

## Dossiê Parque Estadual do Turvo (PET) - Yucumã

# Influência da operação da UHE de Foz do Chapecó (SC) nos níveis do Rio Uruguai no Salto do Yucumã, Parque Estadual do Turvo (RS)

The Influence of Foz do Chapecó Hydroelectric Power Plant Operation on the Levels of the Uruguay River at Salto do Yucumã, Turvo State Park

Influencia de la operación de la Central Hidroeléctrica Foz del Chapecó en los niveles del Río Uruguay en el Salto del Yucumã, Parque Estatal del Turvo

**Fernando Pasini<sup>I</sup> , Malva Andrea Mancuso<sup>II</sup> ,  
Carlos Manuel Camarate de Campos Palma<sup>II</sup> **

<sup>I</sup> Universidad Tecnológica del Uruguay, Durazno, Uruguay

<sup>II</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil

## RESUMO

A instalação e operação de uma Usina Hidrelétrica (UHE) podem causar diversos impactos ambientais, os quais podem ser agravados de acordo com as suas condições. Este estudo, teve por objetivo identificar e descrever o padrão de escoamento fluvial resultante da operação da UHE Foz do Chapecó (SC) no Rio Uruguai, no trecho compreendido entre a usina e os Saltos do Yucumã (localizados no Parque Estadual do Turvo-PET, RS). Para isso, foram coletadas informações pluviométricas e fluviométricas das estações de Foz do Chapecó Jusante, Iraí, Itapiranga e da estação de monitoramento experimental instalada nos Saltos do Yucumã, durante o período de 18/02/2018 a 11/03/2018. A análise de dados fluviométricos e pluviométricos coletados permitiu identificar que a onda de cheia (níveis máximos) demora, em média, 17:22 h para se propagar entre a UHE Jusante e os Saltos do Yucumã (PET), levando 2:28 h horas até Iraí (eleva em média 268,4 cm), mais 11:30 h até Itapiranga (eleva em média 142,47 cm) e outras 3:24 h até o Salto do Yucumã (eleva em média 245,52 cm). A velocidade de ascensão dos níveis atinge 45,50 cm h<sup>-1</sup> no Salto do Yucumã, o que decorre da geomorfologia do canal assemelhando o comportamento ao observado na zona de descarga da UHE. As características desse escoamento tornam a região um local de elevada fragilidade ambiental sendo necessário o acompanhamento do processo hidrológico e a identificação dos impactos ambientais que decorrentes das oscilações sub-horárias dos níveis do Rio Uruguai nos Saltos do Yucumã.

**Palavras-chave:** Usina Hidrelétrica; Impacto ambiental; Ecossistema fluvial

## ABSTRACT

The installation and operation of a Hydroelectric Power Plant (HPP) can cause various environmental impacts, which can be aggravated according to environmental conditions. This study aims to identify and describe the river flow pattern resulting from the operation of the HPP Foz do Chapecó (SC) on the Uruguay River, in the section between the plant and the Yucumã Falls (located in the Turvo State Park-PET, RS). For this, pluviometric and fluviometric information was collected from the stations of Foz do Chapecó Downstream, Iraí, Itapiranga and from the experimental monitoring station installed at the Yucumã Falls, during the period from 02/18/2018 to 03/11/2018. The analysis of collected river flow and rainfall data allowed us to identify that the flood wave (maximum levels) takes, on average, 17:22 h to propagate between the HPP Downstream and the Yucumã Falls (PET), taking 2:28 h hours to Iraí (raises on average 268.4 cm), another 11:30 h to Itapiranga (raises on average 142.47 cm) and another 3:24 h to the Yucumã Falls (raises on average 245.52 cm). The speed of rising levels reaches 45.50 cm h<sup>-1</sup> at the Yucumã Falls, which results from the channel geomorphology resembling the behavior observed in the HPP discharge zone. The characteristics of this flow make the region a place of high environmental fragility, requiring monitoring of the hydrological process and identification of environmental impacts resulting from sub-hourly oscillations of Uruguay River water levels at Yucumã Falls.

**Keywords:** Hydroelectric Power Plant; Environmental impact; River ecosystem

## RESUMEN

La instalación y operación de una Usina Hidroeléctrica (UHE) pueden causar diversos impactos ambientales, que pueden agravarse según las condiciones ambientales locales. Este estudio tuvo como objetivo identificar y describir el patrón de flujo fluvial resultante de la operación de la UHE Foz del Chapecó (SC) en el Río Uruguay, en el tramo comprendido entre la usina y los Saltos del Yucumã (ubicados en el Parque Estatal Turvo-PET, RS). Para ello, se recogieron informaciones pluviométricas y fluviométricas de las estaciones de Foz del Chapecó Aguas abajo, Iraí, Itapiranga y de la estación de monitoreo experimental instalada en los Saltos del Yucumã, en el período del 18/02/2018 al 11/03/2018. El análisis de los datos de flujo y precipitaciones recogidos permitió identificar que la ola de crecida (niveles máximos) tarda, en promedio, 17:22 h en propagarse entre la UHE y los Saltos del Yucumã (PET), tardando 2:28 h horas hasta Iraí (eleva en promedio 268,4 cm), más 11:30 h hasta Itapiranga (eleva en promedio 142,47 cm) y otras 3:24 h hasta el Salto del Yucumã (eleva en promedio 245,52 cm). La velocidad de ascensión de los niveles alcanza los 45,50 cm h<sup>-1</sup> en el Salto del Yucumã, resultado de la geomorfología del canal asemejando el comportamiento al observado en la zona de descarga de la UHE. Las características de este flujo hacen que la región sea un sitio de alta fragilidad ambiental que demanda investigación del proceso hidrológico e identificación de los impactos ambientales resultantes de las oscilaciones sub-horarias de los niveles en el Salto del Yucumã.

**Palabras-clave:** Usina Hidroeléctrica; Impacto ambiental; Ecosistema fluvial

## 1 INTRODUÇÃO

Para instalação de um empreendimento hidrelétrico é necessário que o interessado tenha seu projeto aprovado pelo órgão ambiental responsável, para isso

deve cumprir com todos os quesitos solicitados em um termo de referência (Andrade; Santos, 2018). Em função das especificações solicitadas são realizados diversos estudos hidrometeorológicos a fim de caracterizar as condições iniciais (diagnóstico do meio) e possibilitar um correto dimensionamento da obra, bem como criar um prognóstico das novas condições e direcionar a operação (Maldonado; Gamarro; Santos, 2015).

