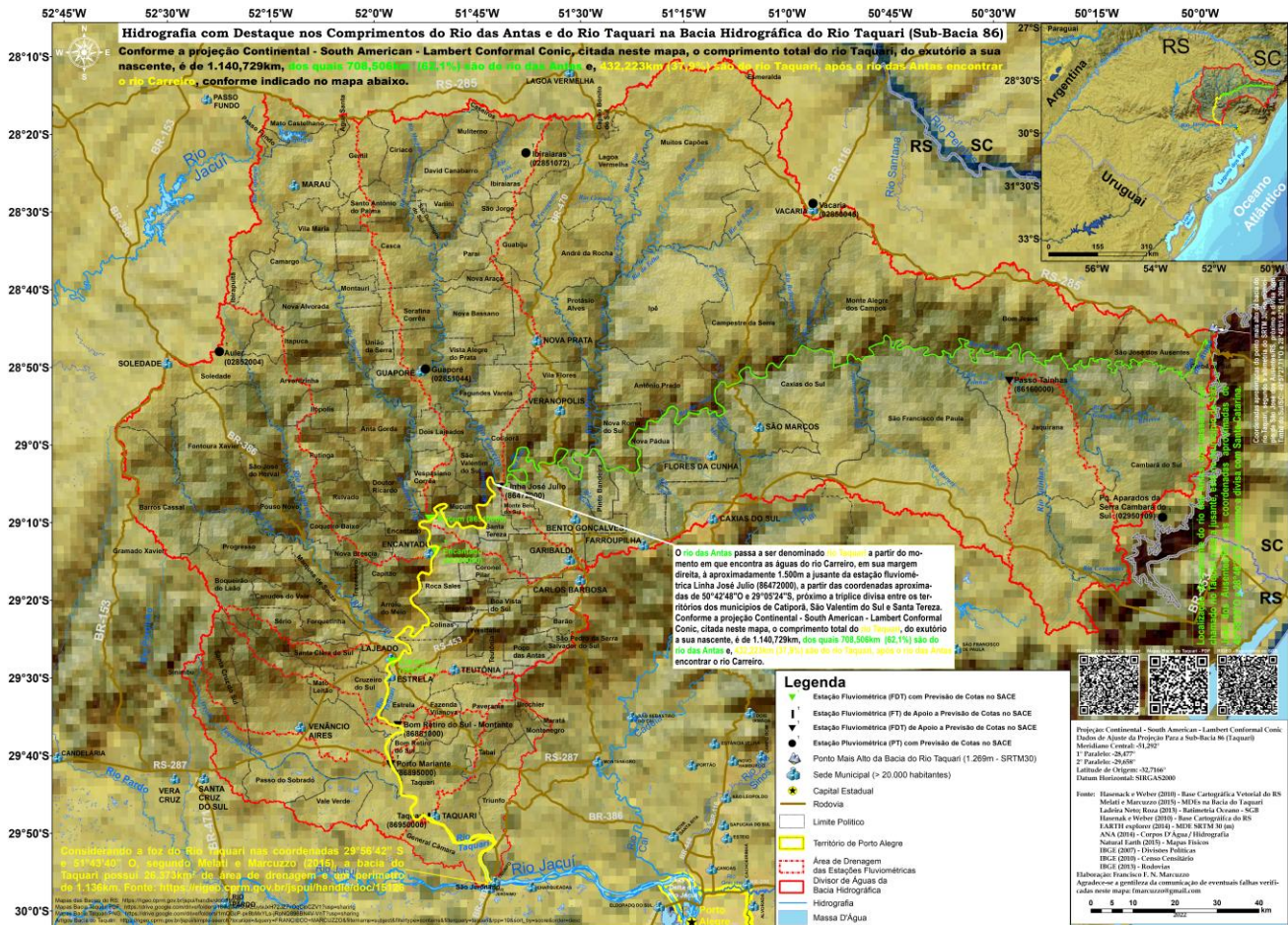


Figura 2 – Hidrografia básica da sub-bacia 86 com destaque do rio das Antas e do rio Taquari.

Nos dados de distribuição espacial de precipitação média mensal, estudados por Marcuzzo e Melati (2015) e Melati e Marcuzzo (2016), onde se insere a bacia do rio Taquari, utilizando os dados de Pinto *et al.* (2011), na região próxima aos limites da sub-bacia a leste, os meses mais chuvosos são janeiro e fevereiro apresentando média mensal máxima de 169mm, para a parte central o mês de julho com 181 mm, e na parte oeste o mês de outubro com 214 mm. Em relação ao mês mais seco, na parte leste o mês de maio apresentou a menor precipitação com 118 mm, no restante da sub-bacia o mês de março foi o mês mais seco com mínima de 87 mm. A precipitação média anual ficou entre 1.500 mm e 1.900 mm na maior parte do território, onde os maiores valores foram apurados na sub-bacia do rio Carreiro, os menores valores foram apurados nos limites leste e oeste.

