

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Fernando Pasini

**REGIME DE ESCOAMENTO DO RIO URUGUAI NO TRECHO ENTRE
A HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ E O SALTO DO YUCUMÃ**

Santa Maria, RS

2019

Fernando Pasini

**REGIME DE ESCOAMENTO DO RIO URUGUAI NO TRECHO ENTRE A
HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ E O SALTO DO YUCUMÃ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Malva Andrea Mancuso

Santa Maria, RS

2019

Pasini, Fernando

REGIME DE ESCOAMENTO DO RIO URUGUAI NO TRECHO ENTRE A
HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ E O SALTO DO YUCUMÃ /
Fernando Pasini.- 2019.

91 p.; 30 cm

Orientadora: Malva Andrea Mancuso

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, RS, 2019

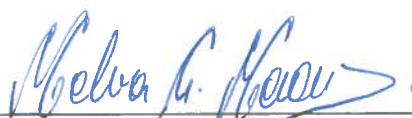
1. Recursos hídricos 2. Hidrologia 3. Impacto
ambiental I. Mancuso, Malva Andrea II. Título.

Fernando Pasini

**REGIME DE ESCOAMENTO DO RIO URUGUAI NO TRECHO ENTRE A
HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ E O SALTO DO YUCUMÃ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2019:



Malva Andrea Mancuso, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)



Fernando Grison, Dr. (UFFS)



Aline de Almeida Mota, Dra. (UFFS)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

À minha família, que me apoiou incondicionalmente em toda esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Durante os dois anos em que estive ligado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, convivi com muitas pessoas especiais, as quais de alguma forma me ajudaram a trilhar este caminho, portanto, aproveito o espaço e deixo aqui registrado meus agradecimentos:

À Deus por ter me permitido chegar até aqui, sempre iluminando e guiando o meu caminho.

À minha família, sem vocês nada disso seria possível, agradeço pelo apoio incondicional, pelos princípios de humildade, amor, educação e respeito. Apesar da minha ausência nesse período saibam que eu amo vocês!

À minha orientadora Malva Andrea Mancuso, exemplo profissional, agradeço pela motivação, oportunidade e por toda atenção e paciência durante a execução deste trabalho. És uma grande referência pra mim!

Ao grupo de pesquisa em Hidrodinâmica Ambiental, em especial à: Carlos Palma, pelo auxílio na instalação da sonda e assistência técnica prestada; e, Bruna Ruchel, pela ajuda com o tratamento das imagens.

À André Tiago dos Santos por ceder a sonda (CTD *Data logger*) utilizada para monitoramento do nível do Rio Uruguai.

Aos Professores Fábio Marcelo Breunig e Renato Beppler Spohr, pela aquisição das imagens aéreas e levantamento topográfico da área de estudo.

Ao Professor José Luiz Silvério da Silva, por ter me acolhido durante o período em que estive em Santa Maria, me orientado em uma docência e pelos muitos ensinamento que me foram repassados.

Aos Professores Edner Baumhardt e Mariza de Camargo, agradeço pela disponibilidade em terem participado da banca de qualificação e pelos importantes apontamentos feitos.

Aos amigos que fiz durante minha passagem por Santa Maria, em especial aos colegas da turma 2017/01 do PPGEAmb, obrigado pela amizade e parceria durante a realização das disciplinas. Aos meus amigos e vizinhos da casa 80, o tempo em que dividimos a moradia foi incrível, obrigado pela amizade sincera e por tantas histórias que vivemos durante 2017.

Aos amigos/irmãos de Frederico Westphalen que sempre me receberam e me acolheram durante as várias indas e vindas de Santa Maria - Frederico Westphalen, durante o primeiro ano.

Aos amigos que me ajudaram nos trabalhos de campo, ainda que não fizessem parte do grupo de pesquisa, ou se quer sabia o porquê estavam fazendo as atividades, nunca hesitaram em ajudar.

À família Langner, Milton, Joana e Carlos, da qual eu já me sinto parte, por todo o apoio e amor cedido durante este último ano.

Aos meus alunos, colegas docentes e técnicos do IFFar – Santo Augusto, em especial os do Eixo Recursos Naturais, por todo incentivo e amizade.

À todos os professores e colegas do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil por terem contribuído com a minha formação, devo muito a vocês!

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela excelente infraestrutura, auxílio estudantil, corpo docente e de técnicos administrativos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Pós-Graduação que me foi cedida por alguns meses.

À todos que de alguma forma me incentivaram, contribuíram e apoiaram para que eu chegasse até aqui, meu sincero muito obrigado!

“Ninguém entra em um mesmo rio uma segunda vez, pois quando isso acontece já não se é o mesmo, assim como as águas já serão outras.” - Heráclito

RESUMO

REGIME DE ESCOAMENTO DO RIO URUGUAI NO TRECHO ENTRE A HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ E O SALTO DO YUCUMÃ

AUTOR: Fernando Pasini

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Malva Andrea Mancuso

O Rio Uruguai, devido a suas características hidrodinâmicas e topográficas, é considerado um dos principais cursos d'água nacionais para o aproveitamento hidrelétrico e, conseqüentemente, sujeito aos impactos decorrente da instalação destas obras. Considerando a importância da caracterização hidrológica das áreas de jusante de barramento hidrelétrico, este trabalho objetivou realizar um diagnóstico do regime de escoamento do Rio Uruguai no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó e o Salto do Yucumã. Para isso, foram coletadas e interpretadas as informações fluviométricas disponíveis na área delimitada para estudo. A interpretação foi realizada utilizando o *software* IHA 7.1 (*Indicators of Hydrological Alterations*), ao qual foram submetidas séries coletadas pelo posto fluviométrico de Iraí (74100000), o mais antigo da região, as séries utilizadas são compostas de distintas formas de amostragem dos dados, possibilitando a indicação da representatividade que cada série possui, bem como uma indicação detalhada dos impactos que estão ocorrendo no período posterior à operação da UHE. Também foram coletadas informações do posto fluviométrico de Foz do Chapecó Jusante (74050000), Itapiranga (74329000) e foi instalado uma estação experimental de monitoramento no Salto do Yucumã, dados estes que, reunidos com os de Iraí, possibilitaram a indicação de como ocorre o escoamento no trecho entre a UHE e o Salto do Yucumã, proporcionando, inclusive, a estimativa do tempo de propagação dos pulsos de inundação, fundamental para a gestão da bacia. Verificou-se que a análise de uma série de dados de vazão composta de apenas uma informação diária não é o modelo mais representativo dos impactos que ocorrem nesse trecho do Rio Uruguai, apresentando-os de forma atenuada. A utilização do *software* IHA foi satisfatória na análise das alterações hidrológicas, no pós UHE, dentre elas destaca-se a grande variabilidade do fluxo diário e a regularização da vazão, que mantém níveis normalmente mais altos, alterando consideravelmente os picos de estiagem. Quanto ao regime de escoamento e propagação das ondas diárias provocadas pela operação da UHE, indica-se que, há um *delay* médio de 17:22 h da propagação pelo trecho de estudo (140 km). Em Foz do Chapecó, o pico de cheia diário é sentido por volta das 15:56 h, em Iraí às 18:24 h do mesmo dia, em Itapiranga às 5:54 h e no Salto do Yucumã às 9:18 h, ambas do dia seguinte. Ainda que a UHE siga o modelo de operação imposto pela Agência Nacional de Águas, as características do escoamento verificadas por este estudo podem comprometer a preservação da região que apresenta grande fragilidade ambiental.

Palavras-Chave: Impactos de jusante; Hidrodinâmica fluvial, Indicators of Hydrological Alteration; Avaliação de impacto de barragens.

ABSTRACT

URUGUAY RIVER FLOW REGIME IN THE REACH BETWEEN THE FOZ DO CHAPECÓ POWER PLANT AND THE YUCUMAN FALLS

AUTHOR: Fernando Pasini

ADVISOR: Prof.^a Dr.^a Malva Andrea Mancuso

The Uruguay River, due to its hydrodynamic and topographic characteristics, is considered one of the main national water courses for hydroelectric use and, consequently, subject to the impacts resulting from the installation of these activities. Considering the importance of the hydrological characterization of the hydroelectric downstream areas, this work aimed to diagnose the impact of the operation of the Foz de Chapecó Hydroelectric Plant (HPP) on the Uruguay River flow regime in the reach between the HPP and the Yucumã Falls. For this, the fluvimetric information was collected and interpreted in the area delimited for study. The interpretation was performed using the IHA 7.1 software (Indicators of Hydrological Alterations), which were submitted to series collected by the Iraí fluvimetric station (74100000), the oldest of the region, the date series were sampled in many different ways, allowing the indication of the representativeness that each series has, as well as a detailed indication of the impacts that are occurring in the period after the installation of the HPP. Information was also collected from the fluvimetric station of Foz do Chapecó Downstream (74050000), Itapiranga (74329000) and an experimental monitoring station was installed in Yucumã Fall, which, together with those of Iraí, enabled an indication of how the flow in the reach between the HPP and the Yucumã Fall, providing, also, the estimation of the propagation time of the flood pulses, fundamental for the management of the basin. It was verified that the analysis of a flow data series composed of only one daily information is not the most representative model of the impacts that occur in the Uruguay River, presenting them in an attenuated way. The use of the IHA software was satisfactory in the analysis of the hydrological alterations in the HPP post, among them the great variability of the daily flow and the regularization of the flow, which maintains normally higher levels, and considerably altering the peaks of drought. As for the regime of flow and propagation of the daily waves caused by the operation of the HPP, it is indicated that there is an average delay of 17:22 h of propagation through the study section (140 km). In Foz do Chapecó, the daily peak-peak is felt around 3:56 h, in Iraí at 6:24 h. of the same day, in Itapiranga at 5:54 h. and in the Yucumã Fall at 9:18 p.m., both of following day. Although the HPP follows the model of operation imposed by the National Water Agency, the flow characteristics verified by this study make the region a place of great environmental fragility.

Keywords: Downstream Impacts; River hydrodynamics, Indicators of Hydrological Alteration; Impact assessment of dams.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1 – Hidrograma de vazões do ano de 2017 (A) e sua respectiva curva de permanência (B), dados coletados pela estação fluviométrica de Iraí (74100000 – Agência Nacional de Águas)..... 25

Figura 2 – Trecho do Rio Uruguai entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre- RS/ Águas de Chapecó-SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS), localizado no trecho transnacional do Rio Uruguai, que divide o Brasil da Argentina..... 29

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA HÍDRICA A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ LOCALIZADA NO RIO URUGUAI

Figura 1 – Mapa de localização do posto Fluviométrico de Iraí (74100000) e da porção da bacia hidrográfica do Rio Uruguai a jusante da UHE Foz do Chapecó..... 41

Figura 2 – Hidrograma das vazões mensais registradas no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000) do período 2010 a 2018, contemplando o monitoramento diários e com periodicidade de 12 horas, 1 hora e 15 minutos: A) Hidrograma de vazões máximas mensais; B) Hidrograma de vazões mínimas mensais; C) Hidrograma de vazões médias mensais 46

Figura 3 – Hidrograma das vazões coletadas pela estação fluviométrica de Iraí (74100000/ ANA) no rio Uruguai no período de Jan/2010 a Dez/2018. Sendo representado a série original de dados diários e os valores resultantes das média entre as 7:00 e as 17:00 horas, das séries com coleta a cada 12 horas, 1 hora e 15 minutos 47

Figura 4 – A) Hidrograma das vazões registradas no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000) comparando duas formas de monitoramento no período de abril/2017 a março/2018, registros diários e registros a cada 15 minutos; B) Ampliação dos registros entre os dias 19/07/2017 e 21/07/2017..... 48

Figura 5 – Hidrograma de vazões indicando a mediana e o percentil 25 e 75 do período histórico de dados (1941 - 2017) coletados pelo posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000): A) Hidrograma da série original; B) Hidrograma da série mínima; C) Hidrograma da série máxima 52

Figura 6 – Curvas de permanência do Rio Uruguai elaborada com dados coletados no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000) Períodos pré operação da UHE Foz do Chapecó (1941 - 2009), pós operação da UHE (2010 - 2018), e curvas das séries originais, máximas e mínimas. Cálculos realizados pelo software IHA 7.1 54

Figura 7 – Taxa de alteração do regime hídrico do Rio Uruguai após a instalação da UHE Foz do Chapecó (2010-2018) com relação ao período de dados prévios à operação (1941 -2009). Dados coletados pela estação fluviométrica de Iraí/RS (74100000). A) Série de dados original. B) Série de dados reconstituída composta de mínimas. C) Série de dados reconstituída composta de máximas 56

LISTA DE FIGURAS: Continuação

CAPÍTULO III – PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE FLUXO PROVOCADAS PELA OPERAÇÃO DA HIDRELÉTRICA FOZ DO CHAPECÓ EM UM TRECHO DO RIO URUGUAI

Figura 1 – Trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS e Águas do Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS e Missiones/Argentina) com destaque para a localização dos Saltos do Yucumã; A) Distribuição espacial das estações de monitoramento fluviométrico e pluviométrico; B) Mosaico de imagens aéreas obtidas com um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), do tipo Phantom 4, do canal fluvial nos Saltos do Yucumã. C) Local de instalação do medidor de nível, preso a uma rocha na margem fluvial do Rio Uruguai (27° 9'18,92" S; 53°53'20,94" O) em 18/02/2018.....67

Figura 2 – Estações pluviométricas localizadas às margens do Rio Uruguai, no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS e Águas de Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS e Missiones/Ar), e indicação do total precipitado no período de 18/02/2018 a 11/03/2018.....71

Figura 3 – Cota d'água do Rio Uruguai e hietograma do período de 18/02/2018 até 11/03/2018, registrados em estações de monitoramento pluviométrico e fluviométrico no trecho entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo; A) UHE Foz do Chapecó; B) Iraí; C) Itapiranga; D) Salto do Yucumã.....72

Figura 4 – Ondas de elevação média de nível do Rio Uruguai verificadas durante cinco dias da semana durante o monitorado na UHE Foz do Chapecó jusante, Iraí, Itapiranga e no Salto do Yucumã; A) Segunda-feira; B) Terça-Feira; C) Quarta-Feira; D) Quinta-Feira; E) Sexta-Feira.....74