A operação de uma usina hidrelétrica (UHE) consiste no represamento de um volume de água e sua posterior liberação, o retorno ao eixo natural do rio é feito por meio de dutos que utilizam a energia cinética para rotacionar conjuntos de pás, os quais ligam-se a um sistema de conversão, que por fim transforma a energia mecânica em energia elétrica. Em todo o processo identificam-se diversos impactos que podem ser ocasionados com a instalação e operação de uma UHE, seja a montante, no lago reservatório, ou a jusante onde se mantém um percentual de vazão remanescente e o novo regime de fluxo gerado pela operação (Botelho *et al.*, 2017).

Ainda que tenha-se noção dos impactos, por vezes irreversíveis, ocasionados pela instalação e operação deste tipo de obra, a possibilidade de geração de renda e o fortalecimento da economia regional são as principais justificativas para aprovação deste tipo de projeto (Andrade; Santos, 2018). Na região sul do Brasil, soma-se ainda a grande aptidão dos cursos fluviais para esta atividade, no caso da bacia do Rio Uruguai, seu potencial hidrelétrico é tido como um dos maiores do mundo (40,5 KW km<sup>2</sup>) (Ana, 2014). Principalmente a região do médio alto Uruguai, que apresenta rios com grandes dimensões fluindo em áreas de planalto, com elevado gradiente altimétrico, vales bem encaixados e base rochosa rígida (Sema, 2011).

Tais características estimularam investidores à instalar diversas UHEs (Usinas hidrelétricas), PCHs (Pequenas centrais hidrelétricas) e CGHs (Centrais de Geração hidrelétrica) na porção do médio alto Uruguai, o qual já conta com mais de cinquenta pontos de aproveitamento hidrelétrico, o que afeta significativamente os parâmetros hidráulicos dos cursos fluviais (Ana, 2014).

Os impactos ocasionados pelo barramento de um rio são, teoricamente, descritos na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) apresentada ao órgão ambiental na

fase de projeto, porém, alguns impactos só são verificados com o decorrer da vida útil do empreendimento (Maldonado; Gamaro; Santos, 2015).

No caso da Bacia do Rio Uruguai, o barramento de Foz do Chapecó desde o início de suas obras é motivo de debate e conflito, político, econômico, ambiental e social, muito disso resultante da aprovação de um superficial Estudo de Impacto Ambiental (EIA), assim como indica a ação civil pública Nº 5000930-57.2010.404.7202/SC. de 2010, que impedia o início da operação até a regularização de alguns pontos elencados pelo judiciário (Felipe, 2011; Winckler; Renk, 2014).

A respeito do que ocorreu e ainda ocorre nas áreas atingidas pela hidrelétrica de Foz do Chapecó, muitos pesquisadores têm alertado para os problemas que podem acometer as áreas afetadas por barramentos, Richter *et al.* (2010); Rocha (2010); Bevelhimer, Mc Manamay e O'Connor (2014); Botelho *et al.* (2017); Aguiar *et al.* (2016); Bejarano *et al.* (2017); Yi *et al.* (2018).

Este estudo trata especificamente, da área de jusante da barragem da UHE Foz de Chapecó. As áreas de jusante dos reservatórios costumam receber menos importância nos EIA (Siqueira *et al.*, 2013). No entanto, associam-se a estas áreas diversos impactos. Toda vez que um novo volume de água é liberado ao curso principal, há um aumento da velocidade, aumento da tensão de cisalhamento, alteração da concentração de sólidos dissolvidos, ocorre a movimentação no fundo do rio alterando a concentração de sólidos suspensos, causa a modificação do habitat de organismos bentônicos e inviabiliza os ciclos naturais de cheias e estiagens, tudo isso somado à capacidade de regularização da vazão que o reservatório confere ao canal fluvial (Stevaux; Martins; Meurer, 2009).

Além disso, a constante oscilação do nível provoca alterações na geomorfologia do canal, que com o passar dos anos pode causar instabilidade das margens, erosão e alteração da biota, em especial da vegetação ripícola, de grande importância para os ciclos reprodutivos de peixes (Brandt, 2000; Magilligan; Nislow; Renshaw, 2013).

Quanto à área de jusante, a onda de inundação liberada pela UHE, depende do potencial de regularização do barramento e das condições do meio, podendo ser sentida por diversos quilômetros (Godoi *et al.*, 2009). No Rio Uruguai, este tipo de impacto

é ainda intensificado pelo efeito cascata provocado pela série de aproveitamentos hidrelétricos instalados na bacia (Sema, 2011).

A extrema jusante do médio alto Uruguai, no ponto em que o divide do médio baixo Uruguai, localiza-se o Parque Estadual do Turvo (PET) a mais importante área de proteção integral e refúgio da fauna silvestre da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul (Peters *et al.*, 2017; Cardoso; Silva-Brandão; Duarte, 2018).

Na porção do Rio Uruguai que divide o PET da República Argentina encontra-se uma fratura no leito do rio no sentido NE a NW (no sentido longitudinal do rio) formando os Saltos do Yucumã (García *et al.*, 2011). As quedas do Yucumã possuem largura 1/3 a 1/4 menor do que a calha normal do rio, e uma profundidade até sete vezes maior (Iriondo; Kroling, 2021). Essa importante formação geológica impulsiona o turismo regional, sendo um dos principais pontos turísticos do noroeste gaúcho (Rigo, 2014).