A estação Muçum (86510000), está localizada na Latitude 29°10'02"S e Longitude 51°52'07"O, na altitude de 240m no rio Taquari e possui uma área de drenagem de 16.000 km<sup>2</sup>, segundo o inventário da ANA de setembro de 2022, resultando em 60,67 % da área total da bacia do rio Taquari, que segundo a publicação de Melati e Marcuzzo (2015a,b), é de 26.372,76 km<sup>2</sup>. Segundo Guimarães,

Finck e Marcuzzo (2017) a área de drenagem da estação Muçum é de 15.937 km<sup>2</sup> e situa-se na margem direita do rio Taquari, a jusante da estação Linha José Júlio (86472000) e a montante da estação Encantado (86720000) segundo os diagramas unifilares publicados por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017). A altimetria e distribuição espacial da precipitação pluviométrica, a montante da estação Muçum, em sua área de drenagem, pode ser visualizada na Figura 3 e baixados no Quadro 2.

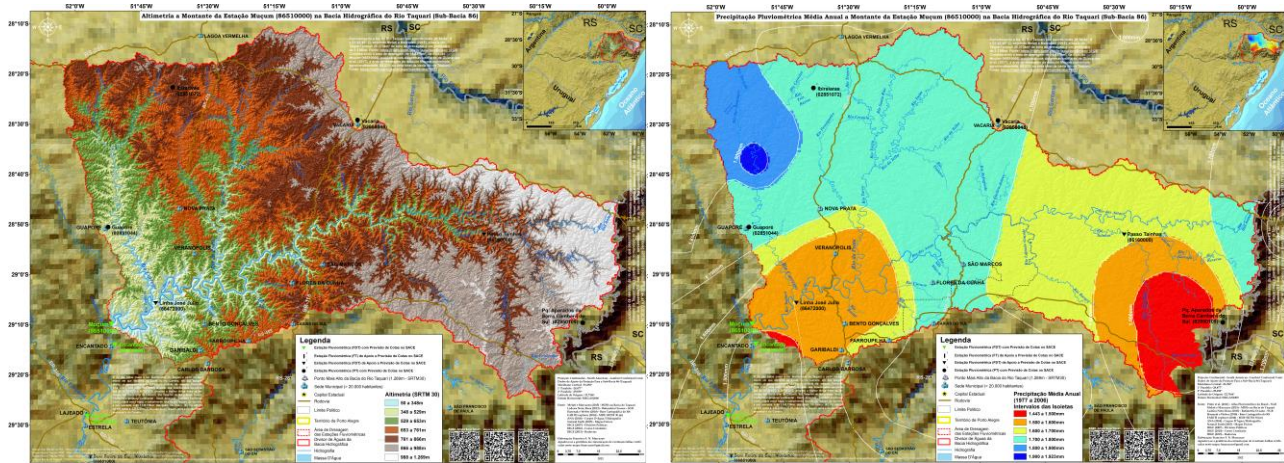


Figura 3 – Altimetria e distribuição espacial da precipitação média anual a montante da estação Muçum (86510000).

Conforme se observa na Tabela 1 e nas Figuras 4 e 5, dos 35 valores registrados de cotas máximas Dupla Leitura (DL), por ano hidrológico, que no caso desta estação fluviométrica foi considerado o mesmo período que o ano civil, devido à não ser possível estabelecer um início e fim do ano hidrológico, conforme publicações de Kich *et al.* (2015). Os dados foram recuperados conforme Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020) e utilizados após consistência. Em nenhum ano, ou seja, zero por cento em relação ao total de observações, possuem cotas máximas anuais menores que a cota de atenção (500 cm), e, 29 registros, ou seja, 82,9 %, são superiores a cota de alerta (Tabela 1).

Tabela 1 – Número e percentual de anos com cotas menores e maiores que a cota de atenção, e maiores que as cotas de alerta e inundação no rio Taquari na localidade da estação fluviométrica Muçum (86510000).