Figura 5 – Onda padrão média de elevação de nível do Rio Uruguai monitorado na estação de Foz do Chapecó Jusante, Iraí, Itapiranga e no Salto do Yucumã.....75

Figura 6 – Planície Basáltica de inundação do Rio Uruguai próxima a sua calha, no Salto do Yucumã, Parque Estadual do Turvo. Imagem capturada em 7 de fev. 2018, 13:35 h.....79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1 – Indicação de estudos preliminares do meio abiótico para implantação de barramentos em cursos d'água 19

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA HÍDRICA A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ LOCALIZADA NO RIO URUGUAI

Tabela 1 – Parâmetros hidrológicos que apresentam relevância ecológica, agrupados estatisticamente pelo *software* IHA.....43

Tabela 2 – Análise estatística de vazões do Rio Uruguai, observadas na estação fluviométrica de Iraí (74100000- Agência Nacional de Águas) entre o período de abril a março de 2017. Monitorado com registros diários e a cada 15 minutos.....49

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos verificados na série original de dados diários e nas séries reconstituídas que utilizam as máximas e as mínimas de dados sub diários de vazão para representar a variação diária, nos períodos prévio e posterior à operação da UHE Foz do Chapecó. As séries são referentes às coletas realizadas no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000), em $m^3.s^{-1}$50

Tabela 4 – Precipitação total anual registrada na estação pluviométrica 74100000 de Iraí/RS..53

CAPÍTULO III – PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE FLUXO PROVOCADAS PELA OPERAÇÃO DA HIDRELÉTRICA FOZ DO CHAPECÓ EM UM TRECHO DO RIO URUGUAI

Tabela 1 – Informações das estações e do ponto de coleta dos dados fluviométricos localizados entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS, Águas de Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS, Missiones/Ar).....68

Tabela 2 – Informações das estações e do ponto de coleta de dados pluviométricos localizados entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS, Águas de Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS, Missiones/Ar).....69

Tabela 3 – Tempo médio de deslocamento do pulso de cheia provocado pela operação da UHE Foz do Chapecó até as localidades de Iraí, Itapiranga e o Parque Estadual do Turvo (Salto do Yucumã).....76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| AIA | Avaliação de Impacto Ambiental |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| AR | República Argentina |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| BR | República Federativa do Brasil |
| CGH | Centrais Geradoras Hidrelétricas |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CN | China |
| CTD | <i>Conductivity, Temperature and Depth</i> |
| EIA | Estudo de Impacto Ambiental |
| FCE | Foz do Chapecó Energia |
| FE | Frequência Esperada |
| FO | Frequência Observada |
| HÁ | Alteração Hidrológica |
| IHA | <i>Indicators of Hydrological Alteration</i> |
| PAC | Programa de Aceleração do Crescimento |
| PCH | Pequena central hidrelétrica |
| PET | Parque Estadual do Turvo |
| PNMA | Política Nacional do Meio Ambiente |
| RHN | Rede Hidro meteorológica Nacional |
| RIMA | Relatório de Impacto Ambiental |
| RS | Rio Grande do Sul |
| RVA | <i>Range Variability Approach</i> |
| SC | Santa Catarina |
| SEMA | Secretaria Estadual do Meio Ambiente |
| SNIRH | Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos |
| TAV | Taxa Aproximada de Variabilidade Natural |
| TNC | <i>The Nature Conservancy</i> |
| UHE | Usina Hidrelétrica |
| UTM | <i>Universal Transverse Mercator</i> |
| UY | República Oriental do Uruguai |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO GERAL | 14 |
| 1.1 OBJETIVOS | 16 |
| 1.1.1 Objetivo geral..... | 16 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 16 |
| 2 CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 17 |
| 2.1 MONITORAMENTO HIDROLÓGICO NACIONAL..... | 17 |
| 2.2 ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL DE BARRAGENS HIDRELÉTRICAS..... | 18 |
| 2.3 IMPACTOS HIDROLÓGICOS A JUSANTE DE BARRAMENTOS | 19 |
| 2.4 IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICA A JUSANTE DE BARRAMENTOS | 21 |
| 2.4.1 A série histórica de dados a ser utilizada | 21 |
| 2.4.2 Métodos estatísticos | 22 |
| 2.5 ÁREA DE ESTUDO | 28 |
| 2.5.1 O Parque Estadual do Turvo..... | 30 |
| 2.5.2 A implantação da UHE Foz do Chapecó | 30 |
| 2.6 REFERÊNCIAS | 31 |
| 3 CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA HÍDRICA A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ LOCALIZADA NO RIO URUGUAI..... | 37 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 38 |
| 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 40 |
| 3.2.1 Área de estudo..... | 40 |
| 3.2.2 Análise da sensibilidade de parâmetros hidrológicos conferida pela discretização da série histórica | 41 |
| 3.2.3 Reconstituição da série histórica e utilização do <i>software</i> IHA 7.1 | 42 |
| 3.3 RESULTADOS | 45 |
| 3.3.1 Análise da sensibilidade dos dados para indicação de alterações hidrológicas | 45 |
| 3.3.2 Alterações hidrológicas verificadas pelo <i>software</i> IHA | 51 |
| 3.4 CONCLUSÃO..... | 59 |
| 3.5 REFERÊNCIAS | 60 |
| 4 CAPÍTULO III – PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE FLUXO PROVOCADAS PELA UHE FOZ DO CHAPECÓ NO TRECHO ENTRE A USINA E O PARQUE ESTADUAL DO TURVO..... | 63 |
| 4.1 INTRODUÇÃO..... | 64 |
| 4.2 METODOLOGIA..... | 66 |
| 4.2.1 Obtenção dos dados..... | 66 |
| 4.2.2 Definição do padrão de escoamento do Rio Uruguai | 69 |
| 4.3 RESULTADOS | 70 |
| 4.4 CONCLUSÃO..... | 79 |
| 4.5 REFERÊNCIAS | 80 |
| CONCLUSÃO GERAL | 83 |
| REFERÊNCIAS GERAIS | 85 |
| APÊNDICES | 87 |

INTRODUÇÃO GERAL

O século XX foi marcado pela implantação de diversos empreendimentos que requeriam o represamento de rios para distintos fins, dentre eles o abastecimento público, a irrigação e produção energética (hidroeletricidade). No entanto, tais intervenções no regime hidrológico causaram sérios impactos ambientais (COLLISCHONN et al., 2005).

Os empreendimentos do setor elétrico foram instalados alicerçados no argumento do excepcional potencial de geração de energia que o país possui. Em um primeiro momento, foram priorizadas as regiões Sul, Sudeste e Nordeste, e mais tarde a expansão ocorreu também no Norte, onde concentra-se a maior parte das drenagens fluviais passíveis de receber a instalação desses empreendimentos (LETURCQ, 2016).

Na região sul, o Rio Uruguai, é um rio transfronteiriço localizado entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e, na sua porção N-S, é fronteira entre Brasil e Argentina; e Argentina e a República Oriental do Uruguai. É o principal curso hídrico da bacia do Rio Uruguai e possui cerca 2.200 km de extensão, com uma vazão média de $5.200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e uma área de drenagem de 365.000 km^2 . Tais características, associadas à topografia lhe conferem elevado potencial de aproveitamento hidráulico (ANA, 2015).

Na parte brasileira da bacia do Rio Uruguai vivem cerca de 3,8 milhões de pessoas em um total de 384 municípios, sendo a maioria de pequeno e médio porte. A região apresenta relevo acidentado o que fomenta a produção rural em pequenas propriedades e impossibilita uma intensa atividade de navegação fluvial, limitando a travessia a pequenos trechos do rio (MOTTER e FOLETO, 2010).

O barramento de um curso hídrico provoca inúmeras alterações nas áreas de jusante, em função do regime de operação da barragem, principalmente durante o período diurno, visto que é quando ocorre a maior necessidade de produção de energia, provocando, portanto, oscilação dos níveis de água do rio em horários específicos. Além disso, os grandes eventos fluviométricos tendem a ser suavizados, alterando a sazonalidade natural das vazões (POERSCH, 2018).

A variação do regime de vazão após a construção da hidrelétrica altera a disponibilidade hídrica do rio, tornando-a variável de forma sistemática em curtos espaços de tempo e espaço, tornando difícil e subjetiva a escolha de um método para caracterizá-la, uma vez que este deva representar fielmente os processos físicos e ambientais da bacia (COLLISCHONN et al., 2005).

Nesse sentido, destacam-se os métodos que utilizam hidrogramas, visto que relacionam a vazão com períodos de tempo e os métodos estatísticos, como o da curva de permanência, vazões máximas, médias, mínimas, medianas e percentis, além de indicadores hidrológicos representativos do funcionamento da bacia (CRUZ et al., 2005).

Ainda que os indicadores de alteração hidrológica não utilizem informações ecológicas, eles podem ser aplicados de forma satisfatória como uma metodologia para a estimativa das alterações ocorridas. O IHA (*Indicators of Hydrological Alteration*) proposto por Richter et al. (1996) é um dos métodos mais utilizados por ser abrangente e relacionar de forma estatística a magnitude do fluxo, a duração, a periodicidade, a frequência e a taxa de alteração de dados de uma série histórica representativa do rio (ROCHA, 2010; SOUZA et al. 2017; POERSCH, 2018), para isso, o método utiliza 33 índices hidrológicos como indicadores das alterações hídricas que tenham ocorrido em período posterior a alguma perturbação ambiental (RICHTER et al., 1996).

Na bacia do Rio Uruguai estão instaladas sete usinas de grande porte, com produção energética superior a 30 MW. Dentre essas, destaca-se o barramento da Foz do Rio Chapecó, localizado entre as cidades de Alpestre (RS) e Águas de Chapecó (SC) (FRANÇA, 2017), esta será objeto de estudo, sendo abordada especificamente a área de influência localizada à jusante do barramento, no trecho em que se estende até o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS), onde se localiza o Salto do Yucumã uma importante formação geológica que impulsiona o turismo regional (SEMA, 2005).

As análises da dinâmica hídrica desse trecho, foram motivadas pela falta de material explicativo a respeito da área de jusante da UHE na avaliação de impacto ambiental e demais questionamento em relação à instalação e operação do empreendimento, que fazem referência à falhas na avaliação de impacto do reservatório do trecho de vazão reduzida (Ação Civil Pública Nº 5000930-57.2010.404.7202/SC, 2010).

O Rio Uruguai, mais do que um corpo hídrico, é parte importante da história e cultura regional, mantê-lo preservado é também uma forma de manter a cultura local viva. Ainda, este trabalho possui relevância por, nacionalmente, ser um dos poucos que aborda este tipo de impacto, e na área de estudo, vai de encontro a Godoi et al. (2009) que analisaram a região quanto ao impacto (antes da operação da UHE Foz do Chapecó) e, SEMA (2011) que desenvolveu um projeto de identificação da fragilidade ambiental e potencial de hidro energético da região do Alto Uruguai.

Serão apresentados sequencialmente, neste trabalho, uma revisão bibliográfica (Capítulo I) que abordará conceitos gerais sobre os recursos hídricos nacionais, bem como os principais métodos utilizados para analisar impactos no regime hídrico de jusante causados por barramentos hidrelétricos e uma detalhada caracterização da área de estudo. Posteriormente, o Capítulo II (Artigo 1) tratará de uma análise detalhada dos dados disponíveis na estação de Iraí/RS (27° 10' 32,16"S; 53° 13' 46,92"O), 25 km à jusante da barragem, para abordar o impacto no regime de vazão do Rio Uruguai, em período prévio e posterior à instalação da UHE. Na sequência, apresenta-se o Capítulo III (Artigo 2), o qual descreve a influência da operação da UHE nos níveis do Rio Uruguai, no trecho entre o local de sua instalação (Alpestre/RS) e o Salto do Yucumã (Derrubadas/RS).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o regime de escoamento do Rio Uruguai no trecho compreendido entre a Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó e o Salto do Yucumã.

1.1.2 Objetivos específicos

No que se refere à análise da dinâmica hídrica do Rio Uruguai no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo, o presente estudo tem como objetivos específicos:

1. Analisar a dinâmica hídrica (vazões) do Rio Uruguai antes e depois da instalação da UHE Foz do Chapecó, avaliando a sensibilidade do método IHA às diferentes periodicidades de amostragem da série histórica de vazão coletada na estação fluviométrica de Iraí;
2. Analisar o padrão de variação atual de níveis d'água do Rio Uruguai no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo.

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta considerações bibliográficas relacionadas à temática principal desta pesquisa, a avaliação dos impactos no regime de escoamento fluvial a jusante de um barramento hidrelétrico. Além disso, também apresenta uma caracterização geral da área de estudo. Os temas aqui abordados serão especificados e detalhados, quando necessário, nos capítulos II e III.

2.1 MONITORAMENTO HIDROLÓGICO NACIONAL

O monitoramento hidrológico nacional data do Século XIX (1855), no entanto, somente entre 1900 e 1920 o Governo Federal assumiu a responsabilidade sobre o monitoramento dos recursos hídricos nacionais. Atualmente, no Brasil, existe a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) a qual, é em suma gerida pela Agência Nacional de Águas (ANA), criada pela Lei nº 9.984, de 17 de Julho de 2000. A ANA organiza e disponibiliza os dados hidrológicos via Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o qual é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH Lei Federal 9433/97).

A RHN possuía, em 2017, mais de 21 mil estações sob responsabilidade de várias entidades. Tais estações dividem-se em pluviométricas, que monitoram as chuvas, e fluviométricas que monitoram a descarga líquida (vazão e qualidade de água) e a descarga sólida (os sedimentos em suspensão). Destas, ainda, estão incluídas as estações específicas para monitoramento obrigatório do setor elétrico, realizado por 621 empresas concessionárias ou autorizadas para exploração do potencial hidráulico nacional (ANA, 2018).