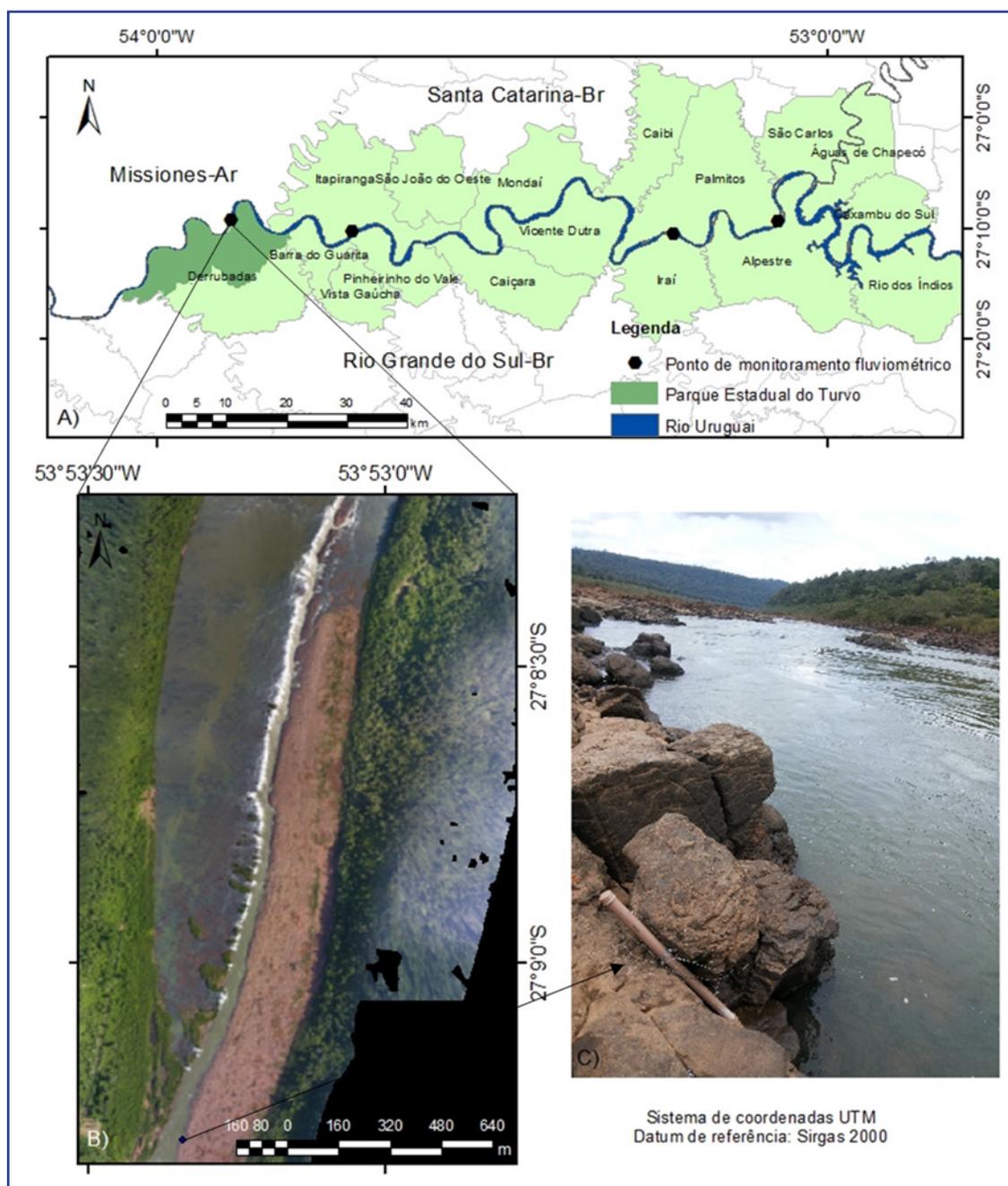
Tendo em vista a importância do Parque Estadual do Turvo, nomeadamente o Salto do Yucumã, e os possíveis impactos causados pela operação da UHE Foz do Chapecó, este trabalho objetiva definir e descrever o padrão de escoamento fluvial ocasionado pela operação da UHE no regime hídrico (níveis) do Rio Uruguai, no trecho compreendido entre a usina e o Parque Estadual do Turvo.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Aquisição dos dados

Para identificação do padrão de escoamento do Rio Uruguai no trecho de estudo, foram utilizados dados de nível, coletados pelas estações fluviométricas (Figura 1): da UHE Foz do Chapecó Jusante (74050000) localizada a aproximadamente 2 km do vertedor, no ponto de confluência entre a vazão vertida para aproveitamento hidrelétrico e a resultante da alça de vazão reduzida; de Iraí (74100000), distante 25 km da UHE; de Itapiranga (74329000), 113 km a jusante da UHE; e uma estação de monitoramento experimental instalada no Parque Estadual do Turvo, na porção de jusante do Salto do Yucumã, 140 km a jusante da UHE.

Figura 1 – Trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo, desde a divisa dos municípios de Alpestre/RS e Águas do Chapecó/SC até a jusante do Salto do Yucumã. A) Localização das estações de monitoramento fluviométrico. B) Mosaico de Imagens aéreas do canal fluvial e leitos de inundação no trecho do Rio Uruguai conhecido como Salto do Yucumã, obtidas com um veículo aéreo não tripulado (VANT), do tipo Phantom 4. C) Detalhe da instalação de um medidor de nível, preso a uma rocha no leito do Rio Uruguai (coordenadas 27° 9'18,92" S; 53°53'20,94" O), realizada no dia 18/02/2018



Fonte: Organizado pelos autores (2019)  
 Nota: Em B, capturas realizadas por Breunig (2019)

A coleta de dados ocorreu no período compreendido entre 18/02/2018 a 11/03/2018, totalizando três semanas, os registros no Salto do Yucumã foram realizados de forma automática, a cada 15 minutos com o auxílio de um medidor automático de pressão (CTD *data logger*). Durante este período também foram coletadas informações das estações, UHE Foz do Chapecó Jusante (registro a cada 60 minutos), Iraí (registro a cada 15 minutos) e Itapiranga (registro a cada 15 minutos) (Tabela 1), os três últimos disponibilizados por telemetria e posteriormente obtidos por meio do Sistema de Monitoramento Hidrológico da Agência Nacional de Águas (Ana, 2019).

Tabela 1 – Informações das estações e local de coleta de dados fluviométricos, utilizados neste estudo, instalados no Rio Uruguai entre a UHE Foz do Chapecó (SC) e o Parque Estadual do Turvo (RS)

<b>Informações das estações</b>	<b>UHE Foz do Chapecó Jusante</b>	<b>Iraí</b>	<b>Itapiranga</b>	<b>Salto do Yucumã*</b>
Código da Estação	74050000	74100000	74329000	-
Responsável	Foz do Chapecó Energia S.A.	Agência Nacional de Águas	Agência Nacional de Águas	-
Período utilizado para análise	18/02/18 - 11/3/18	18/2/18-11/3/18	18/2/18-11/3/18	18/2/18-11/3/18
Coordenadas da estação fluviométrica	27° 9' 29,16" S 53° 4' 24,96" O	27° 10' 32,16" S 53° 13' 46,92" O	27° 10' 18,12" S 53° 42' 34,92" O	27° 9' 18,92" S 53° 53' 20,94" O
Intervalo de registro (minutos)	60	15	15	15

Fonte: Organizado pelos Autores (2019)

Nota: \*Monitoramento utilizando medidor automático de pressão (CTD *data logger*), unidade de coluna d'água

Além dos registros de nível de água do rio foram coletados dados de precipitação, a fim de identificar a sua influência no padrão de escoamento e na elevação do nível do rio, durante o período utilizado para a análise. Os registros de precipitação foram coletados pelas estações pluviométricas, UHE Foz do Chapecó Barramento (02753028), Iraí (74100000) e Itapiranga (74329000), estas informações foram obtidas no Sistema de Monitoramento hidrológico da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), já a precipitação que incidiu sobre o Salto do Yucumã foi obtida na Base de Dados Hidrológica Integrada,

da República Argentina, que possui uma estação de monitoramento, 3443 – Uruguay, (SNIH, 2019) a aproximadamente 4,2 km de distância do local onde foi instalado o monitoramento experimental do nível d'água (Tabela 2).