Número Total de Anos com Dados Dupla Leitura	35	% em Relação ao Total
Nº de Anos com <b>Cotas Maiores</b> que Inundação (1.800 cm)	10	28,6 %
Nº de Anos com <b>Cotas Maiores</b> que Alerta (900 cm)	29	82,9 %
Nº de Anos com <b>Cotas Maiores</b> que Atenção (500 cm)	35	100,0 %
Nº de Anos com <b>Cotas Menores</b> que Atenção (500 cm)	0	0,0 %

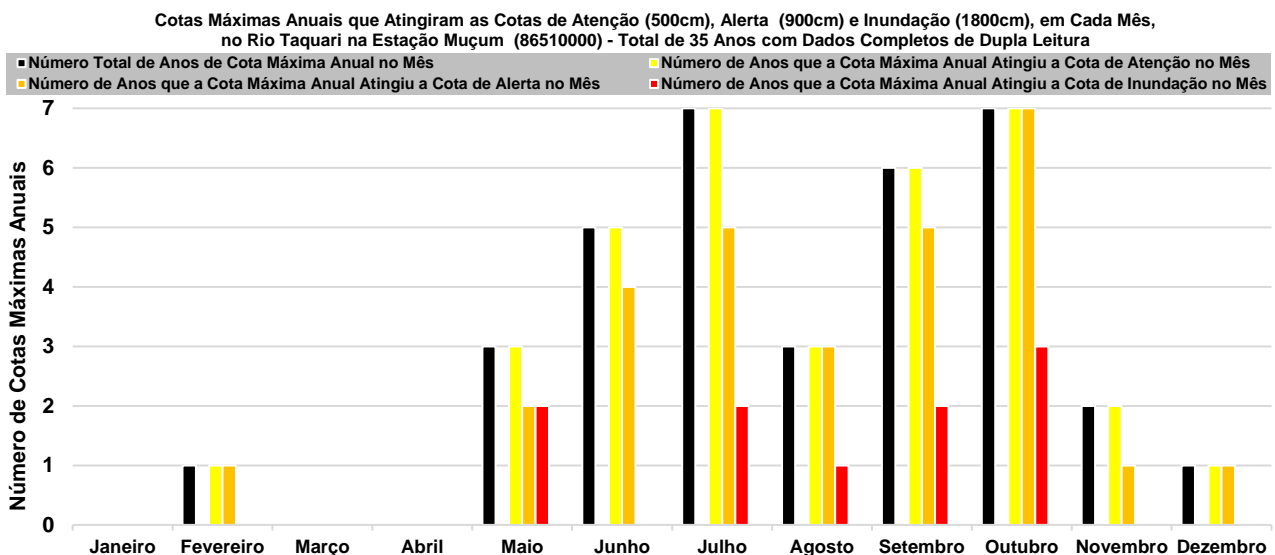


Figura 4 – Cotas máximas anuais que atingiram as cotas de atenção, alerta e inundação, em cada mês.