O sistema de monitoramento hidrológico passou por uma modernização nos últimos anos, em 2017 somavam cerca de 1100 estações com monitoramento automático, que, por meio de um sensor registram a condição fluviométrica e armazenam/encaminham a uma central, o que propicia o rápido acesso à informação e um elevado grau de detalhamento dos eventos ocorridos (ANA, 2018). Outra forma de monitoramento é o convencional, realizado a partir da média da altimetria coletada às 7:00 h e às 17:00 h, por um observador munido de uma planilha física (NAGUETTINI e PINTO, 2007).

Cabe ainda ressaltar que há outra forma de monitoramento utilizada no Brasil, a qual baseia-se em imagens de satélite, e que permite quantificar o nível dos rios e a qualidade das águas (estimativas de sedimentos, clorofila e turbidez) (ANA, 2018).

A aquisição dos dados pode ser realizada diretamente com a operadora da estação ou, ainda, pelos sistemas de informação *online*. Os principais sítios para *download* de dados, são o Hidroweb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>), o Portal de Telemetria (<http://www.snirh.gov.br/gestorpcd/Mapa.aspx>) e o HidroSat (<http://hidrosat.ana.gov.br/>).

2.2 ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL DE BARRAGENS HIDRELÉTRICAS

No Brasil, a implantação de grandes obras causadoras de impacto começou a ser debatida de forma conjunta com a sociedade a partir da formulação da Resolução CONAMA 001/86, que estabeleceu como obrigatória a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e um respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (COLLISCHONN et al., 2005).

Os debates ganharam força com a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), a qual fundamenta-se na ideia de que a gestão de bacias hidrográficas, por meio dos seus planos de bacias, deve garantir os usos múltiplos da água e uma utilização racional que previna eventos hidrológicos críticos e incentive a preservação (PNRH, 9433/97).

Quando há interesse em instalar uma obra ou atividade utilizadora de recursos ambientais que possa ser efetiva ou potencialmente poluidora, deve-se solicitar o licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental competente. O licenciamento ocorre em três etapas, inicialmente há a Licença Prévia, aprovando sua localização e concepção. Após a aprovação da Licença Prévia, deve ser solicitada a Licença de Instalação que autoriza a instalação do empreendimento, no local, de acordo com as especificações aprovadas, e por fim, solicita-se a Licença de Operação que autoriza a operação (CONAMA N° 237/1997). Caso a atividade seja considerada potencialmente causadora de significativa degradação ambiental, será ainda necessário a apresentação de um Estudo de Impacto Ambiental durante o processo de licenciamento (ANDRADE e SANTOS, 2018).

Cruz et al. (2005) fazem um apanhado dos principais estudos ambientais a serem realizados de forma preliminar para avaliar o impacto ambiental e orientar a instalação de barragens. Estes estudos visam garantir os usos múltiplos da água na bacia (Tabela 1). Os autores especificam entre os aspectos abióticos, estudos Hidrológicos, Climatológicos, Hidrogeológicos, Geomorfológicos e Pedológicos.

Tabela 1 – Indicação de estudos preliminares do meio abiótico para implantação de barramentos em cursos d’água

| Área do conhecimento | Aspectos Mapeáveis |
|----------------------|---|
| Hidrologia | Vazões máximas, médias, mínimas, disponibilidade hídrica, efeito da regularização, índice de fragmentação dos rios |
| Climatologia | Chuvas, evaporação, insolação, temperatura, ventos, umidade |
| Hidrogeologia | Aquíferos, falhas, formações, circulação de águas subterrâneas, potencialidades, fragilidades, vazão de poços, nível do lençol freático, piping, áreas de recarga de aquífero |
| Geomorfologia | Declividade e formas de relevo |
| Solos | Resistência a impactos, erodibilidade, aptidão agrícola para irrigação |
| Geologia | Formações, presença de lineamentos, características geotécnicas das formações |

Fonte: Adaptado de Cruz et al. (2005).

No entanto, a caracterização dos impactos ambientais causados pelo barramento de um curso d’água é extremamente complexa, visto a inter-relação entre a dinâmica social, o meio físico e biótico, desta forma tais estudos acabam sendo alvo de incertezas, principalmente quando o barramento está alocado em um rio de grande importância regional (HE et al., 2006; PEÑAS et al., 2016). A problemática ainda acentua-se quando é considerada a área de jusante que, costumeiramente recebe menor atenção durante a execução do Estudo de Impacto Ambiental (SIQUEIRA et al., 2013).

2.3 IMPACTOS HIDROLÓGICOS A JUSANTE DE BARRAMENTOS

Para Brandt (2000), os impactos originários da instalação de barragens podem ser divididos em três ordens: 1) de primeira ordem: ocorrem instantaneamente com a redução da vazão, descarga de sedimentos, plânctons e qualidade da água; 2) de segunda ordem: são as alterações da forma do canal, composição do substrato, produção de macrófitas; e, 3) de terceira ordem: que se caracterizam pela resposta da biota ao novo ambiente formado, exemplos são a alteração na população de peixes e de espécies ripícolas.

Corroborando com a ideia de Brandt (2000), Fan et al. (2015) destacam, dentre os principais efeitos das alterações que ocorrem no curso d’água após um barramento, as alterações na qualidade da água, na descarga de sedimentos e as alterações hidrológicas. Estas podem não

estar diretamente ligadas ao barramento, mas serem efeito da dinâmica social relacionada a ele, quando, por exemplo, há alteração no uso e ocupação do solo (ROCHA, 2009).

Os tipos mais comuns de reservatórios são os a fio d'água e de regularização. Os reservatórios a fio d'água possuem capacidade suficiente apenas para prover regularização diária ou semanal, ou ainda utilizam diretamente a vazão afluyente do aproveitamento, já, nos casos em que o sistema hídrico apresenta grandes oscilações interanuais é necessário haver uma reserva maior de água para suprir as demandas em períodos de estiagem, neste caso, caracterizam-se reservatórios de regularização.

O tipo de reservatório pode provocar impactos distintos no curso d'água. A operação de reservatórios de abastecimento geralmente altera a variabilidade natural do rio em decorrência da redução do volume de jusante, já a operação de barragens hidrelétricas tende a alterar a variabilidade natural por tornar o fluxo corresponde às demandas energéticas (STEWARTSON et al., 2017).

Brandt (2000) complementa que poderão ser percebidas alterações dos regimes de vazão diariamente e anualmente. Diariamente visto que no período diurno é utilizada uma quantidade maior de água, devido ao maior consumo de energia, em comparação com o período noturno e anualmente visto que os grandes eventos fluviométricos podem ser suavizados pela ação do barramento.

Salienta-se que, os efeitos hidrológicos a jusante do barramento são dependentes, além da finalidade e da forma de operação do empreendimento (controle de inundações, geração de energia elétrica, irrigação, controle de sedimentos, abastecimento público e abastecimento industrial), das características geológicas, geomorfológicas do reservatório e do leito, e ainda, das características do vertedor (BRANDT, 2000).

A determinação destes efeitos é extremamente complexa e necessita de uma equipe multidisciplinar para possibilitar uma análise realista dos prováveis impactos, os quais devem ser debatidos como caso único. No entanto, existem diversos métodos que buscam uma rápida aproximação dos possíveis eventos a que se sujeita a área, estes podem ser divididos basicamente em métodos estatísticos e de modelagem hidrológica (FAN et al., 2015).

2.4 IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICA A JUSANTE DE BARRAMENTOS

2.4.1 A série histórica de dados a ser utilizada

Os métodos de avaliação hidrológica partem do princípio da eliminação da subjetividade da análise a ser realizada (OLDEN e POFF, 2003). Para que tal avaliação seja efetiva é necessário a utilização de dados consistentes e com séries suficientemente longas para cada análise (NAGUETTINI e PINTO, 2007).

Para análise de dados hidrológicos não é necessariamente preciso utilizar uma série completa, para indicação da magnitude e para cálculo de eventos extremos, por exemplo, os valores máximos/mínimos anuais são suficientes. Para este tipo de análise (eventos extremos), pode ser indicada uma linha base e utilizar como amostra apenas os dados acima ou abaixo deste limite, conforme a necessidade (NAGUETTINI e PINTO, 2007).

Antes de iniciar a análise hidrológica, é importante atentar para a qualidade do dado que está sendo utilizado (KHALIQ et al., 2009). Tucci (2012), recomenda que seja feita uma comparação com postos próximos, os quais devem apresentar uma continuidade de descarga crescente, relativa ao ponto em que se encontra cada fluviômetro (montante - jusante), desta forma garantindo que as séries possuam representatividade.

As séries hidrológicas de cursos inalterados costumam apresentar variações simétricas ao longo do tempo, como resultado das alternâncias sazonais do clima, no entanto, esse comportamento mantém-se em torno de uma média estável, tratando-se de uma série estacionária. Nos casos em que ocorrem perturbações na bacia, como, por exemplo, intensa urbanização ou instalação de um reservatório artificial, pode ser verificado na série uma brusca alteração nas médias não sendo mais verificado um equilíbrio natural entre as variações sazonais, a esta série chama-se de não estacionária (NAGUETTINI e PINTO, 2007).

Verifica-se também que, estatísticas de dados sub diários revelam que rios inalterados apresentam um fluxo relativamente constante, já cursos d'água afetados por barramentos hidrelétricos apresentam elevada variabilidade temporal, quando analisadas longas séries de dados sub diários (BEVELHIMER et al., 2014).

A representatividade da série histórica, quanto ao seu tamanho gera grande conflito entre estudiosos da área, Khaliq et al. (2009), indica que a confiabilidade do resultado está relacionada à séries com mais de 30 anos. Richter et al. (1996) desenvolveram um método de

análise hidrológica baseada somente na vazão, e indicam a utilização de séries com, no mínimo, 20 anos.

No entanto, considerando o caráter recente da instalação de alguns barramentos, faz-se necessária a utilização de séries mais curtas, Souza et al. (2017) utilizam 5 anos para análise da barragem de Sítio Grande (BR) instalada em 2007, Chen et al. (2015) usam 11 anos para análise de impacto da barragem de Gangkouwan (CN), instalada em 2002, e Bai et al. (2017) utilizam apenas 6 anos, como séries representativas do pós instalação do barragem de Xiaolangdi (CN), instalada em 2002. Há que se considerar que, no Brasil, é relativamente recente a rede de monitoramento hidrometeorológica e, portanto, poucos cursos d'água apresentam pontos de amostragem que possuem séries tão longas quanto as inicialmente indicadas.

Outro tema muito focado em pesquisas de avaliação hidrológica é quanto à periodicidade de coleta dos dados utilizados, White et al. (2005) indicam como sendo falha e incompleta uma série que baseia-se apenas em dados diários. As flutuações provocadas pela liberação da água do reservatório não são representadas em regime métrico diário ou ainda em médias diárias (BEVELHIMER et al., 2014; HAAS et al., 2014; ZIMMERMAN, 2010).

Sobre os dados hidrológicos, ainda, é importante ressaltar a possibilidade de ocorrência de erros, os quais são divididos por Naguettini e Pinto (2007) em: Aleatórios (processo de observação e medição), Sistemáticos (referem-se à técnica utilizada na medição e precisão do aparelho utilizado) e os grosseiros (ocorrem devido a falhas humanas, problemas de leitura e ou danificação do aparelho).

2.4.2 Métodos estatísticos

Ainda que nenhum evento hidrológico seja completamente predito e determinado por métodos estatísticos, é importante a avaliação prévia da série de dados, para entender como funciona a hidrodinâmica ambiental local e, dentro do possível, estabelecer correlações e probabilidades.

2.4.2.1 Média, Máxima e Mínima

Estudos hidrológicos que empreguem este tipo de observação (análise de médias, máximas e mínimas) são de grande importância quando avaliada a alteração ocasionada por

barragens com fins hidrelétricos, devido a estas possibilitarem a redução da vazão de jusante a praticamente zero, comparando com às condições pré-barramento (BRANDT, 2000).

Para análise da vazão máxima são considerados os valores extremos que podem produzir enchentes nas margens, portanto, está relacionada a um risco provável e pode ser obtida por uma distribuição estatística. Tal probabilidade pode ser estimada a curto ou longo prazo e pode sofrer alterações, quando controlada por obras hidráulicas (TUCCI, 2012).

Para análise de continuidade, recomenda-se utilização de, no mínimo, cinco hidrogramas de cheias em cada estação do trecho, estes possibilitarão o cálculo do volume do evento em cada ponto e, para que seja respeitada a condição da continuidade, a diferença entre os volumes (*jusante – montante*) deve ser positiva, do contrário o dado deve ser revisto, analisando em separado características da bacia e do evento de interesse (TUCCI, 2012).

A vazão média representa a disponibilidade hídrica média da bacia e seu potencial energético, quando analisada durante longo período é possível identificar a maior vazão média possível de ser regularizada em uma bacia (TUCCI, 2012).

São chamadas de vazões mínimas, os menores valores da série, que não atendem às necessidades das demandas, também são chamadas de vazões de estiagem, e se associam à um período de tempo (duração), pelo fato de que uma sequência de dias com baixas vazões e pouca disponibilidade hídrica representa eventos críticos na bacia, sendo comum analisar as vazões mínimas de 7 ou 30 dias consecutivos (CRUZ et al., 2005).

Assim como as vazões máximas, a série de vazões mínimas permite realizar uma distribuição de probabilidade. Essa análise costuma ser realizada para a previsão de qualidade e disponibilidade para usos consuntivos (CRUZ et al., 2005).

Para análise de continuidade dos dados de vazões mínimas Tucci (2012), recomenda a utilização de um posto à jusante e um a montante do ponto de coleta da série de interesse, esses dados devem ser organizados na forma de uma tabela que apresente a vazão mínima de 7 dias consecutivos (Q_7), de cada um dos anos da série, sendo que a continuidade será respeitada se a diferença da vazão entre o posto de jusante e o de montante for positiva.

2.4.2.2 Curva de descarga

As dificuldades de medição direta de vazão fazem com que os métodos indiretos sejam de grande valia, principalmente quando empregados à estudos de locais de difícil acesso (OLIVEIRA et al., 2016).