Tabela 2 – Informações das estações de coleta de dados pluviométricos, utilizadas neste estudo, instaladas entre a UHE Foz do Chapecó (SC) e o Parque Estadual do Turvo (RS)

<b>Informações das estações</b>	<b>UHE Foz do Chapecó Jusante</b>	<b>Iraí</b>	<b>Itapiranga</b>	<b>Salto do Yucumã</b>
Código da Estação	02753028	74100000	74329000	3443 – Uruguay
Responsável	Foz do Chapecó S.A.	Agência Nacional de Águas	Agência Nacional de Águas	Red Hidrometeorológica Nacional
Período utilizado para análise	18/02/18 - 11/3/18	18/2/18-11/3/18	18/2/18 -11/3/18	18/2/18-11/3/18
Coordenadas da estação fluviométrica	27° 8' 48,12" S 53° 3' 6,84" O	27° 10' 32,16" S 53° 13' 46,92" O	27° 10' 18,12" S 53° 42' 34,92" O	27° 09' 12,80" S 53° 55' 58,50" O
Intervalo de registro (minutos)	60	15	15	1140

Fonte: Organizado pelos Autores (2019)

## 2.2 Definição do padrão de escoamento do Rio Uruguai

Para identificação das alteração diárias provocadas pelo sequencial represamento e liberação da água pela UHE (devido ao período de geração de energia) foram separadas algumas características comuns de todas as ondas de elevação de nível verificadas nesse período: horário e nível de início da ascensão, velocidade de ascensão, horário e nível do pico, velocidade de recessão e horário e nível de término.

Para tal identificação foi levado em conta a Resolução N° 004, de 17 de janeiro de 2018 e sua atualização, N° 49, de 17 de julho de 2018, ambas da Agência Nacional de Águas, as quais regulamentam a operação do reservatório da UHE Foz do Chapecó. E considerou-se, também, que dentro das especificações a UHE tenha um padrão próprio de operação que atenda a demanda energética necessária.

Após identificação destas informações foi construído um modelo padrão de

onda que representa-se cada dia da semana, e um modelo padrão de onda que representasse as características médias de cada série de registros de nível. De forma que seja possível a representação das características das ondas, bem como o tempo e intensidade de propagação do pico de cheia.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

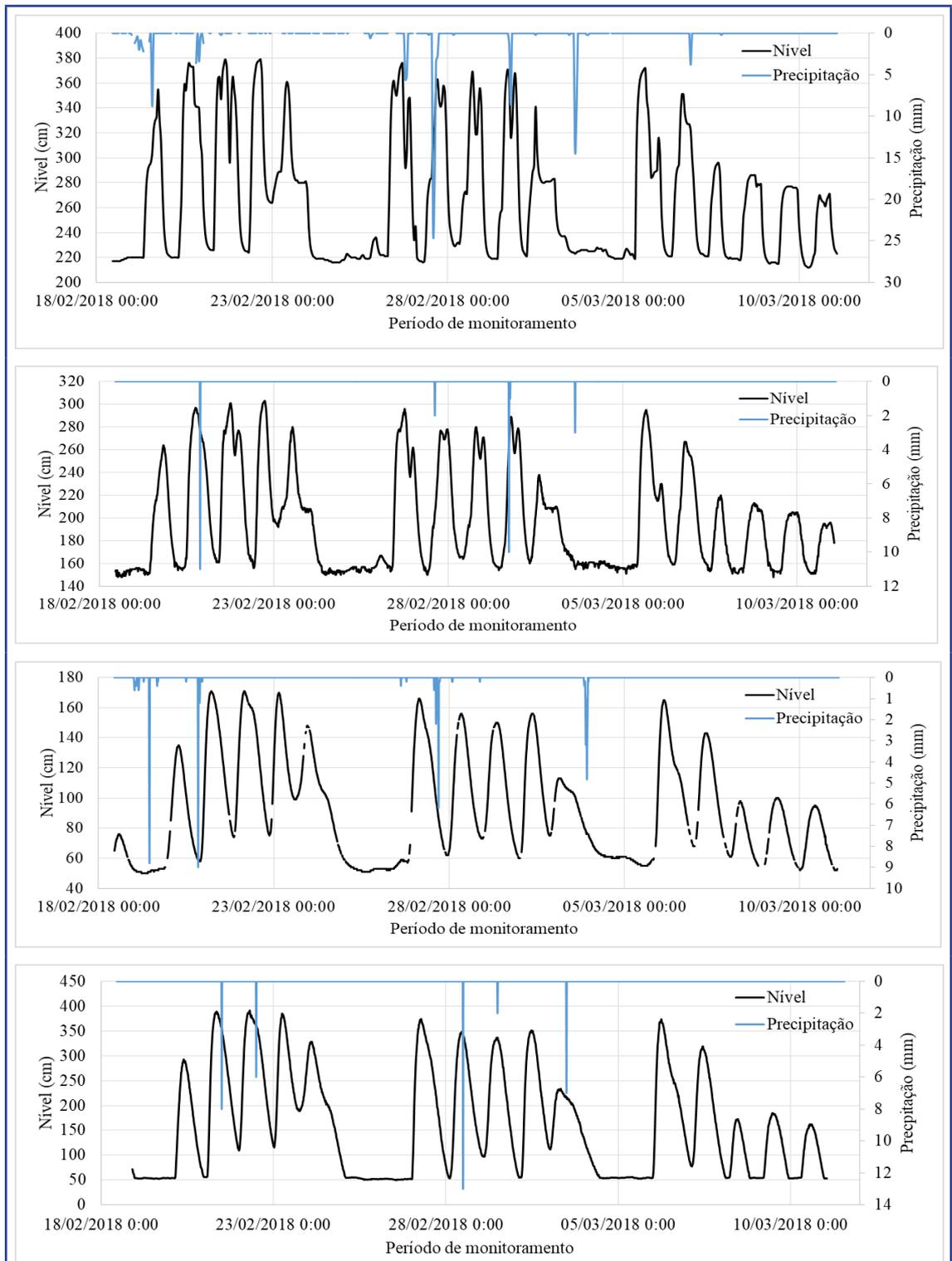
Durante o período de análise, entre os dias 18/02/18 e 11/03/18, foi registrada uma altura de precipitação acumulada de 126 mm na estação UHE Foz do Chapecó Barramento, 18 mm na de Iraí, 27 mm em Itapiranga e 36 mm no Salto do Yucumã. A precipitação máxima diária acumulada foi de 48,2 mm na UHE Foz do Chapecó Barramento, 18 mm em Iraí, 19,8 mm em Itapiranga e 13 no Salto do Yucumã (Figura 2).