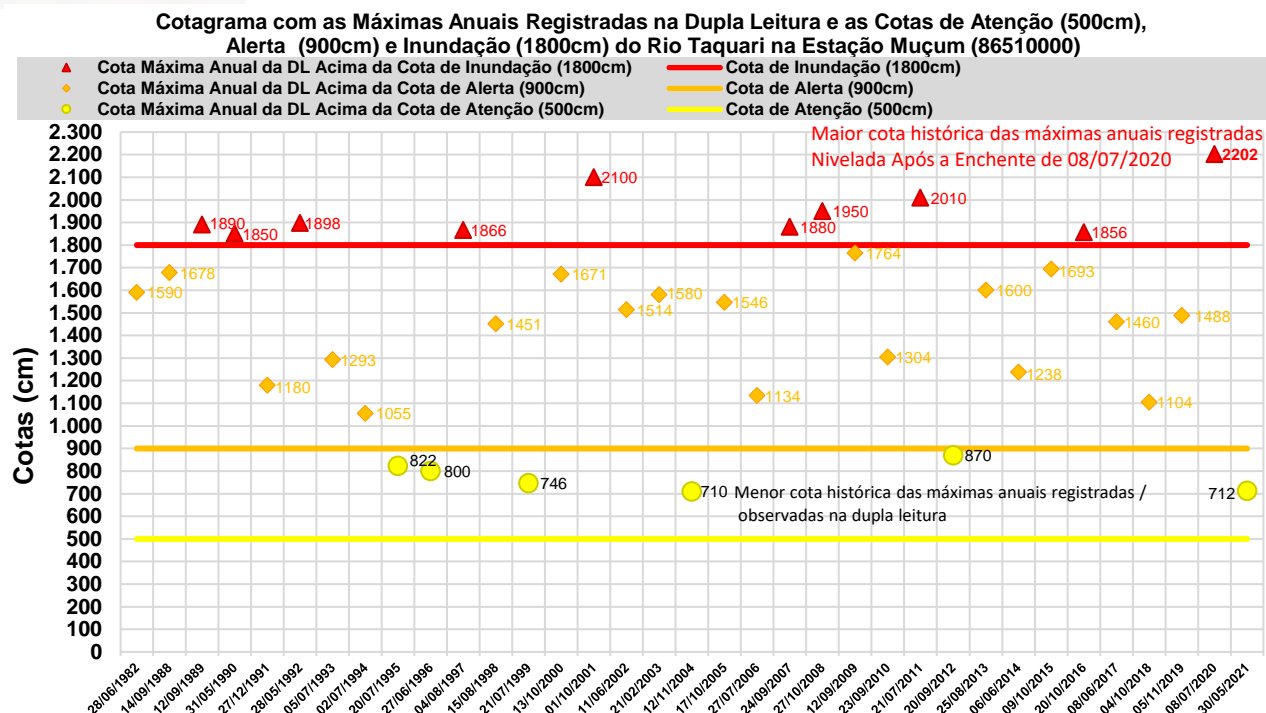


Figura 5 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de interesse.

A Figura 6 apresenta o Levantamento da Seção Transversal (LST) na seção de régua da estação, executado em 22/07/2022, também apresenta graficamente as cotas de atenção (500 cm), alerta (900 cm) e inundação (1.800 cm) para a cidade de Muçum/RS, bem como, a maior e menor cota observada e a maior e a menor cota com Medição de Descarga Líquida (MDL), o  $h_0$  estimado pela curva-chave. A maior cota registrada em Muçum (86510000) foi 2.202 cm, em 08/07/2020. A análise de frequência de cotas deste estudo pode ser efetuada porque a seção transversal é estável e não houve registro de mudança na posição do zero da régua.

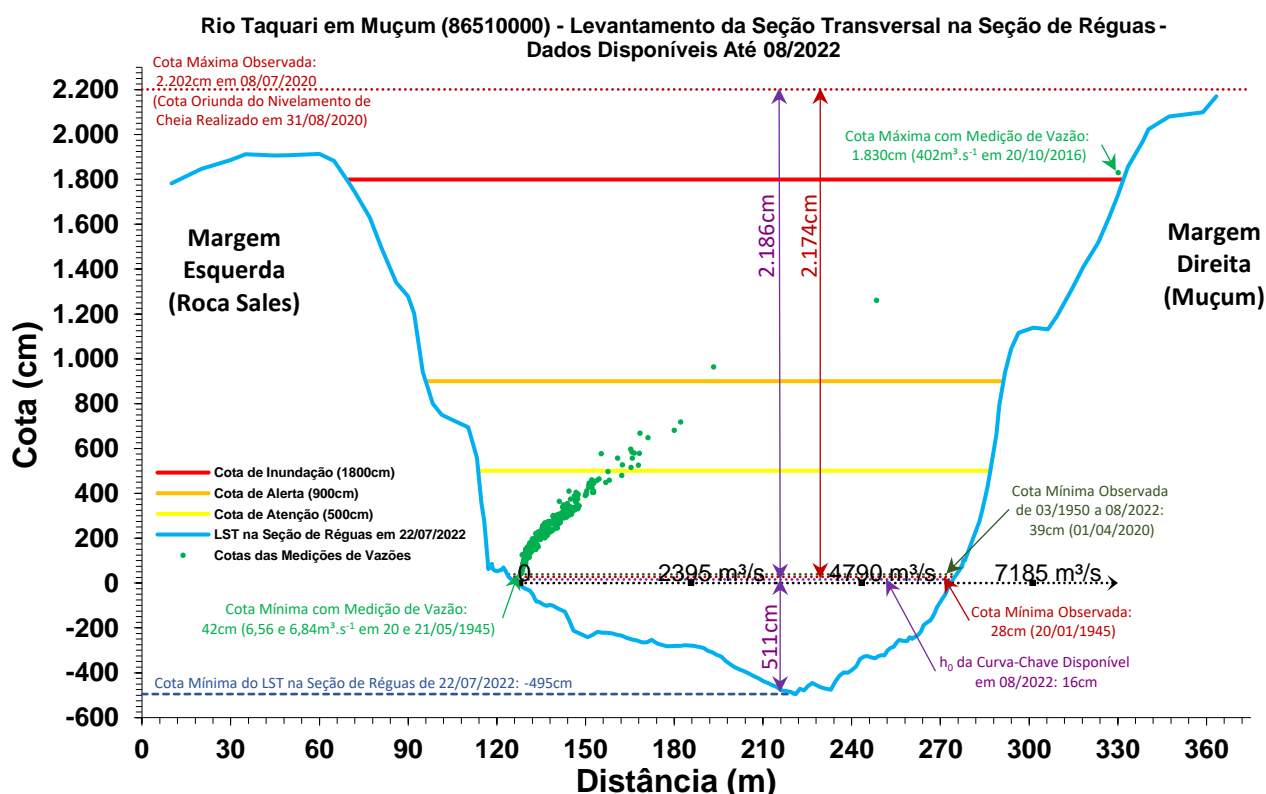


Figura 6 – Levantamento da Seção Transversal na seção de régua da estação fluviométrica Muçum (86510000).