O método da curva de descarga nada mais é que uma relação entre vazão e a cota, considerando que o regime de escoamento seja permanente (OLIVEIRA et al., 2016). Esse método considera, também, que o leito do rio não seja mutável e apresente características semelhantes em épocas de cheias e estiagens (GARCEZ e ALVAREZ, 1988). A equação ajustada à curva de descarga costuma ser utilizada para extrapolar situações extremas, onde é inviabilizada a coleta de dados, ainda que conte com elevada incerteza (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

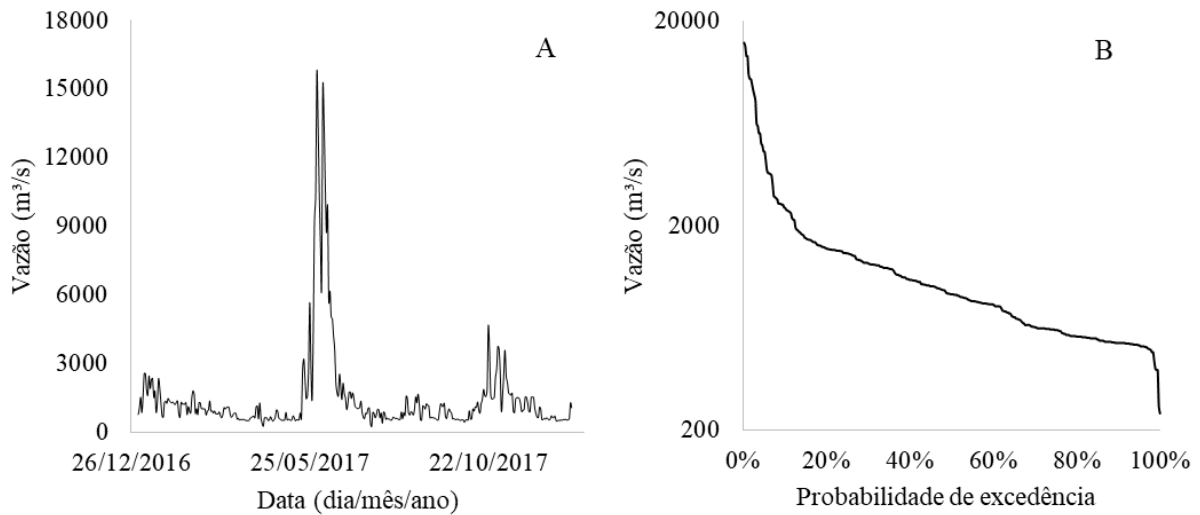
Esta, também, é a metodologia utilizada para o monitoramento convencional de um rio. O observador desloca-se até uma régua de medição e indica o nível do rio, esta informação é encaminhada à uma central de processamento de dados, onde este valor de nível será aplicado na equação de descarga e assim estimada a provável vazão daquele momento.

Este tipo de informação fluviométrica, cota, vazão e a configuração do canal no ponto de amostragem, para algumas estações encontra-se disponível para *download* no portal eletrônico Hidroweb da Agência Nacional de Águas (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>).

2.4.2.3 Curva de permanência

A curva de permanência, relaciona a vazão (Eixo das ordenadas) ou o nível de um rio e a porcentagem de tempo em que ela pode ser igualada ou superada (Eixo da abcissas). Isso permite a caracterização de diferentes rios, podendo ser estabelecida a relação entre a descarga e a magnitude dos eventos (CRUZ e TUCCI, 2008). Na representação gráfica (Figura 1) o pico máximo da curva de permanência é a vazão de descarga máxima registrada e o ponto mais baixo é o de menor vazão historicamente verificada.

Figura 1 – Hidrograma de vazões do ano de 2017 (A) e sua respectiva curva de permanência (B), dados coletados pela estação fluviométrica de Iraí (74100000 – Agência Nacional de Águas)



Como formas de determinação da curva de permanência, utiliza-se uma metodologia empírica, baseada em observações, na qual deve-se atribuir uma probabilidade (p) de excedência para cada vazão (q) registrada (CRUZ e TUCCI, 2008; TUCCI, 2012) (Equação 01):

$$p = 1 - F_Q(q) \quad (01)$$

Sendo:

p = probabilidade de excedência;

$F_Q(q)$ = função densidade cumulativa de probabilidade das vazões.

Na prática atribui-se um número de ordem para cada vazão organizada de forma decrescente, então é realizado o cálculo de probabilidade (P_i) aplicando a função de Weibull (Equação 02) que utiliza a posição de cada vazão em relação ao seu número de ordem:

$$P_i = \frac{i}{n + 1} \quad (02)$$

De maneira que i seja o valor do i ésimo valor ordenado de vazão e n o número total de dados ordenados.

2.4.2.4 Indicadores de Alteração Hidrológica, o Software (IHA)

A partir da expansão das obras hidrelétricas no Brasil em 1960, os pesquisadores iniciaram estudos que permitissem identificar as alterações que ocorrem com a perturbação do fluxo natural do rio decorrente das obras. Os estudos tiveram como fundamento a certeza que se tinha da relação da sazonalidade com a diversidade dos ecossistemas ribeirinhos e de várzea.

Para realizar o estudo das alterações hidrológicas, uma metodologia que se destaca é a desenvolvida por Richter et al. (1996), a qual, em 2009, tornou-se um *software* elaborado pela *The Nature Conservancy* (TNC) (gratuitamente disponibilizado em: <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Pages/IHA-Software-Download.aspx>). Esse modelo analisa de forma estatística as variações que ocorrem em diversos parâmetros indicativos do fluxo dos corpos hídricos. Para isso, o *software* IHA separa o regime de vazão em cinco grupos estatísticos: a magnitude, a duração, a periodicidade, a frequência e a taxa de alteração do fluxo.

Utilizando o método IHA para analisar a variabilidade sub diária provocada pela operação do barramento de Gangkouwan (CH) (1974–2000 / 2002–2012), Chen et al. (2014) optaram por utilizar apenas os primeiros 3 grupos de indicadores disponibilizados pelo *software*, magnitude das condições de vazão mensal, magnitude e duração das vazões anuais extremas, e, momento de ocorrência das vazões anuais extremas. Os autores verificaram alterações sub diárias em alguns parâmetros, indicando uma escala horária de mudança, foi verificado também uma abrupta alteração da distribuição e frequência dos eventos, no pós UHE

Frederice e Brandão (2016) utilizaram o método IHA para identificar as alterações ocorridas no regime de vazões dos principais rios da bacia do Rio Piracicaba, atribuindo, principalmente, as alterações à implantação dos reservatórios do Sistema Cantareira (1973, 1974, 1975 e 1982). Para definição do ano de alteração as séries foram submetidas ao teste de Pettit. Verificaram que, no geral, houve uma diminuição nas vazões médias principalmente no período seco (abril a setembro).

As vazões no Rio Paraguaçu, depois da instalação de um barramento hidrelétrico (1986), passaram a ser fortemente influenciadas pela operação da UHE. O impacto foi intensificado, principalmente pelas regras operacionais adotadas pela barramento, a qual variou três vezes durante o período utilizado para análise (1987 a 2012). Genz e Lessa (2015), utilizam o método IHA para cada período operacional, e puderam indicar drásticas alterações no regime de fluxo,

o qual no pós UHE mantém uma vazão 32 % menor do que no período pré-barramento (1947-1986).

Para aplicação do método IHA, de forma automática, a série histórica deve ser importada para o *software*, este a reconhece e dela são separados os diversos parâmetros de fluxo necessários para cada tipo de análise. Além da estatística básica da série (máximas, médias, medianas, mínimas, e percentis), o *software* gera a curva de permanência, separa os componentes de fluxo indicativos de períodos críticos e possibilita a comparação entre o período prévio e posterior a alguma alteração ocorrida na área de estudo. As análises mais utilizadas para efeito comparativo são a curva de permanência e o RVA (*Range Variability Approach*), a exemplo de Poersch (2018), Rocha (2010), Souza et al. (2017) e Zuo e Liang (2015).

O RVA nada mais é do que a indicação de categorias de alteração, dos dados pós perturbação, com relação ao período prévio. Essas categorias são definidas por meio dos percentuais dos valores calculados para cada um dos 33 parâmetros, por ano hidrológico. A categoria RVA baixa é representada pelos valores menores ou iguais ao percentil 33°, a categoria RVA média pelos valores compreendidos entre o 34° a 67° percentil e na categoria RVA alta os valores acima do percentil 67° (FREDERICE e BRANDÃO 2016; TNC, 2009).

Assim sendo, o fator de alteração hidrológica (HA) é calculado para cada uma das três categorias de cada parâmetro, isso calculado com base na frequência esperada (FE) com que os valores do período pós-impacto deveriam enquadrar-se em cada categoria (igual a frequência do período pré impacto) e na frequência com que eles realmente enquadraram-se (FO) em cada categoria, conforme Equação (03) (TNC, 2009).

$$HA = (FO - FE)/FE \quad (03)$$

Onde:

HA= Fator de alteração hidrológica, podendo ser apresentado em porcentagem, multiplicando-o por cem;

FE= Frequência esperada, é o número de valores na categoria (alta, média ou baixa) durante o período pré impacto multiplicado pela razão entre o número de anos do período pós impacto e o número de anos do pré impacto.

FO= Frequência observada, representa o número de vezes (anos) em que os valores dos parâmetros IHA encontram-se em cada categoria no período pós impacto.

Salienta-se ainda que, o RVA de cada fator de alteração pode apresentar-se positivo ou negativo. Os valores positivos, indicam que a frequência dos valores na categoria aumentou entre o período anterior e o posterior ao impacto; valores negativos indicam que a frequência dos valores diminuiu (TNC, 2009).

Dentre as críticas à metodologia é relevante citar a incerteza dos resultados, visto que os processos hidrológicos são extremamente complexos e variam de acordo com as inúmeras características da bacia estudada, sendo que a análise de apenas um componente (vazão) torna as conclusões superficiais (PEÑAS et al., 2016). Outra crítica tem relação à discretização dos dados utilizados, visto que o método indica a utilização de dados diários, porém, a operação de barragens, em geral, origina oscilações sub diárias, as quais podem não ser visualizadas quando utilizadas informações nesse formato (BEVELHIMER et al., 2014; WHITE et al., 2005; ZIMMERMAM, 2010).

2.5 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a porção final da região do médio alto Uruguai, da bacia hidrográfica do Rio Uruguai, e está compreendida entre a Usina Hidrelétrica de Foz do Chapecó (Alpestre/RS) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS), distantes cerca de 140 km entre si (Figura 2).

O clima da região é subtropical úmido, com temperatura média entre os 20 °C e 23 °C. O regime pluviométrico é equilibrado e bem distribuído durante ano, ainda que possa haver elevada precipitação nos meses de inverno, a média mantém-se entre 1700 mm e 1900 mm (ROSSATO, 2014).

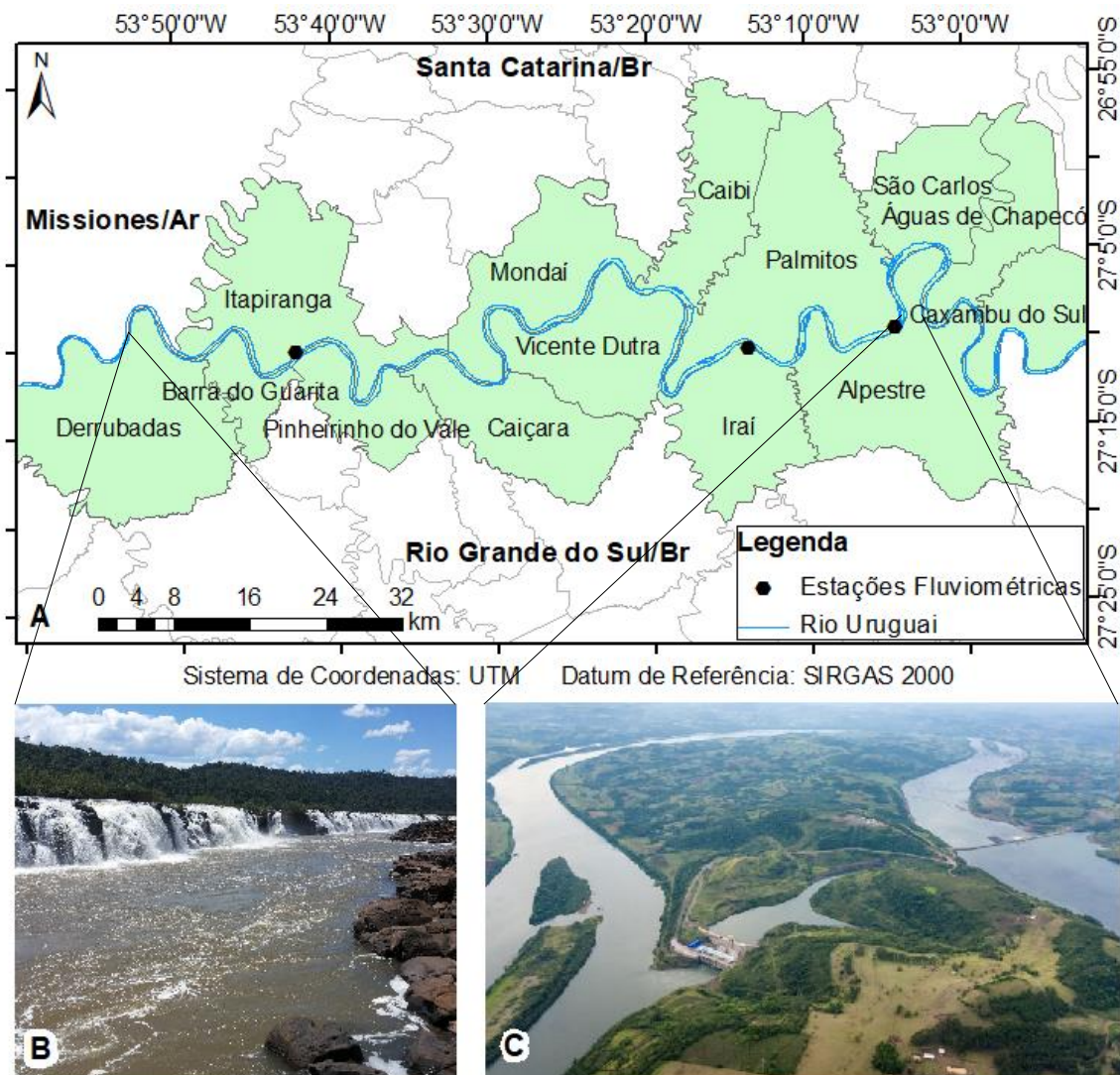
A Bacia do Rio Uruguai é uma das formações geológicas nacionais mais recentes, toda sua drenagem (385000 km²), é formada inicialmente pela confluência dos Rios Pelotas e Canoas, e contribui para a formação do Rio da Prata na fronteira entre o Uruguai e a Argentina (ZIOBER et al., 2014). O Rio Uruguai, principal curso da bacia possui cerca de 2200 km de comprimento e uma vazão média de 5200 m³.s⁻¹, sua sessão nacional divide os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e o estado do Rio Grande do Sul (Brasil), e a província de Misiones (República Argentina) (Figura 2) (ANA, 2012; FUENTES et al., 2016).