A fim de verificar a influência da precipitação na variação temporal do escoamento os dados de precipitação e nível são representados como hidrogramas (Figura 2). Os quais, ao serem analisados visualmente, mostram baixa ou nula influência da precipitação em comparação a influência da UHE na elevação dos níveis subdiários, o que já era esperado uma vez que não houve registro de grandes eventos de precipitação nesse período.

Estudos prévios indicam que na bacia do Rio Uruguai a precipitação, exerce grande influência sobre os níveis visto que ela possui baixa capacidade de armazenamento (Sema, 2009), no entanto, essa constatação não é verificada no período de monitoramento uma vez que a UHE possui potencial de regularização de vazões e não foram registrados consideráveis eventos de precipitação no período de estudo (Stevaux; Martins; Meurer, 2009).

Analisando o escoamento que ocorre na direção Foz do Chapecó - Salto do Yucumã é nítida a influência da UHE nos níveis do rio. De acordo com a Resolução Nº 49, de 17 de julho de 2018 (Ana, 2018), a UHE deve operar de maneira que não ultrapasse um extravase maior que  $1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  das 12:00 h de Sexta-Feira até às 12:00 h do Domingo, pois esta é considerada uma vazão que comporta os usos múltiplos da água, como indica o VI Fundamento da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Brasil, 1997). Com esta vazão é possível manter o aproveitamento turístico do Salto do Yucumã no trecho do Parque Estadual do Turvo.

Figura 2 – Precipitação e níveis de água do Rio Uruguai registrados no período de 18/02/2018 a 11/03/2018, em estações de monitoramento instaladas entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo. A) Monitoramento na UHE Foz do Chapecó. B) Monitoramento em Iraí. C) Monitoramento em Itapiranga. D) Monitoramento no Salto do Yucumã



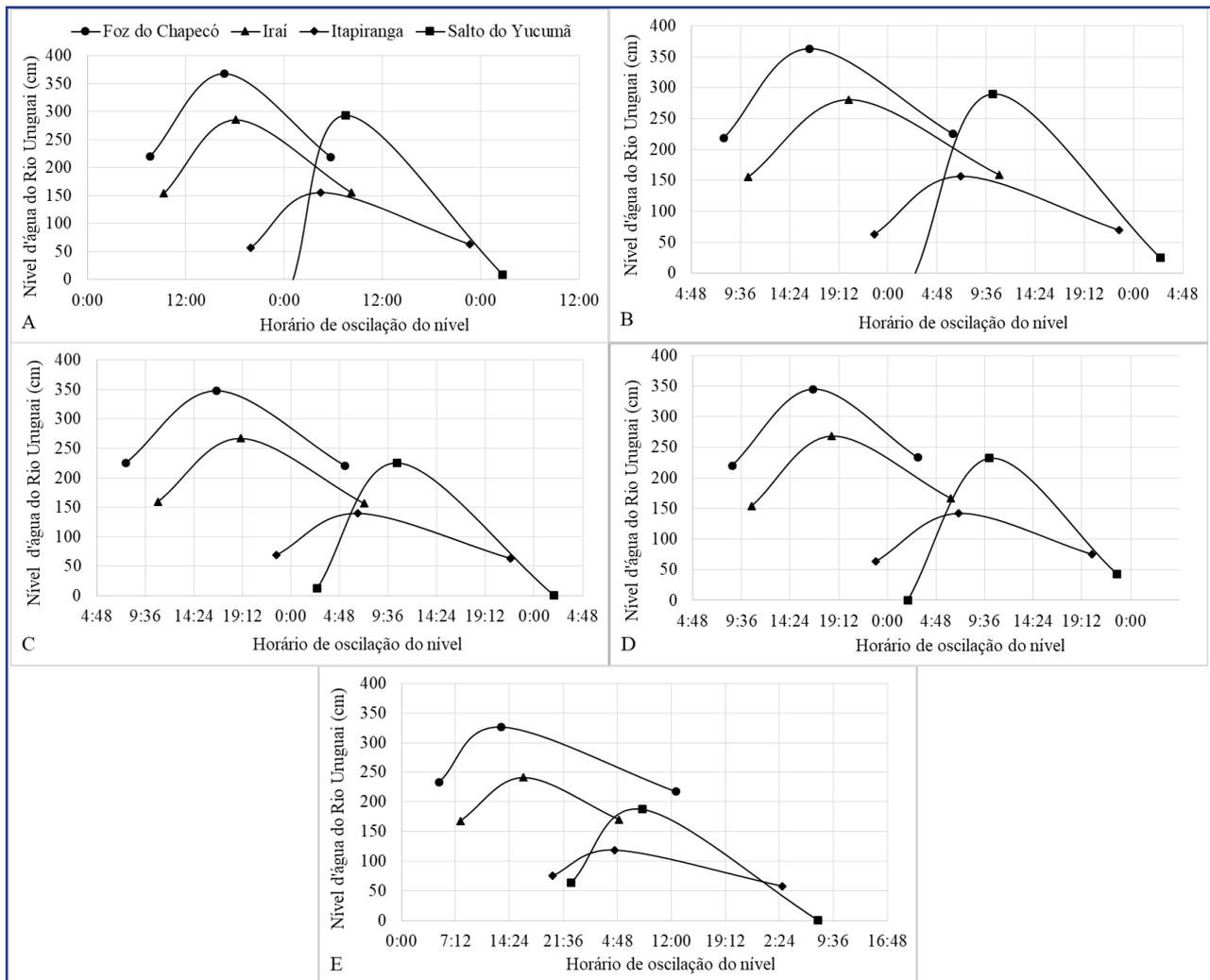
Fonte: Autores (2019)

Verifica-se, na Figura 2D, que tal normativa vem sendo considerada para a operação já que, nas duas primeiras semanas de monitoramento, aos Domingos, foram registrados os menores níveis do rio no Parque Estadual do Turvo. Já ao final da terceira semana verifica-se uma descarga de fluxo também no Sábado, 10/03 (Figura 2A). A qual tem como vazão máxima  $970 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ , respeitando a normativa N° 48/2018 da ANA (Ana, 2018). Tal descarga resultou em uma elevação do nível de apenas 58 cm na estação Foz do Chapecó Jusante.