## 2.2. Análise de Frequência

Considerando Pinto (2013) e Naghettini e Pinto (2007), foram definidas as seguintes etapas para análise de frequência local de máximos por ano hidrológico:

- I. Avaliar a consistência dos dados e organizar a série de cotas máximas por ano hidrológico.
- II. Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*) com o critério baseado na amplitude interquartil, AIQ e com o teste de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 39 e 287).
- III. Avaliar a independência dos eventos da série com o teste não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (1943), a homogeneidade por meio do teste não-paramétrico proposto por Mann e Whitney (1947) e a estacionariedade das séries pelo teste não-paramétrico de Spearman, o qual encontra-se descrito em Naghettini e Pinto (2007, p. 267).
- IV. Estimar a distribuição empírica calculando a posição de plotagem pela fórmula de Weibull, ou seja, no caso de séries de máximos por ano hidrológico temos  $P(P>p)=m/(N+1)$ , onde  $m$  é número de ordem e  $N$  o tamanho de amostra.
- V. Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das cotas máximas por ano hidrológico. As distribuições candidatas são a de Gumbel, Log-Normal (2P) e (3P).
- VI. Calcular os parâmetros das distribuições teóricas de probabilidades candidatas pelo método dos momentos-L (HOSKING; WALLIS, 1997).
- VII. Definir a distribuição teórica que será adotada na modelagem das séries a partir da verificação da aderência à distribuição empírica. A aderência da distribuição teórica candidata à curva da distribuição empírica é verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância.
- VIII. Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

A inversa da distribuição de Gumbel é calculada por:

$$x_T = \beta - \alpha \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (1)$$

Em que:  $T$  é o tempo de retorno (anos);  $x_T$  é o quantil associado a tempo de retorno,  $T$ ;  $\beta$  é o parâmetro de posição;  $\alpha$  é o parâmetro de escala.

A inversa da distribuição Log-Normal com dois parâmetros (2P) é calculada da seguinte forma:

$$x_T = \text{EXP}(\mu + \sigma \cdot Z_{(1-1/T)}) \quad (2)$$

Em que:  $T$  é o tempo de retorno (anos);  $x_T$  é o quantil associado a tempo de retorno,  $T$ ;  $Z_{(1-1/T)}$  é o valor da variável normal padrão associada a probabilidade  $(1 - 1/T)$ . Pode ser obtida em tabelas ou empregando métodos numéricos para inverter  $\Phi(x)$  apresentada nos Anexos de Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c);  $\mu$  é o parâmetro de posição;  $\sigma$  é o parâmetro de escala.

Quando o parâmetro de forma é diferente de zero,  $k \neq 0$ , os quantis da Log-Normal com três parâmetros (3P) podem ser calculados pela equação:

$$x(T) = \xi + \frac{\alpha(1-e^{-kZ})}{k} \quad (3)$$

Em que:  $T$  é o tempo de retorno (anos);  $\xi$  é o parâmetro de posição;  $\alpha$  é o parâmetro de escala;  $k$  é o parâmetro de forma;  $Z$  é variável normal central reduzida associada a probabilidade  $(1 - 1/T)$ .

Os critérios, além de um melhor detalhamento dos modelos Gumbel, Log-Normal 2P e 3P, e da metodologia de cálculo adotada na análise de frequência de máximas utilizada neste estudo, podem ser analisados em Naghettini e Pinto (2007), Pinto (2013) e Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c,d; 2023).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de frequência local das cotas máximas do rio Taquari, em Muçum (86510000), que são expostas com maior detalhamento no trabalho publicado por Marcuzzo e Pinto (2022b), foi efetuada utilizando a série de cotas máximas dupla leitura por ano civil (01/Jan a 31/Dez), visto que não há definição de início e fim do ano hidrológico na bacia, segundo publicação de Kich *et al.* (2015).

As três distribuições candidatas, Gumbel, Log-Normal com dois parâmetros e Log-Normal com três parâmetros, não foram rejeitadas pelo teste de aderência e estacionariedade. Para a estação

Muçum (86510000) o teste de homogeneidade, que foi descrito nas etapas do item III do 2.2, não pode ser realizado devido a amostra ser considerada pequena (35 anos de dados). A hipótese nula do teste de independência e estacionariedade foram aceitos, para o nível de significância de 5,0 %, ou seja, a amostra de dados foi considerada independente e estacionária.