Estima-se que vivam na bacia cerca de 3,8 milhões de pessoas em um total de 384 municípios, na maioria de pequeno e médio porte. A bacia corresponde a apenas 2 % do território nacional, mas as suas potencialidades quanto a produção agroindustrial e hidro

energética a tornam foco de grandes investimentos (MMA, 2006; MOTTER e FOLETTTO, 2010).

Apenas na porção nacional da bacia do Rio Uruguai, a montante da desembocadura do Rio Peri-Guaçu (SC), o Rio Uruguai e afluentes apresentam um potencial de produção energética de 12816 MW, dos quais 5693 MW estão instalados. A proximidade da bacia dos grandes centros industriais da região sudeste, as dimensões dos rios e a topografia constituída por planaltos e vales da Formação Geológica Serra Geral, fomenta a utilização dos recurso hídrico para produção de energia hidrelétrica (FRAGA e VIANNA, 2014; SEMA, 2011).

Figura 2 – Trecho do Rio Uruguai entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre- RS/ Águas de Chapecó-SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS), localizado no trecho transnacional do Rio Uruguai, que divide o Brasil da Argentina



Fonte: A) Construído a partir de IBGE, 2017; B) Pasini, 2018; C) Divulgação Foz do Chapecó Energia S.A.

2.5.1 O Parque Estadual do Turvo

Às margens do Rio Uruguai, na porção noroeste do estado do RS, encontra-se o Parque Estadual do Turvo (PET), a primeira unidade de conservação constituída no estado, em 1947, a qual possui uma área florestada de 17500 ha. O parque é classificado como uma Unidade de Conservação Integral e, segundo a Lei Federal 9985/2000, que rege as Unidades de Conservação, é permitido apenas o uso indireto de seus recursos, sendo autorizadas ações de educação ambiental, pesquisa científica e turismo regrado (RIGO, 2014; SEMA, 2005).

É no PET que está localizado o Salto do Yucumã, a maior queda longitudinal do mundo, com 1800 metros de extensão e quedas que chegam a atingir de 12 a 15 metros de altura. No interior do parque, estima-se que o canal principal do Rio Uruguai apresente uma profundidade variável entre 90 e 120 m (RIGO, 2014).

Essa área de conservação é a maior atração turística da região, além de ser um importante local de pesquisa, do meio biótico (BALBINOT et al., 2016; MELLER e ROCHA, 2016; ROCHA et al., 2014; ZIOBER et al., 2015) e abiótico (GAIDA et al., 2014; PALAVRO, 2015; PASINI, 2016) principalmente no que se refere a diversidade da fauna e flora. Dentre os principais problemas apresentados no seu Plano de Manejo destaca-se o impacto dos projetos de aproveitamento hidrelétrico, além da caça e da extração ilegal de recursos madeireiros (SEMA, 2005).

A problemática em torno do aproveitamento do potencial hidrelétrico do Rio Uruguai é, entre outros, a alteração do regime natural de vazão. No trecho do Salto do Yucumã ocorre um estreitamento do rio devido as quedas serem longitudinais ao leito do rio, e a largura do canal diminui de 1/3 a 1/4 em relação à largura normal do rio (cerca de 500 m) observado à montante do Parque. Nesse trecho, pequenos eventos de cheias sejam suficientes para que ocorram transbordamentos (IRIONDO e KROHLING, 2008).

2.5.2 A implantação da UHE Foz do Chapecó

A construção da UHE Foz do Chapecó foi uma das obras prioritárias do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), sendo necessários cerca de 2,64 bilhões de reais, oriundos principalmente do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), para a sua construção (WINCKLER e RENK, 2014). A obra foi instalada com a finalidade de dotar o país de recurso energético e fomentar a retomada do seu crescimento.

Os estudos iniciais datam de 1983, quando foi confirmado o potencial hídrico para geração energética (ENGEVIX, 2000). Em 2001 a empresa Foz do Chapecó Energia S.A. (FCE) tornou-se responsável pela UHE e em 2006 iniciou a implantação do canteiro de obras. A construção durou até 2010 quando foi obtida a licença de operação e iniciada a geração de energia (FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA S.A, 2017).

A barragem da UHE tem 598 m de comprimento, 48 m de altura e uma área alagada de 79,2 km². Em pleno funcionamento possui uma potência instalada de 855 MW. A sua inauguração ocorreu no dia 30/12/2010 e a última turbina iniciou a operação em março de 2011 (FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA S.A, 2017; WINCKLER e RENK, 2014).

A área de influência do lago da UHE foi definida como sendo toda área contribuinte da bacia hidrográfica do Rio Uruguai, sendo limitada a montante pela estrutura de barramento pré existente, a UHE Itá, distante cerca de 122 km. Entre os barramentos estão localizadas seis cidades catarinenses (Itá, Paial, Chapecó, Guatambu, Caxambu do Sul e Águas do Chapecó) e seis cidades gaúchas (Itatiba, Erval Grande, Faxinalzinho, Nonoai, Rio dos Índios e Alpestre) (ENGEVIX, 2000).

Quanto ao impacto fluvial ocasionado pela UHE Foz do Chapecó, seu Estudo de Impacto Ambiental cita que: “No caso deste reservatório a alteração de regime restringe-se a área a montante, pois o mesmo opera a fio d’água sem alterar a sazonalidade a jusante” (ENGEVIX, 2000). No entanto, Godoi et al. (2009) estudaram esse trecho do rio (antes da influência da UHE Foz do Chapecó) e indicam que a UHE Itá (também possui reservatório a fio d’água), no mínimo, impactava as vazões de jusante até a estação fluviométrica de Iraí, pois não haviam dados na sequência do rio para continuidade da avaliação.

Estudos referentes à qualidade da água de jusante não foram realizados (exceto para a área da alça de vazão reduzida), pois o EIA afirma que “não é necessário devido a água possuir um tempo de residência médio de 24 dias” (ENGEVIX, 2000).

2.6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) **Sistema de Monitoramento Hidrológico por Satélite: HidroSat**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://hidrosat.ana.gov.br/>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) **Sistema de Monitoramento Hidrológico por Telemetria**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://gestorpcd.ana.gov.br/Mapa.aspx>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**, Brasília, 2018. Disponível em: < <http://conjuntura.ana.gov.br/>> Acesso em: 27 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil**. Brasília 2012. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/PanoramaAguasSuperficiaisPortugues.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema de monitoramento hidrológico: Hidroweb**. Brasília 2019. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>> Acesso em: 19 jan. 2019.

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**, v. 7, n. 2, p. 284-299, 2018.

BAI, T. et al. Ecological risk assessment based on IHA-RVA in the lower Xiaolangdi reservoir under changed hydrological situation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 100, p. 1755-1315, 2017.

BALBINOT, R. et al. Análise fitossociológica de um fragmento de Floresta Estacional Decidual: Parque Estadual do Turvo, RS. **Pesquisa Florestal Brasileira (Online)**, v. 36, n.86, p. 103-113, 2016.

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**, v. 31, n. 7, p. 867–879, 2014.

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

BRASIL. Lei Federal Nº 9.984, DE 17 DE JULHO DE 2000. Institui o Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA. **Diário Oficial da União**, Brasília DF, 19 jul. 2000. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm> Acesso em: 18 jan. 2019.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm> Acesso em: 18 jan. 2019.

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> Acesso em: 27 jan. 2019.

CHEN, Q. et al. Downstream effects of a hydropeaking dam on ecohydrological conditions at subdaily to monthly time scales. **Ecological Engineering**, v. 77, p. 40–50, 2015.

COLLISCHONN, W. et al. **Em busca do hidrograma ecológico**. In: José Nilson Campos. (Org.). Recursos Hídricos: Jovem Pesquisador 2005. Fortaleza: ABRH, p. 421-453, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) Resolução N° 237 de 19 de Dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, p. 30841-30843, 1997. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>> Acesso em: 27 jan. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**, p. 2548-2549, 1986. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf> Acesso em: 27 jan. 2019.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.; CRUZ, R. C. **Estudos preliminares**, IN SILVEIRA, G. L. e CRUZ, J. C. Seleção Ambiental de barragens: Análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica, Editora UFSM, RS. p.91-102, 2005.

CRUZ, J. C; TUCCI, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 01, p. 111-124, 2008.

ENGEVIX/DESENVIX EMPREENDIMENTOS/Ltda. **Estudo de Impacto Ambiental UHE Foz do Chapecó**. (8517/00-6B-RL-0001-025) Fev. 2000.

FAN, H.; HE, D.; WANG, H. Environmental consequences of damming the mainstream Lancang-Mekong River: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 146, p. 77–91, 2015.

FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA S.A. **Histórico do Empreendimento**, Alpestre, 2019. Disponível em: <<http://www.fozdochapeco.com.br/>>. Acesso em 18 fev. 2019.

FRAGA, R. G.; VIANNA, J. N. **Integração energética na América do Sul**: o caso do complexo hidrelétrico de Garabi. In: Dorfman, A.; Sánches, C. I. P.; Moreno, S. Y. F. (Org.). Planos geoestratégicos, migrações e deslocamentos forçados no continente americano. ed. 1 Porto Alegre: Editora Letra 1. p. 75-94, 2014.

FREDERICE, A.; BRANDÃO, J. L. B. Efeito do Sistema Cantareira sobre o regime de vazões na bacia do Rio Piracicaba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 4, p. 797-810, 2016.

FUENTES, C. M. et al. Downstream passage of fish larvae at the salto grande dam on the uruguay river. **River research and applications**, v. 32, n. 9, p. 1879-1889, 2016.

GAIDA, W. et al. Avaliação da topografia do Parque Estadual do Turvo, RS, utilizando o modelo digital de elevação ASTER GDEM. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 26,

Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 5, Expositiva, 25, 2014, Gramado. **Anais...** Gramado, 2014, p. 1-15.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. –São Paulo: Blucher, 1988.

GENZ, F.; LESSA, G. C. Twenty-six years of uneven changes in low flows due to different uses and operation of a large dam in a semiarid river. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20 n. 2, p. 523 – 532, 2015.

GODOI, F. G. et al. 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, 2009, Campo Grande, MS, Brasil **Anais...** Campo Grande, MS. 2009, p.1-10.

HAAS, N. A. et al. Analysis of Daily Peaking and Run-of-River Operations with Flow Variability Metrics, Considering Subdaily to Seasonal Time Scales. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 6, p. 1622–1640, 2014.

HE, D. et al. Transboundary hydrological effect of hydropower dam construction on the Lancang River. **Chinese Science Bulletin**, v. 51, 16-24. 2006.

IRIONDO, M. Y.; KROHLING, D. Cambios ambientales en la cuenca del río Uruguay, desde los mil años hasta el Presente. **Colección Ciencia y Técnica**, Ediciones UNL Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe-Ar, p.358, 2008.

KHALIG, M. N. et al. Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers. **Journal of Hydrology**, v. 368, p. 117-130, 2009.

MELLER, D. A.; ROCHA, M. C. Primeiro registro documentado do araraçu-castanho *Pteroglossus castanotis* (Piciformes: Ramphastidae) para o Rio Grande do Sul, Brasil. **Atualidades Ornitológicas**, São Paulo: v. 158, p. 10-10, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai**. Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006. Disponível em :< http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011023025.pdf > Acesso em: 27 jan. 2019.

MOTTER, A. F. C.; FOLETO, E. M. Um olhar sobre a gestão dos recursos hídricos: o caso do comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica dos Rios Santa Rosa, Santo Cristo e Turvo - noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Perspectiva**, v. 34, n. 126, p. 143-155, 2010.

NAGUETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM. 552 p. 2007.

OLDEN, J. D.; POFF, N. L. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. **River Research and Applications**, v. 19, n. 2. p. 101–121, 2003.

OLIVEIRA, F. A. et al. Uso de modelo hidrodinâmico para determinação da vazão a partir de medições de nível. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 4, p. 707-718, 2016.

PALAVRO, N. **Avaliação do potencial de recarga do aquífero poroso em zona de floresta de mata atlântica do Parque Florestal Estadual do Turvo**. 2015. P. 70. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen, RS, 2015.

PASINI, F. **Abordagem de diferentes funções para extrapolação da curva de recessão do hidrograma de águas subterrâneas para cálculo de recarga em zona de floresta**. 2016. P. 61. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen, RS, 2016.

PEÑAS, F. J.; BARQUÍN, J.; ÁLVAREZ, B. C. Sources of variation in hydrological classifications: Time scale, flow series origin and classification procedure. **Journal of Hydrology**, v. 538, p. 487-499. 2016.

POERSCH, M. T. **Análise histórica das vazões do Rio Uruguai antes e após a instalação da UHE Foz do Chapecó**. 2018. p. 82. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen, RS, 2018.

RICHTER, B. D. et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. **Conservation Biology** v. 10, n. 4, p. 1163–1174. 1996.

RIGO, F. F. **Ecoturismo e sustentabilidade em Derrubadas/RS**. 2015. p. 23 Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Geografia), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí-RS, 2015.

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

ROCHA, M. C. et al. Seasonal, daily activity, and habitat use by three sympatric pit vipers (Serpentes, Viperidae) from southern Brazil. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 695-706, 2014.