Salienta-se que, os níveis mínimos registrados no Salto do Yucumã podem ser inferiores aos apresentados no hidrograma, pois devido a periculosidade de instalação do medidor e a necessidade de retirada segura dos dados, a profundidade de instalação foi inferior à profundidade máxima atingida pelo nível de vazante subdiária do rio em algumas ocasiões.

Utilizando como base a variação do nível de água do rio nas diferentes estações de monitoramento, pode ser explicado como ocorre a propagação da onda de cheia no Rio Uruguai. Para isso é proposto um modelo padrão de onda de escoamento, o qual possui como referência o nível de pico (máximo) atingido pela onda, tempo de ascensão, de recessão, velocidade de escoamento e o tempo que leva para a onda deslocar-se de um fluviômetro até o outro. O modelo padrão contido na Figura 3, (3.A a 3.E), especifica as características que a onda de escoamento adquire em cada dia da semana (Segunda-Feira a Sexta-Feira).

Figura 3 – Ondas de elevação de nível do Rio Uruguai verificadas durante cinco dias da semana monitorado na saída do barramento da UHE Foz do Chapecó, em Iraí, em Itapiranga e no Salto do Yucumã, graficos elaborados a partir do dados coletados no período de 18/02/2018 e 11/03/2018. A) Segunda-feira. B) Terça-Feira. C) Quarta-Feira. D) Quinta-Feira. E) Sexta-Feira



Fonte: Autores (2019)

Utilizando como base os níveis de água medidos nas estações fluviométricas no período compreendido entre 18/02/2018 e 11/03/2018 é possível verificar que, em média, a operação semanal da UHE inicia entre as 7:00 e as 8:00 h da segunda-feira, com o extravase da água represada durante o fim de semana. Neste dia, o pico de

máxima, na saída do vertedor, ocorre às 16:40 h (367,67 cm) e demora apenas 1:25 h para chegar até Iraí, distante cerca de 25 km, onde foi registrado o nível de 285 cm, depois de mais 10:20 h o Rio Uruguai atinge seu nível máximo (155,33 cm) em Itapiranga, 88 km a jusante de Iraí, e às 7:30 h do dia seguinte (Terça-Feira) atinge o nível máximo no Salto do Yucumã (293,04 cm), levando cerca de 3:05 h para propagar-se desde a estação de Itapiranga até o Salto do Yucumã, distante 27 km (Quadro 1).

Quadro 1 – Tempo de deslocamento do pulso de cheia provocado pela operação da UHE Foz do Chapecó entre a usina e as localidades de Iraí, Itapiranga e o Salto do Yucumã. Monitoramento realizado entre os dias 18/02/2018 e 11/03/2018

Dia da semana	Tempo de deslocamento do pico máximo de nível (horas)						
	25 km		88 km			27 km	
Segunda-feira	Foz do Chapecó	1:25	Iraí	10:20	Itapiranga	3:05	Salto do Yucumã
Terça-feira		3:50		10:55		3:10	
Quarta-feira		2:20		11:35		3:55	
Quinta-feira		1:50		12:30		3:05	
Sexta-feira		2:55		12:10		3:45	

Fonte: Autores (2019)

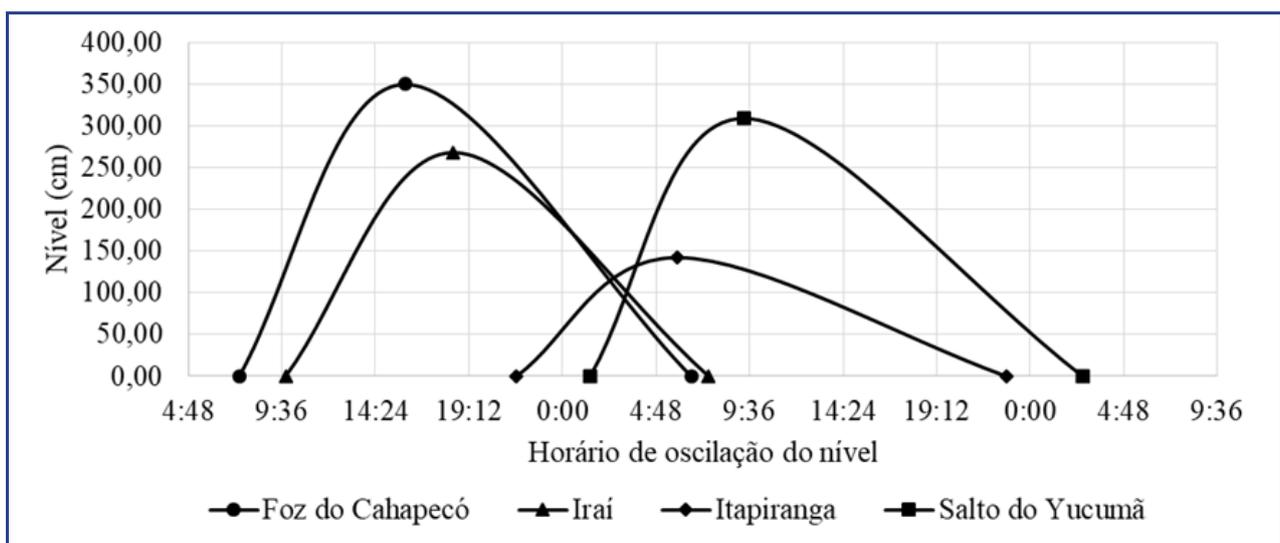
Como o Rio Uruguai está com níveis baixos devido ao represamento do final de semana, a propagação da onda possui maior intensidade na Segunda-Feira, atingindo uma velocidade de ascensão de 15,57 cm h<sup>-1</sup> em Iraí, 11,90 cm h<sup>-1</sup> em Itapiranga e 45,50 cm h<sup>-1</sup> no Salto do Yucumã, sendo a discrepância de valores deste último resultante das características morfológicas (de estreitamento) que o canal assume no trecho do Salto do Yucumã, somado ao incremento eventual de volume dos rios tributários no trecho.

Apenas nos dados da estação Foz do Chapecó Jusante essa diferença não foi percebida, sendo Terça-Feira o dia de maior velocidade de ascensão do nível, 17,75 cm h<sup>-1</sup> em comparação aos 16,95 cm h<sup>-1</sup> ocorridos na Segunda-Feira.

O modelo de operação mantém-se semelhante na Terça-Feira, na Quarta-Feira e na Quinta-Feira, exceto pelo fato de que após a Segunda-Feira a onda de cheia demora um tempo maior para propagar-se pelo canal (Tabela 3). É importante ainda lembrar que, apesar de não ter ocorrido evento de precipitação significativa no período de estudo, o regime do rio é também regularmente influenciado pelos seus afluentes.