A distribuição Log-Normal 3P (equação 3) foi selecionada por apresentar menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica. Contudo, cabe ressaltar, que houve constatação de um limite superior no modelo Log-Normal 3P, que ficou em 3.561,9 cm. Observa-se no detalhamento da equação 3 que o fator de forma ( $k$ ) foi de 0,21016 (Figura 7), ou seja, positivo, o que resulta em um limite superior. Se o fator de forma fosse negativo não haveria um limite superior. Considerando a maior cota histórica registrada na estação Muçum, até a data de elaboração deste texto, que foi de 2.202 cm (Figura 6), referente a cheia de 08/07/2020 e obtida por nivelamento de marca de cheia em 31/08/2020, há uma diferença de 1.173 cm. A Figura 7 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas e o intervalo de confiança de 95 % estimado para quantis por simulação de Monte Carlo (SILVA *et al.*, 2011). As Tabelas 2 e 3 apresentam as cotas, para diferentes tempos de retorno, e a probabilidade de as mesmas serem igualadas ou superadas. A equação 3 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos da Tabela 1.

Observa-se, nas Tabelas 1 e 3, que os tempos de retornos para as cotas calculadas para as cotas de atenção e alerta, são curtos, ou seja, há uma grande frequência de emissão de boletins pelo SACE Taquari para a localidade. Na Tabela 3 verifica-se que as diferenças de tempo de retorno para as cotas de atenção, alerta e inundação variam de 1,03 a 4,18 anos. Ressalta-se contundentemente também que, para uma mesma estação fluviométrica, os tempos de retorno são diferentes quando calculados utilizando-se de cotas máximas ou vazões máximas estimadas por curva-chave para as mesmas cotas máximas, conforme visto nas diferenças dos estudos de Marcuzzo e Pinto (2022c,d).

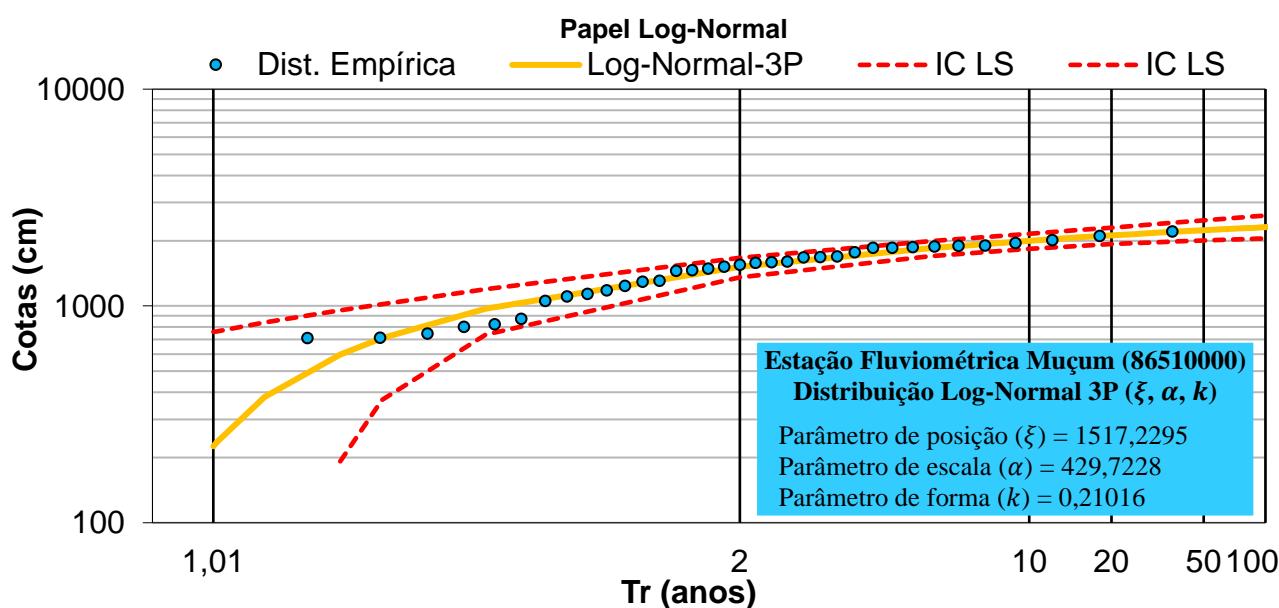


Figura 7 – Ajuste das distribuições empírica e teórica Log-Normal, com o intervalo de confiança (IC) Monte Carlo.

Tabela 2 – Cotas para diferentes tempos de retorno, em anos (de 2 a 100 anos) e resumo estatístico dos dados utilizados.