ROCHA, P. C. O Regime de fluxo dos Rios Aguapeí e Peixe, Bacia do Alto Paraná/Brasil: Alterações e Formas de Impacto. In: Encontro de Geógrafos de América Latina, 12, 2009, Montevideo. **Anais...** Montevideo, UY, 2009, p. 1-12.

ROSSATO, M. S. Os **Climas do Rio Grande do Sul: tendências e tipologia**. In: Francisco Mendonça. (Org.). Os Climas do Sul: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais. 1ed. Jundiaí: Paco Editorial, p. 217-271. 2014.

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/pchcgh/Reg_Uruguai_fragilid_amb_hidr/FRA_GRIO_relatorio_etapa_2.pdf > Acesso em: 27 jan. 2019.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA - RS). **Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo**. Porto Alegre: Divisão de Unidades de Conservação do Estado do Rio Grande do Sul. 2005. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201610/24172430-plano-manejo-peturvo.pdf> > Acesso em: 27 jan. 2019.

SIQUEIRA, A. G. et al. Modificações fluviais à jusante de barragens. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 14, 2013, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**, Rio de Janeiro, RJ, 2013, p. 1-10.

SOUZA, N. S.; SOUZA, W. J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 22, n. 3, p. 453-462, 2017.

STEWARTSON, M. J.; WEBB, J. A.; HORNE, A. Environmental Flows and Eco-Hydrological Assessments in Rivers. **Decision Making in Water Resources Policy and Management**, p. 113–132. 2017.

TNC – THE NATURE CONSERVANCY. **Indicators of Hydrologic Alteration** Version 7.1: Manual do Usuário e Download do Software Disponível em: <<https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Pages/IHA-Software-Download.aspx> > Acesso em: 27 jan. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2012.

WHITE, M. A., SCHMIDT, J. C; TOPPING, D. T. Application of wavelet analysis for monitoring the hydrologic effects of dam operation: Glen Canyon Dam and the Colorado River at Lees Ferry, Arizona. **River research and applications**, v. 21, p. 551–565, 2005.

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**, v. 25, n. 2 p. 1-15, 2014.

ZIMMERMAN, J. K. H. et al. Determining the effects of dams on subdaily variation in river flows at a whole-basin scale. **River Research and Applications**, v. 26, n. 10, p. 1246–1260, 2010.

ZIOBER, S. R.; REYNALTE-TATAJE, D. A.; ZANIBONI-FILHO, E. The importance of a conservation unit in a subtropical basin for fish spawning and growth. **Environmental Biology of Fishes**, v. 98, n. 2, p. 725–737, 2014.

ZUO, Q.; LIANG, S. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, v. 368, p. 275–280, 2015.

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA HÍDRICA A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA DE FOZ DO CHAPECÓ LOCALIZADA NO RIO URUGUAI

Characterization of the hydrological dynamic in downstream of the hydroelectric power plant of Foz do Chapecó located in Uruguay River

Resumo

A instalação de empreendimentos que represam cursos d'água são responsáveis por alterações no regime natural de vazões. Como forma de identificar estas alterações tem-se a metodologia *Indicators of Hydrological Alteration* (IHA), sua aplicação utiliza apenas um dado diário, o que supõe-se que no caso de estudo, alterações relacionadas à operação da UHE Foz do Chapecó, não seja a forma mais adequada de aplicação. Desta forma, este estudo objetivou identificar em diferentes maneiras de amostragem a sensibilidade do método IHA ao caracterizar as alterações hidrológicas ocorridas em um ponto do Rio Uruguai, posterior a operação da UHE Foz do Chapecó. Para isso, foram utilizadas três séries históricas de dados, a série original de registros médios diários, uma série composta por dados máximos diários, e uma série composta pelos dados mínimos diários (1941-2018). As séries foram analisadas pelo *software* IHA o qual confrontou os registros anteriores com os posteriores à UHE, em cada série. Identificou-se a necessidade da utilização de dados mais discretos para este tipo de análise, visto a variabilidade em escala de minuto que ocorre dentro de um dia. A vazão no pós operação da UHE, mantém-se em 80% do período mais elevada. O método indica também, significativas alterações em alguns parâmetros representativos da vazão, medianas mensais, mínimas de 30 dias, número de pulsos altos, duração dos pulsos baixos e número de reversões. Conclui-se que a utilização da série original, que possui dados diários, não é a melhor forma de avaliação das alterações, pois apresenta de forma atenuada os impactos. O método IHA é sensível as alterações que vem ocorrendo no Rio Uruguai, e dentre elas, pode-se destacar a regularização do fluxo, a manutenção de vazões mais altas, e picos de cheia e estiagens com mais rápida reversão.

Palavras-Chave: Hidrodinâmica; Indicators of hydrological alteration; Vazão; fluviometria.

ABSTRACT

The installation of projects that impound watercourses is responsible for changes in the natural flow regime. As a way to identify these changes is the methodology *Indicators of Hydrological Alteration* (IHA), its application uses only a daily data, which supposes that in the case of study, changes related to the operation of HPP Foz do Chapecó, is not the most appropriate form of application. In this way, this study aimed to identify in different ways of sampling the sensitivity of the IHA method when characterizing the hydrological alterations occurred at a point in the Uruguay River after the operation of the HPP Foz do Chapecó. For this, three historical series of data were used, the original series of daily average records, a series composed of maximum daily data, and a series composed of the minimum daily data (1941-2018). The series were analyzed by the IHA software, which compared the previous and subsequent records to the HPP in each series. The need for the use of more discrete data for this type of analysis was identified, since the minute-scale variability that occurs within a day. The flow in the post-operation of the

HPP remains at 80 % of the highest period. The method also indicates significant changes in some representative parameters of the flow, monthly medians, minimum of 30 days, number of high pulses, duration of low pulses and number of reversals. It is concluded that the use of the original series, which has daily data, is not the best way of evaluating the changes since it presents a reduced impact. The IHA method is sensitive to the changes that have been occurring in the Uruguay River, among which we can highlight the regularization of flow, the maintenance of higher flows, and peaks of flood and droughts with more fast reversion.

Keywords: Hydrodynamic; Indicators of hydrological alteration; Flow; fluvimetry.

3.1 INTRODUÇÃO

O regime hidrológico dos rios possui um papel importante na manutenção dos ecossistemas aquáticos, vegetação ribeirinha e disponibilidade de água para outorga. As alterações provocadas pelas atividades humanas vem modificando consideravelmente o regime hidrológico de muitos cursos d'água, o que pode resultar em prejuízos a curto e longo prazo, como redução da disponibilidade hídrica e da biodiversidade (FAN et al., 2015).

Dentre as atividades com grande potencial de impacto, estão as barragens hidrelétricas, visto que sua operação consiste no represamento do curso hídrico e liberação desse volume de acordo com as demandas energéticas, criando regimes de fluxo artificiais, ao qual o ambiente não é adaptado (ALONSO et al., 2017).

Muitos fatores podem determinar a magnitude dos impactos da operação das barragens sobre a vazão de jusante, tais como, clima, geologia, função da barragem (produção de energia hidroelétrica, abastecimento de água, controle de cheias, etc), as regras de operação, a frequência de funcionamento (diária, semanal, sazonal e/ou anual), a capacidade do reservatório e o tipo de vertedouro (BEJARANO et al., 2017; SOUZA et al., 2017).

Os rios utilizados para a produção de energia hidrelétrica geralmente apresentam alteração de fluxo sub diário, resultando em vazões mais elevadas, mais rápidas e oscilações mais frequentes do que as que caracterizam rios de fluxo livre (BEJARANO et al., 2017). Além de causar alterações nos parâmetros hidráulicos tais como nível de água, velocidade de fluxo e tensão de cisalhamento do leito, também modificam a qualidade da água como, turbidez e temperatura, e a morfologia do rio (ALONSO et al., 2017; BEJARANO et al., 2017).

Portanto, a avaliação do impacto de barragens nos cursos hídricos é crucial para estimativas de disponibilidade hídrica, frequência de inundação e manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres ribeirinhos (MAILHOT et al., 2018). Essa problemática foi evidenciada nos últimos anos, que se destacam pela crescente substancial de estudos que abordam os impactos de jusante de barragens (ALONSO et al., 2017; BAI et al., 2017; BEJARANO et al.,

2017; BEVELHIMER et al., 2014; CHEN et al., 2015; HAAS et al., 2014; MAILHOT et al., 2018; PEÑAS et al., 2016; SOUZA et al., 2017).

Dentre as formas de avaliação tem-se como usual a metodologia IHA (*Indicators of Hydrological Alteration*) proposta por Richter et al. (1996), esta quando não utilizada para análise é tida como base para outras interpretações, as quais, além da informação fluviométrica utilizam dados diversos da bacia que circunda o corpo hídrico, conferindo ao estudo uma análise muito mais realista, mas também, mais onerosa (PEÑAS et al., 2016; ZUO e LIANG, 2015).

Dentre as abordagens mais utilizadas para este tipo de análise destacam-se as que utilizam séries de dados sub diários, os quais estão relacionados aos ciclos operacionais das UHE's, que por vezes podem ser mascarados quando a análise é realizada com dados diários (BEVELHIMER et al., 2014; CHEN et al., 2014; MAILHOT et al., 2018, ZIMMERMAN et al., 2010). Entretanto, os principais estudos nacionais ligados ao tema, utilizam séries diárias, visto que o Brasil ainda possui poucas estações com registro sub diário e as que possuem essa informação apresentam séries muito curtas para interpretação histórica (ROCHA, 2010; SILVA e TUCCI, 1998; SOUZA et al., 2017).

Neste caso, a região utilizada para análise dispõem de pouca base bibliográfica relacionada ao tema abordado, desta forma este estudo justifica-se pela necessidade de informações concretas a respeito da nova dinâmica hídrica da área de jusante da UHE Foz do Chapecó. Ainda, soma-se a isso os conflitos com a sociedade civil (Ação Civil Pública Nº 5000930-57.2010.404.7202/SC, 2010; Resolução Nº 49, de 17 de julho de 2018), relacionados à instalação e funcionamento da UHE Foz do Chapecó.

Este estudo teve por objetivo analisar a dinâmica hídrica (vazões) do Rio Uruguai à jusante da UHE, identificando o impacto ocasionado pela sua operação no regime hídrico do rio. Também, foi avaliada a sensibilidade do método IHA às diferentes periodicidades de medição de vazão, que configuram diferentes séries históricas disponibilizadas pela ANA para uma mesma estação fluviométrica.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

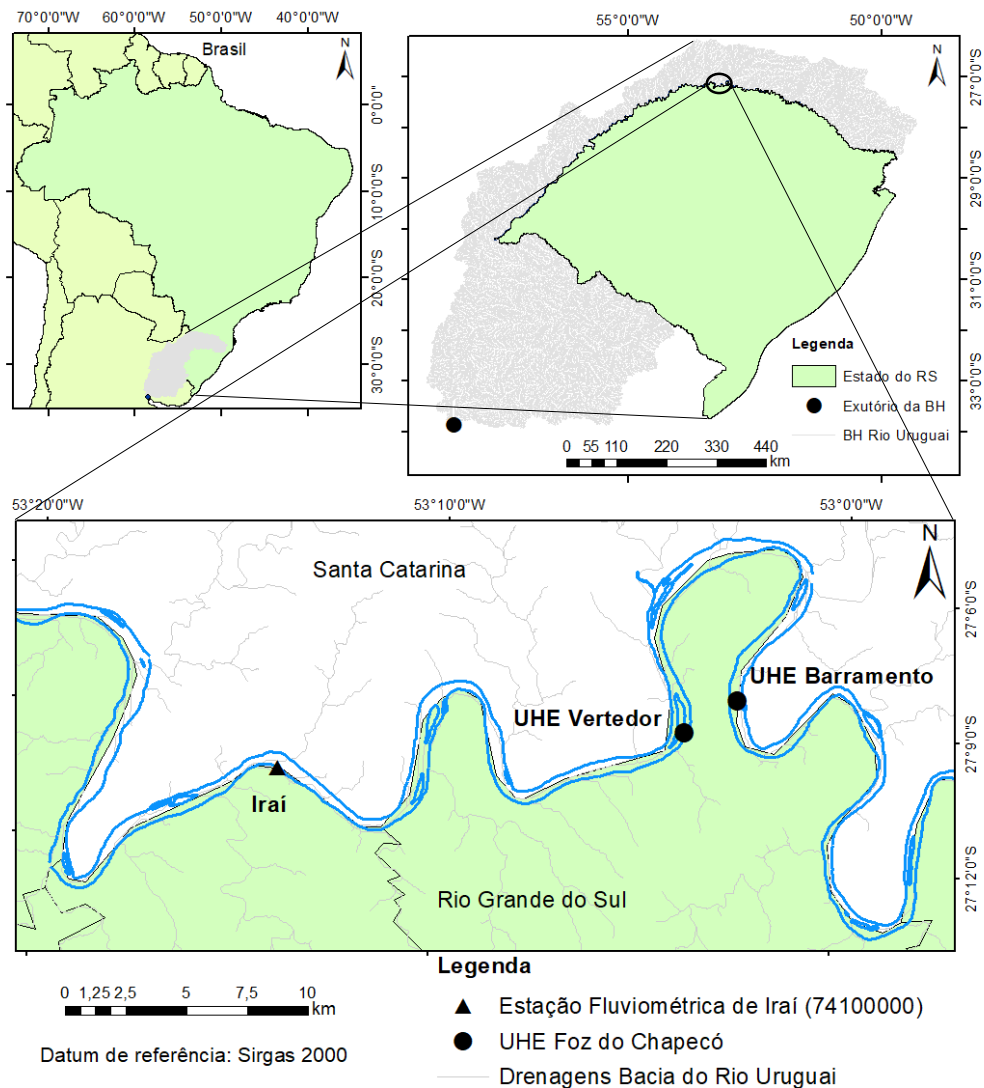
A UHE Foz do Chapecó, está instalada na porção do alto Rio Uruguai, na divisa entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 1), seu eixo encontra-se sob as coordenadas 27° 08' 22,75" S e 53° 02' 50,59" O. A Usina tem uma potência instalada de 855 MW, o que equivale a 25 % do consumo de energia do estado de Santa Catarina. O início das obras ocorreu em 2006 e se estendeu até 2011, sendo que no ano anterior (2010) já iniciou a operação (FRANÇA, 2017).