Dentre as características observadas no padrão de escoamento verificam-se diferenças significativas entre o tempo de ascensão e de recessão dos níveis de água do Rio Uruguai (Figuras 3 e 4), principalmente na sexta feira (Figura 3E). Em média, nas três semanas de monitoramento realizado na estação Foz do Chapecó o nível do rio elevou a uma velocidade de  $14,83 \text{ cm h}^{-1}$  e rebaixou com uma velocidade de  $9,62 \text{ cm h}^{-1}$ , em Iraí essas mesma oscilação ocorrem a velocidades de  $12,82 \text{ cm h}^{-1}$  e  $8,40 \text{ cm h}^{-1}$ , em Itapiranga foram de  $9,32 \text{ cm h}^{-1}$  e  $4,55 \text{ cm h}^{-1}$  e no Salto do Yucumã de  $29,15 \text{ cm h}^{-1}$  e  $13,23 \text{ cm h}^{-1}$ . Mais uma vez, observa-se a influência da geomorfologia do canal no trecho do Salto do Yucumã, que impacta nas velocidades de oscilação dos níveis de água do rio (Figura 4).

Figura 4 – Onda padrão média de elevação de nível de água do Rio Uruguai monitorado na saída do barramento da UHE de Foz do Chapecó, em Iraí, em Itapiranga e no Salto do Yucumã elaborada a partir de dados com intervalor de registro de 60 minutos na estação de Foz do Chapecó e 15 minutos em Iraí, Itapiranga e no Salto do Yucumã



Fonte: Autores (2019)

As ondas de elevação e recessão podem causar impactos significativos ao meio, comprometendo inclusive as características geomorfológicas do canal (Maldonado; Gamarro; Santos, 2015), o que torna o Salto do Yucumã um ponto de fragilidade ambiental, que necessita de uma atenção diferenciada por parte do poder público.

A problemática da elevação do nível acentua-se quando considera-se que na região do Salto do Yucumã, a margem esquerda do rio apresenta um extenso leito de inundação com baixa declividade (Figura 5), portanto, cada pico de cheia resulta no aumento significativo da zona alagada.

Figura 5 – Leito de inundação da margem esquerda do Rio Uruguai, no Salto do Yucumã, Parque Estadual do Turvo (RS). Imagem capturada no dia 7 de fevereiro de 2018 às 13:35 h



Fonte: Autores (2018)

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O padrão de escoamento fluvial do Rio Uruguai no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo é extremamente influenciado pelo regime de operação da usina, apresentando diariamente ondas de cheia do leito (com picos de nível máximo e mínimo).

Na estação fluviométrica instalada na UHE Foz do Chapecó, os níveis máximos do rio ocorrem por volta das 15:56 h, na estação fluviométrica de Iraí se observam às 18:24 h do mesmo dia, enquanto que na de Itapiranga ocorre às 5:54 h e no Salto do Yucumã às 9:18 h do dia seguinte. Estes picos da onda de cheia do Rio Uruguai, provocados pela descarga de águas que passam pelas turbinas da UHE demoram em média 17:22 h para propagar-se até o Parque Estadual do Turvo, sendo 2:28 h para chegar até Iraí; 11:30 h para chegar a Itapiranga e 3:24 h para chegar ao Salto do Yucumã. Neste último a geomorfologia encaixada do canal faz com que o comportamento e a elevação dos níveis se assemelhe à resposta observada nos níveis do Rio Uruguai na zona de descarga da usina. O efeito no Parque Estadual do Turvo provoca o encobrimento parcial dos Saltos do Yucumã além de inundações diárias da extensa margem esquerda do rio, cuja topografia plana formada por basaltos favorece o encobrimento da margem esquerda ao longo do trecho de mais de 1,8 Km de extensão dos Saltos.

Ainda que a UHE siga o modelo de operação imposto pela Agência Nacional de Águas, as características do escoamento tornam a região um local de elevada fragilidade ambiental sendo necessário o acompanhamento do processo hidrológico e a identificação dos impactos ambientais (especialmente ecológicos) que decorram das oscilações bruscas (sub-horárias) dos níveis das águas do Rio Uruguai no trecho dos Saltos do Yucumã (Parque Estadual do Turvo, Brasil, e Reserva Nacional do Yabuti, Argentina), importantes zonas de proteção ambiental.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil:** regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial, Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf> Acesso em: 25 jun. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Resolução Nº 004, de 17 de janeiro de 2018** Documento nº 00000.002638/2018-12. Diário Oficial da União 18 de janeiro de 2018. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2018/0004-2018\\_Ato\\_Normativo.pdf?114347](http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2018/0004-2018_Ato_Normativo.pdf?114347). Acesso em: 25 jun. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Resolução Nº 49, de 17 de julho de 2018**, Dispõe sobre as condições de operação do reservatório da UHE Foz do Chapecó no Rio Uruguai. Diário Oficial da União 18/07/2018. Disponível em: [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrww0TZC2Mb/content/id/31889469](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrww0TZC2Mb/content/id/31889469). Acesso em: 25 jun. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema de Monitoramento Hidrológico por Telemetria**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>. Acesso em: 25 jun. 2020.
- AGUIAR, F. C.; MARTINS, M. J.; SILVA, P. C.; FERNANDES, M. R. Riverscapes downstream of hydropower dams: Effects of altered flows and historical land-use change. **Landscape and Urban Planning**, Lisboa, v. 153, n. 1, p. 83–98, set. 2016.
- ANDRADE, A. L.; SANTOS, M. A. Razões e critérios para definição da viabilidade ambiental de hidrelétricas no Brasil. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 284-299, Mai./Ago. 2018.
- BEJARANO, M. D.; SORDO-WARD, A.; ALONSO, C.; NILSSON, C. Characterizing effects of hydropower plants on sub-daily flow regimes, **Journal of Hydrology**, Madrid, v. 550, n. 1, p. 186-200. Jul. 2017.
- BEVELHIMER, M. S.; MCMANAMAY, R. A.; O’CONNOR, B. Characterizing Sub-Daily Flow Regimes: Implications of Hydrologic Resolution on Ecohydrology Studies. **River Research and Applications**, New Jersey, v. 31, n. 7, p. 867–879, mai. 2014.
- BOTELHO, A.; FERREIRA, P.; LIMA, F.; PINTO, L. M. C.; SOUSA, S. Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Aveiro, v. 70, n. 1, p. 896-904, abr. 2017.

BRANDT S. A. Classification of geomorphological effects downstream of dams. **Catena**. Copenhagen, v. 40, n. 4, p. 375-401, ago. 2000.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de jan. de 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em: 25 jun. 2020.