Estação Muçum (86510000)	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
	Cotas (cm)												
	1.517	1.849	2.000	2.070	2.115	2.147	2.171	2.208	2.234	2.255	2.279	2.297	2.308
Resumo Estatístico da Série de Dados Utilizados													
Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ				
----- cm -----										----- cm -----			
1.471,6	427,9	710	2.202	1.492	-0,400	1.546	1.157	1.853	696				

Tabela 3 – Cotas de atenção, alerta e inundação de Muçum (86510000) no SACE Taquari, além das respectivas maiores cheias registradas, tempos de retorno e as probabilidades destas cotas serem igualadas ou superadas.

Nome e Código da Estação	Número de Anos de Dados de Cota Dupla Leitura Disponíveis <sup>1</sup>	Denominação da Cota de Interesse	Cota Disponível em 03/2023 (cm)	Tempo de Retorno da Cota (anos)	Probabilidade da Cota Ser Igualada ou Superada em um Ano Qualquer
Muçum (86510000)	35	Atenção	500	1,03	97,09 %
		Alerta	900	1,12	89,29 %
		Inundação	1.800	4,18	23,92 %
		Maior Cheia Histórica Registrada em 05/09/2023	2.611	7,692	0,01 %
		2ª Maior Cheia Histórica Registrada em 08/07/2020	2.202	38,23	2,62 %
		3ª Maior Cheia Histórica Registrada em 01/10/2001	2.100	18,11	5,52 %
		Maior Cota com Medição de Descarga Líquida foi Executada em 20/10/2016 (402 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	1.830	4,66	21,46 %

Recomenda-se para a estação Muçum (86510000), pelo fato de se verificar poucas MDL medida em cotas acima da cota de atenção (500 cm) na série histórica (Figura 6), além da necessidade de mais medições em cotas mais altas, há também a necessidade de mais medições quando o rio Taquari está em ascensão do seu nível, conforme relatado no estudo de Marcuzzo, Maldonado e Souza (2019), de modo a se excluir ou confirmar o fenômeno físico da histerese (curva-chave em “laço”).

Exemplo de aplicação dos resultados deste estudo: Uma agroindústria será instalada no município de Muçum / RS as margens do rio Taquari. Considerando a transposição das cotas das réguas da estação Muçum (86510000), até o local de sua instalação, verificou-se que a agroindústria terá sua base instalada na cota 2.312 cm. Considerando a análise de frequência de cotas, aqui publicados (equação 3 e Figura 7), qual é o tempo de retorno da cota na base da agroindústria e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada pelo rio Taquari em um ano qualquer? Substituindo a cota de 2.312 cm e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, na equação 3, tem-se que o tempo de retorno é de 104,17 anos. A probabilidade da cota de 2.312 cm, na base da instalação da agroindústria, ser igualada ou superada pelo rio Taquari, em um ano qualquer, é de 0,96 %. Mais exemplos de aplicação e um melhor detalhamento dos cálculos para a estação Muçum podem ser analisados em Marcuzzo e Pinto (2022b) e na planilha de aplicação no Quadro 2 desta publicação.

#### 4. CONCLUSÃO

Executou-se e analisou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Gumbel, Log-Normal 2P e 3P à série histórica de 35 anos das cotas máximas dupla leitura, empregando o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância. Nenhum dado foi reprovado no teste de limite inferior de Grubbs e Beck e a série é independente e estacionária. A distribuição Log-Normal 3P com momentos L foi a escolhida por apresentar os menores resíduos entre a distribuição teórica e empírica no rio Taquari na localidade da estação Muçum (86510000).

Os tempos de retorno das cotas de atenção, alerta e inundação, e as probabilidades de serem igualadas ou superadas, em um ano qualquer, em Muçum (86510000), foram, respectivamente: 1,03 (97,09 %); 1,12 (89,29 %); 4,18 (23,92 %). Para a maior cheia registrada em Muçum, 2.202 cm registrada nos boletins DL em 08/07/2020, o tempo de retorno foi de 38,23 anos, para uma série histórica de 35 anos, o que resultou numa probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 2,62 %. Já para a maior cota com medição de descarga líquida medida no campo (1.830 cm, com 402 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, em 20/10/2016), em Muçum, o tempo de retorno foi de 4,66 anos, o que resultou numa probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 21,46 %.