Na região, o Rio Uruguai é tido como o principal curso d'água, proporcionando diversas atividades à população ribeirinha (MOTTER e FOLETO, 2010). O seu canal, possui largura variável entre 400 e 700 m, por onde fluem em média $5200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. O Rio Uruguai corre por entre os vales formados por estruturas geológicas da Formação Serra Geral, que é constituída principalmente por derrames de basalto do período cretáceo (ANA, 2012; CPRM, 2006). A bacia possui baixa capacidade de retenção do fluxo e, portanto, sofre influência direta da precipitação, que apresenta distribuição homogênea durante o ano (WOLLMANN e SARTORI, 2010).

Para identificação das alterações hidrológicas que possam estar ocorrendo no Rio Uruguai, em decorrência da operação da UHE Foz do Chapecó, foi utilizado as séries históricas de dados de vazão do posto fluviométrico de Iraí-74100000 (27° 10' 32,16"S 53° 13' 46,92"O), distante cerca de 25 km da zona de descarga das turbinas da UHE, o qual está sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas e disponibilizadas nos sítios eletrônicos *Hidroweb* e Portal de Telemetria.

O posto fluviométrico de Iraí possui disponível para *download*: registros diários (jul/1941 – dez/2018), registros horários (set/2005 – jul/2015), registros 2 vezes ao dia (jul/2014 – dez/2018) e registros a cada 15 minutos (jan/2016 – dez/2018), resultando em um total de 77 anos de monitoramento. Salienta-se que, apenas os dados oriundos da série de registro diário são consistidos no período de 1941 a 2014.

Figura 1 – Mapa de localização do posto Fluviométrico de Iraí (74100000) e da porção da bacia hidrográfica do Rio Uruguai a jusante da UHE Foz do Chapecó



Fonte: Construído a partir de Marcuzzo et al. (2016) e IBGE (2017).

3.2.2 Análise da sensibilidade de parâmetros hidrológicos conferida pela discretização da série histórica

A fim de verificar a representatividade que cada forma de registro (15 minutos, 1 hora, 12 horas e diários) dá à série foi selecionado as máximas, médias e mínimas mensais do período histórico posterior à instalação da UHE (2010 – 2018) de cada uma das bases de dados, as quais foram sobrepostas e representadas em forma de hidrograma (Tempo x Vazão). A partir da

análise estatística foi possível observar, no agrupamento de um longo período (mês) as similaridades entre as séries.

Devido às distintas formas de coleta, convencional e telemetria, para verificar a qualidade dos dados brutos, estes foram organizados em planilha eletrônica de modo que fosse isolada a média diária de dois horários 7:00 e 17:00 horas, como feito de forma manual no monitoramento convencional. Para isso foi utilizado o período histórico posterior à instalação da UHE 2010 a 2018.

Ainda, foi realizada uma análise para verificar as diferenças entre os dados de vazão diários e os coletados com periodicidade de 15 minutos, dos quais foram comparados os percentis 25 75 e 95, a mediana, a média e o desvio padrão de cada conjunto de dados. Para isso foi selecionado o maior período da série de 15 minutos, sem falhas de amostragem, abril/2017 a março/2018 (onze meses) para realizar essa análise. Deste mesmo período foi verificado a resposta da vazão à precipitação registrada na estação pluviométrica instalada junto à fluviométrica (Iraí/74100000-ANA).

3.2.3 Reconstituição da série histórica e utilização do *software* IHA 7.1

A metodologia IHA consiste na análise estatística de componentes de fluxo que têm relevância ecológica (Tabela 1), os quais são unidos em 5 grupos de indicadores: magnitude, duração, periodicidade, frequência e taxa de alteração. Estes, depois de analisados e relacionados, permitem diversas interpretações a respeito do regime hídrico do curso d'água. Dos parâmetros utilizados pelo IHA, destaca-se os três dos grupo 5, menos usuais em estudos com esta finalidade. A Taxa de ascensão e a Taxa de recessão são resultantes de uma relação entre o tempo (dia) e o deslocamento (positivo/negativo) da vazão ($m^3.s^{-1}$) no hidrograma, já o Número de Reversões tem relação com a quantidade de vezes que o hidrograma passou de ascendente para descendente.

Tabela 1 – Parâmetros hidrológicos que apresentam relevância ecológica, agrupados estatisticamente pelo *software IHA*

| Grupo estatístico do IHA | Parâmetros hidrológicos |
|--|---|
| Grupo 1: Magnitude das condições de vazão mensais | 1-12. Valor médio (mediano) para cada mês do calendário |
| Grupo 2. Magnitude e duração das vazões anuais extremas | 13-17. Vazão mínima diária de 1, 3, 7, 30 e 90 dias |
| | 18-22. Vazão máxima diária de 1, 3,7,30 e 90 dias |
| | 23. Número de dias com vazão nula |
| | 24. Índice de fluxo de base |
| Grupo 3. Momento de ocorrência das vazões anuais extremas | 25. Dia Juliano de cada máxima de 1 dia anual |
| | 26. Dia Juliano de cada mínima de 1 dia anual |
| Grupo 4. Frequência e duração dos pulsos de vazões máximas e mínimas | 27. Número de pulsos de máxima em cada ano |
| | 28. Número de pulsos de mínima em cada ano |
| | 29. Duração média do pulso de máxima anual (dias) |
| | 30. Duração média do pulso de mínima anual (dias) |
| Grupo 5. Taxa e frequência de mudança no hidrograma | 31. Taxa de ascensão |
| | 32. Taxa de recessão |
| | 33. Número de reversões |

Fonte: Richter et al. (1996).

Partindo do pressuposto de que, para a gestão da bacia, há maior interesse na identificação dos picos de vazão extrema (máximas e mínimas) e de que quanto mais informações a série possuir melhor representará o fluxo real do curso d'água, optou-se por realizar uma reconstituição da série histórica mais longa (monitoramento diário). A reconstituição foi realizada da seguinte forma:

- 1) Em período prévio a operação da UHE (1941 - 2009) foi utilizado para análise uma série composta por dados: diários (jul/1941 – set/2005) e dados horários (set/2005 – dez/2009).
- 2) Já para o período posterior a operação da UHE (2010 – 2018) foi utilizado uma série composta por: dados com registro horário (jan/2010 – set/2015), registros duas vezes ao dia (set/2015 – ago/2016) e registros a cada 15 minutos (ago/2016 – dez/2018).

Salienta-se que quando verificado anormalidade nos dados de alguma das séries em decorrência de falhas de amostragem estes foram substituídos por dados da série anterior de maior discretização.

Considerando que o *software IHA* permite apenas a análise de uma informação diária, para verificar as discrepâncias de alteração das vazões que possam estar ocorrendo de forma sub diária, a análise foi realizada três vezes, uma para cada um dos conjuntos de dados:

- 1) Análise 1: Utilização da série de dados diários original, oriunda de uma média entre duas leituras diárias realizadas às 7 e às 17 horas de um mesmo dia, a partir de agora referida como série original;
- 2) Análise 2: Utilização da série de dados reconstituída, a qual a partir de 2005 passa a contar com mais de um dado diário, portanto, neste caso seleciona-se a mínima de cada dia, agora referida como série mínima; e,
- 3) Análise 3: Utilização da série de dados reconstituída, a qual a partir de 2005 passa a contar com mais de um dado diários, portanto, neste caso seleciona-se a máxima de cada dia, a partir daqui referida como série máxima.

A análise da série mínima e da série máxima, realizadas pelo *software* IHA, foram comparada com a análise da série original de dados diários, possibilitando a avaliação da representatividade dos dados diários em relação à inclusão de dados sub diários no cálculo estatístico. A comparação das distintas formas de amostragem ainda foi dividida em períodos anterior e posterior à UHE.

Os dias sem leitura foram excluídos da série, antes de ser importada para o *software*, salienta-se que o maior período sem registros ocorreu em 2015 (maio – setembro), que coincide com eventos hidrológicos de grande magnitude.

Ainda, o *software* permitiu a escolha de análise estatística, se paramétrica ou não-paramétrica e a determinação do período de início e fim do ano juliano. Considerou-se que, se distribuição normal recomenda-se uso de estatística paramétrica para análise e se a distribuição não apresentar normalidade, recomenda-se uso de estatística não paramétrica (NAGUETTINI e PINTO, 2007). O ano hidrológico foi definido como sendo o período compreendido entre 1 de julho a 30 de junho (POERSCH, 2018).

As três séries de dados (Série Original, Série Mínima e Série Máxima) foram analisadas no *software* de estatística *R*, onde foi verificado por meio de indicadores se a distribuição das séries é normal ou não, além de serem extraídos os parâmetros estatísticos básicos como: Mínima, 1º Quartil, Mediana, Média, 3º Quartil, Amplitude interquartil, Máxima, Variância, Desvio Padrão, Coeficiente de variação e Coeficiente de assimetria. Estes também foram utilizados como indicadores das alterações que vem ocorrendo no pós UHE das séries.

Dentre as análises que o *software* IHA 7.1 realiza, selecionou-se para interpretação, o deslocamento ocorrido na mediana e percentis históricos do hidrograma de vazões, pré e pós operação da UHE, a curva de permanência anual e a Taxa Aproximada de Variabilidade Natural - TAV (*Range Variability Approach - RVA*), sendo que esta compila os cinco grupos de

indicadores estatísticos apresentados na Tabela 1 e, determina para cada um uma taxa alta, média e baixa relacionada a vazão registrada e a esperada, de acordo com os dados pré UHE.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Análise da sensibilidade dos dados para indicação de alterações hidrológicas

A análise do agrupamento das máximas, médias e mínimas mensais, no período posterior à operação da UHE Foz do Chapecó, possibilitou identificar algumas discrepâncias entre as distintas formas de coleta da série, a cada 15 minutos, 1 hora, 12 horas e diárias. Por serem coletas realizadas em um mesmo ponto (27° 10' 32,16"S, 53° 13' 46,92"O), a estação fluviométrica de Iraí/RS (74100000), espera-se que as séries mantenham uma uniformidade de variação e as diferenças ocorram apenas na magnitude dos eventos hidrológicos.

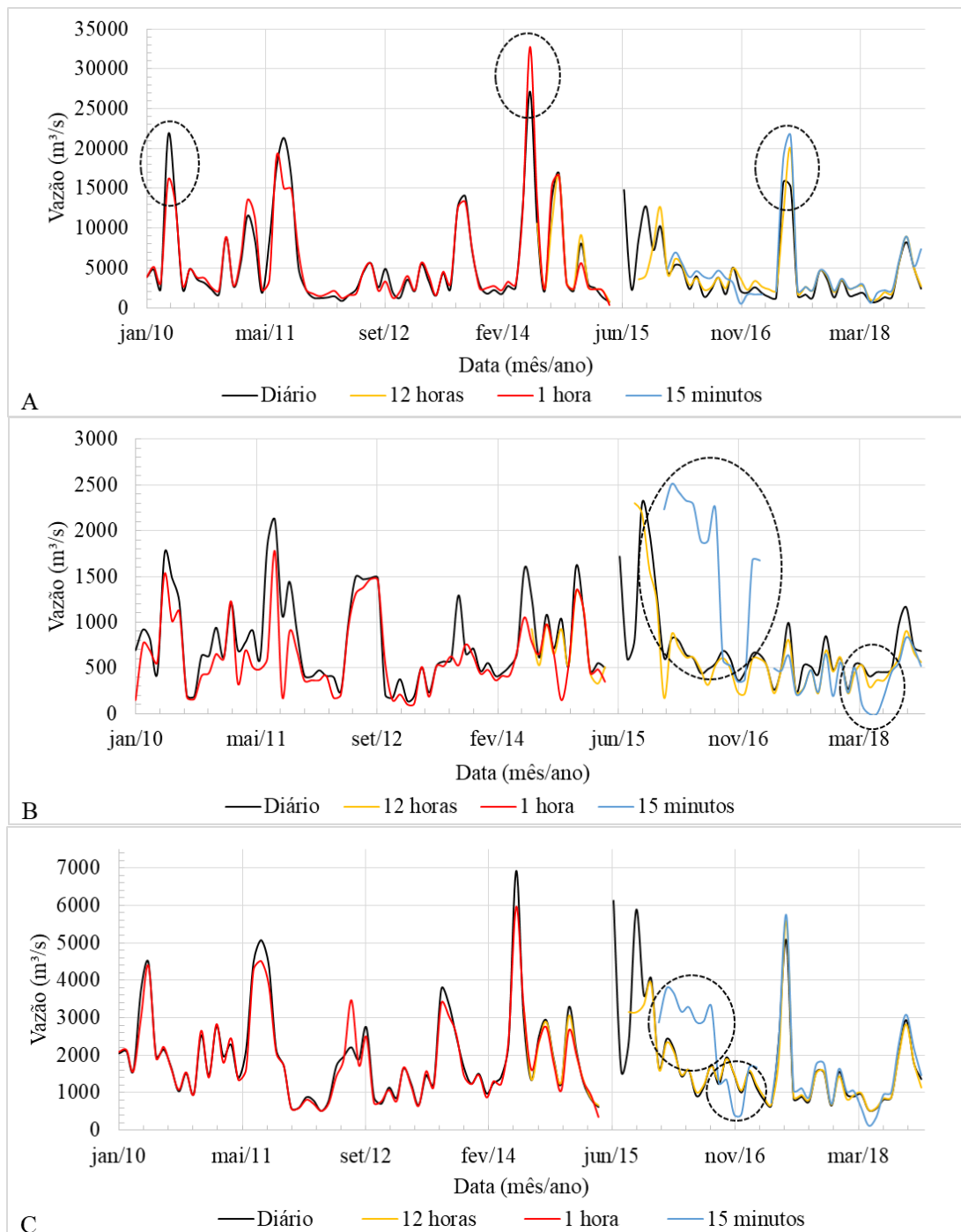
Nas séries de máximas mensais (Figura 2A) verifica-se que os dados das distintas formas de coleta mantêm semelhança entre si, sendo que as curvas seguem uma mesma tendência, demonstrando que a série de dados diários, mais antiga, possui boa representatividade dos grandes eventos hidrológicos que ocorrem no rio, a respeito do que é visualizado nos eventos ocorridos em: abr/2010, em que a vazão diária é $5626,89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mais alta que a horária; em jun/2014, onde a vazão horária é $6603,55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mais alta do que a diária; e, em jun/2017 quando a vazão registrada a cada 15 minutos é $1663,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mais alta que a registrada a cada 12 horas e $6414,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mais elevada que a vazão apresentada nos dados com coleta diárias.