CARDOSO, L. W.; SILVA-BRANDÃO, K. L.; DUARTE, M., *Adhemarius eurysthene* (Felder, 1874) (Lepidoptera, Sphingidae) in the Atlantic Rain Forest: A phylogeographic perspective, **Zoologischer Anzeiger**, v. 277, n.1, p 231-241, nov. 2018.

FELIPE, M. R. **Efeitos socioambientais da uhe foz do chapecó: atores sociais envolvidos e o relatório de impacto ambiental - RIMA**. 2011, 86 p. Monografia (Bacharel em Ciências Sociais) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

GARCÍA, C. M.; HERRERO, H.; HILLMAN, G.; RODRÍGUEZ, A; MACCHIONE, E. Caracterización experimental del flujo para estimar parámetros hidráulicos de diseño de pasarelas sobre el Río Uruguay en los Saltos de Moconá, Misiones. *In: SIMPOSIO REGIONAL SOBRE HIDRÁULICA DE RÍOS*, 5, Santiago del Estero. **Anais**. Santiago del Estero, CONICET, 2011, 1-25.

GODOI, F.G; DULAC, V.F; GODOI, L.F.S E CRUZ, R.C. Determinação do trecho de vazões alteradas do Rio Uruguai para subsidiar determinação da área de influência da UHE Itá. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 18, Campo Grande. **Anais**. Campo Grande, ABRH, 2009.1-10.

IRIONDO, M. Y.; KROHLING, D. **Cambios ambientales en la cuenca del río Uruguay, desde dos millones de años hasta el Presente**. Colección Ciencia y Técnica. Editora UNL Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, 2021.

MAGILLIGAN, F. J.; NISLOW, K. H.; RENSHAW, C. E. Flow regulation by dams. *In: SHRODER, J., (Org.). Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, 2013, p. 794-808. 2013.

MALDONADO, L. H; GAMARO, P. E. M.; SANTOS, J. M. Avaliação das modificações hidrológicas ocorridas na Estação de Porto São José, situada em um trecho do Rio Paraná regulado por Usinas Hidrelétricas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 752 – 762, Jul./Set. 2015.

PETERS, F.B.; MAZIM, F.D.; FAVARINI, M.O. E.; OLIVEIRA, T. G. *Leopardus pardalis* (Linnaeus, 1758) (Carnivora, Felidae) nos campos do extremo sul do Brasil: expansão ou recolonização do Pampa? **Revista Brasileira de Zoociências**, Juiz de Fora, v. 18, n.3, p. 51-60. Set. 2017.

RICHTER, B. D.; POSTEL, S.; REVENGA, C.; SCUDDER, T.; LEHNER, B.; CHURCHILL, A.; CHOW, M. Lost in development's shadow: The downstream human consequences of dams. **Water Alternatives**, London, v. 3, n. 2, p. 14-42, jun. 2010.

RIGO, F. F. **Ecoturismo e sustentabilidade em Derrubadas/RS**, 2014. 23 p. Monografia (Licenciatura em Geografia), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2014.

ROCHA, H. J. E.; PASE, H. L. O conflito social e político nas hidrelétricas da bacia do Uruguai. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 30, n. 88, p. 99-113, Jun. 2015.

ROCHA P. C. Indicadores de alteração hidrológica no alto Rio Paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza**, Uberlandia, v. 22, n. 1, p. 191-211, 2010.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMA), **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas** – relatório 2. Projeto Frag-Rio. 2011. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/pch-cgh/Reg\\_Uruguai\\_fragilid\\_amb\\_hidr/FRAGRIO\\_relatorio\\_etapa\\_2.pdf](http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/pch-cgh/Reg_Uruguai_fragilid_amb_hidr/FRAGRIO_relatorio_etapa_2.pdf) . Acesso em: 25 jun. 2020.

SIQUEIRA, A. G.; AZEVEDO, A. A.; SOUZA, L. A. P.; SILVA, M. Modificações fluviais à jusante de barragens. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14. Rio de Janeiro. **Anais**, Rio de Janeiro, ABGE, 2013,1-12.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN HÍDRICA (SNIH). **Datos Hidrológicos**, Buenos Aires, 2019. Disponível em: <https://snih.hidricosargentina.gov.ar/Inicio.aspx>. Acesso em: 25 jun. 2020.

STEVAUX, J. C.; MARTINS, D. P.; MEURER, M. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. **Geomorphology**, Londres, v. 113, n. 15, p. 230–238, dez. 2009.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE SANTA CATARINA (STJ-SC), **Ação Civil Pública Nº 500093057.2010.404.7202/SC**, 2010. Disponível em: <https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/16062111/sls-1271>. Acesso em: 25 jun. 2020.

WINCKLER, S; RENK, A. Entre promessas e incertezas: conflitos no uso e ocupação do entorno do lago da Barragem Foz do Chapecó Energia. **Revista Antropológicas**, Recife, v. 25, n. 2 p. 6-21, Jun. 2014.

YI, Y.; ZHOU, Y.; SONG, J.; ZHANG, S.; CAI, Y.; YANG, W.; YANG, Z. The effects of cascade dam construction and operation on riparian vegetation, **Advances in Water Resources**, Londres, v. 131, n.1, p. 1-39, Set. 2019.

## Contribuições de autoria

### 1 – Fernando Pasini

Universidad Tecnológica del Uruguay, Mestre em Engenharia Ambiental

<https://orcid.org/0000-0003-0806-8344> • [fernando.pasini@utec.edu.uy](mailto:fernando.pasini@utec.edu.uy)

Contribuição: Conceituação, metodologia, curadoria de dados, escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição

### 2 – Malva Andrea Mancuso

Universidade Federal de Santa Maria, Doutora em Geociências

<https://orcid.org/0000-0002-8252-534X> • [malvamancuso@ufsm.br](mailto:malvamancuso@ufsm.br)

Contribuição: Conceituação, escrita - revisão e edição

### 3 – Carlos Manuel Camarate de Campos Palma

Universidade Federal de Santa Maria, Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária

<https://orcid.org/0009-0002-7375-6792> • [carlospalma58@gmail.com](mailto:carlospalma58@gmail.com)

Contribuição: Metodologia, escrita - revisão e edição

## Como citar este artigo

PASINI, F.; MANCUSO, M. A.; PALMA, C. M. C. de C. Influência da operação da UHE de Foz do Chapecó (SC) nos níveis do Rio Uruguai no Salto do Yucumã, Parque Estadual do Turvo (RS). **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 28, e85229, 2024. Disponível em: 10.5902/2236499485229. Acesso em: dia mês abreviado. ano.