#### REFERÊNCIAS

FINCK, J. S.; GUIMARÃES, G. M.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B.; MARCUZZO, F. F. N. Diagrama unifilar de dados hidrológicos em bacia hidrográfica: proposta de modelo e passo a passo de como fazer consistindo os dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE



- RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18491>. Acesso em: 13 set. 2022.
- GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica nacional e de aproveitamentos hidrelétricos das sub-bacias 85 a 88, na bacia hidrográfica do Atlântico – trecho sudeste. **Geographia Meridionalis** - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, v. 3, n. 3. p. 276–300, jul-dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18953>. 22jun2022.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: an approach based on L - moments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- KICH, E. M.; MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial na sub-bacia 86 visando a determinação do seu ano hidrológico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15060>. Acesso em: 13 nov. 2015.
- MARCUZZO, F. F. Mapas e opções de divisão territorial do estado do Rio Grande do Sul por bacias hidrográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 49., 2018, Rio de Janeiro. **Anais[...]**. Rio de Janeiro: SBG, 2018. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19906>.
- MARCUZZO, F. F. N.; MALDONADO, L. H.; SOUZA, S. A. de. Curva-chave sob efeito de histerese: traçado e ajuste de curva-chave média e em laço. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais[...]** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/21532>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. A concepção e mapeamento dos diagramas unifilares das estações fluviométricas nas sub-bacias pertencentes a Bacia Hidrográfica do Atlântico - trecho sudeste. In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE; ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, 26., 2015a, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AESABESP, 2015. v. 1. p. 1-20. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15128>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Mapeamento fisiográfico básico das sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do Atlântico no Trecho Sudeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., Santos, SP, 2017. **Anais[...]**. Santos, SP: INPE, 2017a. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17849>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias que integram à Bacia do Atlântico - Trecho Sudeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015b, Brasília, DF. **Anais[...]**. Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15055>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas dos Sistemas de Alerta:** Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai; rio Uruguai, estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000, município atendido Uruguaiana, RS. Porto Alegre: SGB, 2022c. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22872>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de vazões dos Sistemas de Alerta:** Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai; rio Uruguai, estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000, município atendido Uruguaiana, RS. Porto Alegre: SGB, 2022d. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22872>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. Tempo de retorno das cotas de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação do SAH na Bacia do Ibicuí. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 16; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 15., 2022a, Caruaru, PE. **Anais [...]**. Caruaru: ABRHidro, 2022. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22947>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. Tempo de retorno das cotas de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação no talvegue do rio Uruguai. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 3., Niterói, RJ, 2023. **Anais [...]** Niterói, RJ: ABRH, 2023. Tema: Eventos Extremos e Sociedade sob a Perspectiva das Mudanças Climáticas. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23692>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARCUZZO, F. F. N. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/18492>.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas dos Sistemas de Alerta:** Sistema de Alerta Bacia do Rio Taquari, rio Taquari, estação fluviométrica Muçum, código 86510000, município atendido Muçum, RS. Porto Alegre: SGB, 2022b. Disponibilidade Hídrica do Brasil. Estudo de Regionalização nas Bacias Hidrográficas do Brasil. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22943>. Acesso em: 29 mar. 2023.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Efeito da altitude na chuva média anual nas sub-bacias pertencentes à Bacia do Atlântico – trecho sudeste. In: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016a, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17182>. Acesso em: 28 out. 2022

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo de perfis de estações fluviométricas: transcrições de campo, ajustes de escritório e efeito nos atributos hidráulicos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., Natal. **Anais...** Natal: ABRH, 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17448>. Acesso em: 25 set. 2022.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Modelos digitais de elevação na delimitação automática das sub-bacias do rio Taquari-Antas no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 25-29 abr. 2015a, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. v. 1. p. 360-367. Disponível: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15126>. 25 set.2022.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Regionalização da Q7,10 na Bacia do Taquari-Antas (RS) usando regressão simples e robusta: o problema da variável explicativa precipitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015b, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15059>. Acesso em: 01 nov. 2022.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: SGB, 2007. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/454>. Acesso: 02 set. 2022.

NAITZEL, L. T.; GOLDENFUM, J. A.; MARCUZZO, F. F. N. Recuperação de dados históricos da rede de referência e dos sistemas de alerta do rio Caí, Taquari e Uruguai. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 15., 2020, [Brasil]. **Anais[...]**. [Brasil]: ABRH, 2020. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21807>. Acesso em: 13 jun. 2022.

PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico**. Belo Horizonte: SGB, 2013. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: SGB, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. SIG, v. 2.0 - atualizada a 11/2011; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.sgb.gov.br/publicue/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-6604.html>.

SILVA, E. D.; MATOS, A. J. S. **Operação do sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Taquari 2022**. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil - SGB, 2022. Programa Gestão de Riscos e de Desastres. Ação levantamentos, estudos, previsão e alerta de eventos hidrológicos crítico.

SILVA, A. T.; NAGHETTINI, M.; PORTELA, M. M. Sobre a estimação de intervalos de confiança para os quantis de variáveis aleatórias hidrológicas. **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 32, Nº 2, 63-76, Novembro de 2011. © APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh32n2-6.