Nas séries de mínimas mensais (Figura 2B), os dados com discretização sub diária, se mantêm normalmente com vazão inferior à verificada nos dados diários, portanto, é possível indicar que eventos de extrema estiagem podem estar sendo sub representados, quando a análise utilizar apenas dados diários.

Destas séries, destaca-se ainda os dados coletados com distância temporal de 15 minutos, os quais apresentam grande diferença nos registros de vazão, com relação às demais formas de coleta, esta é evidenciada dos períodos de jan/2016 a ago/2016, nov/2016 a abr/2017 e abr/2018 a jun/2018. Em jul/2016, por exemplo, a série com registros a cada 12 horas possui vazão $1574,26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mais baixa que a série com registros a cada 15 minutos. Outro exemplo é

jun/2018 quando a vazão registrada a cada 15 minutos é de $0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, enquanto a vazão da série diária é de $455,61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

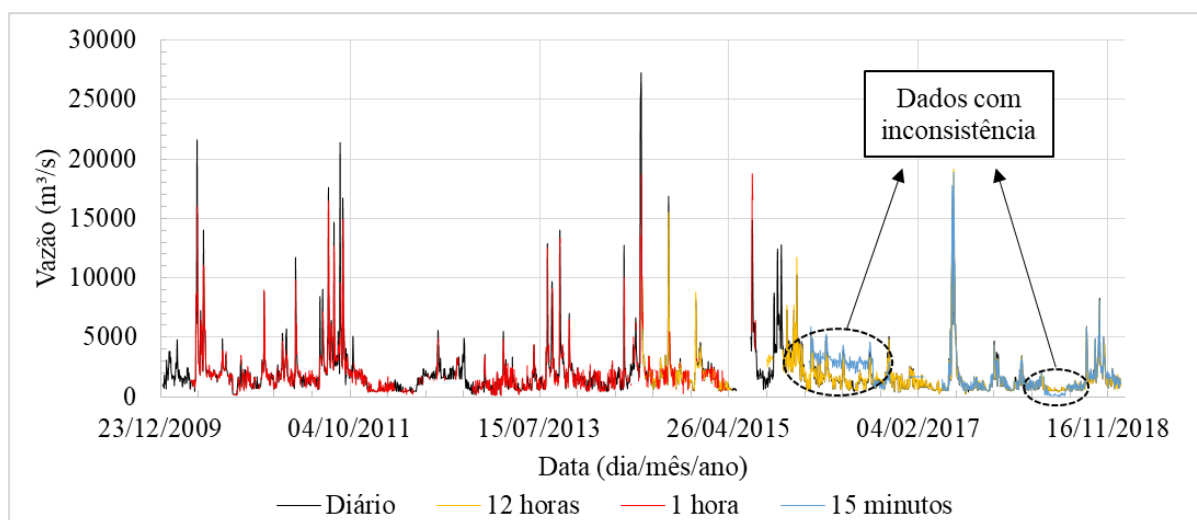
Figura 2 – Hidrograma das vazões mensais registradas no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000) do período 2010 a 2018, contemplando o monitoramento diários e com periodicidade de 12 horas, 1 hora e 15 minutos: A) Hidrograma de vazões máximas mensais; B) Hidrograma de vazões mínimas mensais; C) Hidrograma de vazões médias mensais



Quando avaliadas as séries de médias mensais (Figura 2C), verifica-se que em praticamente todo o período os dados de vazão se sobrepõem, com exceção da série de dados coletados com discretização de 15 minutos no período de jan/2016 a dez/2016, onde, em mai/2016 apresentam uma vazão $1678,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mais elevada e em dez/2016 $633,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mais baixa que a série com registros a cada 12 h.

As discrepâncias verificadas na Figura 2 provavelmente são decorrentes de falhas no sensor, não corrigidas por se tratarem de dados brutos, essa inconsistência também foi identificada na Figura 3, que compila a média diária de apenas dois horários, 7:00 e 17:00 horas, nas séries com mais de uma leitura diária.

Figura 3 – Hidrograma das vazões coletadas pela estação fluviométrica de Iraí (74100000/ANA) no rio Uruguai no período de Jan/2010 a Dez/2018. Sendo representado a série original de dados diários e os valores resultantes das média entre as 7:00 e as 17:00 horas, das séries com coleta a cada 12 horas, 1 hora e 15 minutos

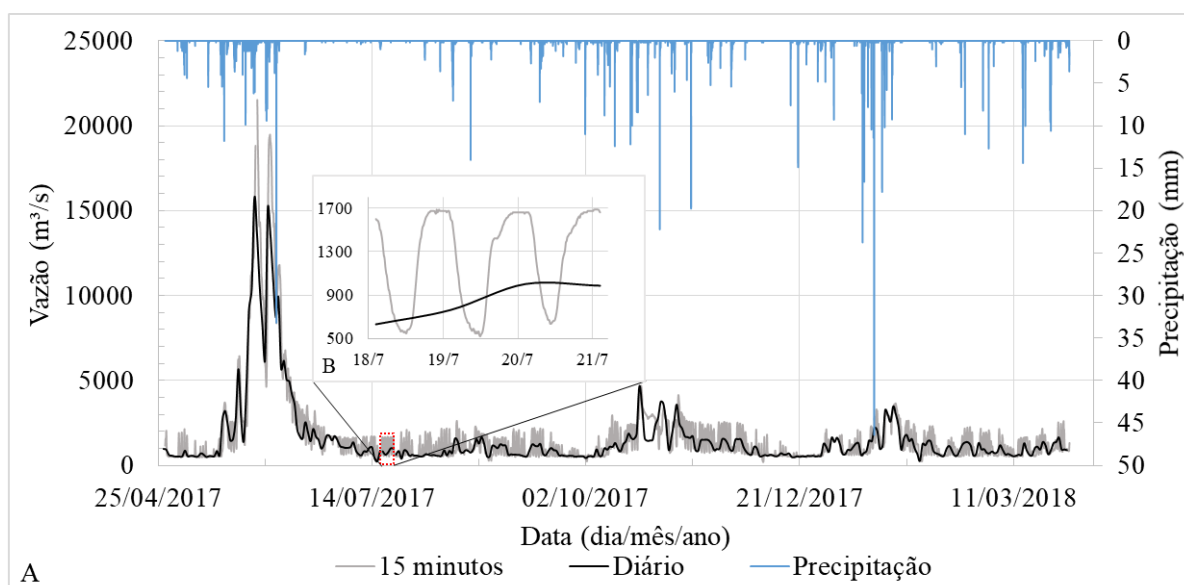


Utilizar dados com erros pode induzir a uma incorreta interpretação dos resultados exportados pelo *software* IHA, portanto, os períodos da série de 15 minutos em foi verificado um comportamento incoerente para a dinâmica do canal fluvial (ver períodos substituídos em Figura 3) foram substituídos pelos registros da série de coleta a cada 12 horas, para as análises posteriores.

Quando a representação gráfica é realizada em escala de curto período (variações diárias e sub diárias) a indicação da necessidade de utilização de dados com a maior discretização possível é verificada, para o local de estudo, quanto mais discretos são os dados maior o grau

de detalhamento das alterações nas máximas e mínimas que vem ocorrendo. Verifica-se na Figura 4 que, dados diários subestimam as alterações ocorridas no curso d'água, ainda que haja baixa amplitude de mudança.

Figura 4 – A) Hidrograma das vazões registradas no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000) comparando duas formas de monitoramento no período de abril/2017 a março/2018, registros diários e registros a cada 15 minutos; B) Ampliação dos registros entre os dias 19/07/2017 e 21/07/2017



As variações de fluxo sub diário, resultantes da operação de barragens, são geradas por lançamentos cronometrados do volume represado para atender as demandas de energia e preços que variam em escalas de tempo horárias, diárias, semanais e sazonais. As vazões, mínima e máxima estão frequentemente dentro da faixa anual do fluxo natural do rio, a problemática, em casos como este, se refere à dinâmica temporal em que isso ocorre (BEVELHIMER et al., 2014).

Portanto, no caso da UHE Foz do Chapecó, dados diários subestimam as máximas que ocorrem dentro do período de 24 horas, e as mínimas, não representando corretamente os extremos da oscilação das vazões, que se observam nos dados sub diários. No entanto quando realizada estatística dos dados apresentados na Figura 4, Bevelhimer et al. (2014), estão corretos quanto ao fato de que as oscilações sub diárias podem não aparecer na estatística anual.

Dos parâmetros estatísticos analisados na Tabela 2, há baixa amplitude nos valores das séries. No percentil 25, as séries diferem apenas em $4,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no cálculo da mediana a série

com coleta a cada 15 minutos mantém uma vazão $100,36 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ mais alta, já no cálculo do percentil 95 a série de dados diários é que possui uma vazão $244,89 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ mais alta.

Tabela 2 – Análise estatística de vazões do Rio Uruguai, observadas na estação fluviométrica de Iraí (74100000- Agência Nacional de Águas) entre o período de abril/2017 a março/2018. Monitorado com registros diários e a cada 15 minutos

| Registro | 25 % | Mediana | Média | 75 % | 95 % | Desv. Padrão |
|------------|--------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| Diário | 621,96 | 941,12 | 1544,78 | 1473,84 | 4667,06 | 2085,91 |
| 15 minutos | 617,82 | 1041,48 | 1724,86 | 1837,87 | 4422,16 | 2349,77 |

No percentil 75 as vazões são as mais divergentes, possuindo a série com registros a cada 15 minutos uma vazão $364,03 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ mais elevada com relação à série de dados com registro diário, a qual está relacionada à sensibilidade da série aos pequenos pulsos de elevação.

Quanto a influência que a precipitação causa às oscilações da série de 15 minutos, nos dados utilizados para a Figura 4 (abril/2017 a março/2018) foi verificado uma correlação de fraca (0,030) entre a precipitação e a vazão registradas do período.

As análises das séries apresentadas como série máxima e série mínima (que consideram os dados sub diários) têm tendência a representar com maior precisão os extremos do regime hídrico real do Rio Uruguai, quando comparado com a série histórica de vazão diárias (Série Original) do Rio Uruguai (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos verificados na série original de dados diários e nas séries reconstituídas que utilizam as máximas e as mínimas de dados sub diários de vazão para representar a variação diária, nos períodos prévio e posterior à operação da UHE Foz do Chapecó. As séries são referentes às coletas realizadas no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000), em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

| | Pré UHE Série Original | Pós UHE Série Original | Pré UHE Série Mínima | Pós UHE Série Mínima | Pré UHE Série Máxima | Pós UHE Série Máxima |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Mínima | 35,00 | 141,00 | 35,00 | 102,00 | 35,00 | 113,00 |
| 1° Quartil | 555,00 | 865,50 | 548,00 | 627,00 | 564,00 | 1274,00 |
| Mediana | 974,00 | 1461,00 | 964,00 | 989,00 | 990,00 | 1981,00 |
| Média | 1620,00 | 1897,90 | 1600,00 | 1531,00 | 1662,00 | 2317,00 |
| 3° Quartil | 1870,00 | 2111,50 | 1852,00 | 1864,00 | 1889,00 | 2451,00 |
| Amplitude interquartil | 1315,00 | 1246,00 | 1304,00 | 1237,00 | 1325,00 | 1177,00 |
| Máxima | 44834,00 | 27170,00 | 44834,00 | 32773,00 | 44834,00 | 32773,00 |
| Variância | 4366090,00 | 4109495,00 | 4268562,00 | 3087924,00 | 4953240,00 | 5118599,00 |
| Desvio padrão | 2089,52 | 2.027,19 | 2066,05 | 1757,20 | 2225,59 | 2.262,43 |
| Coefficiente de variação | 128,96 | 106,81 | 129,14 | 114,80 | 133,93 | 97,63 |
| Coefficiente de assimetria | 5,39 | 5,14 | 5,49 | 6,08 | 5,54 | 5,38 |

Os dados prévios à operação da UHE são semelhantes em ambas séries, isto porque apenas em 2005 há disponibilização de dados coletados de forma sub diária que se acoplam à série original (dados diários). Ainda assim é possível identificar que a série original promove um achatamento do hidrograma, para isso verifica-se que, tanto o coeficiente de variação, quanto o coeficiente de assimetria das séries mínima (129,14 e 5,49) e máxima (133,93 e 5,54) são maiores do que da série original (128,96 e 5,39), configurando, portanto, à série original de dados diários maior simetria.

É evidenciada a importância de utilizar uma série reconstituída com dados sub diários quando é analisado o período pós operação da UHE. A vazão mínima registrada na série de mínimas é $39 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ menor do que na série original, já a vazão máxima registrada na série de máximas é $5603 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ maior do que a registrada na série original.

Outra informação que chama a atenção, relacionada à distribuição dos dados da série, é o coeficiente de variação, os dados mais homogêneos são verificados na série de máximas (97,63), o que também remete a indicação de que vazões altas são recorrentes no pós UHE. Por fim, o coeficiente de assimetria, indica que a série de mínimas possui maior alteridade (6,08),

seguindo a mesma indicação da amplitude interquartil ($1237 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), que representa a distância entre o 1º e o 3º quartil da série, neste caso sendo a maior registrada no pós UHE.

Comparando apenas a série original, em período anterior e posterior à instalação, podem ser extraídas informações interessantes, a vazão mínima registrada foi de $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e no pós UHE de $141 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a máxima registrada era de $44834 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e agora é de $27170 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. E, quando analisados os parâmetros de dispersão da série original pré e pós UHE, verifica-se que a dispersão dos dados mantém-se mais próxima dos valores médios, configurando um achatamento no hidrograma.

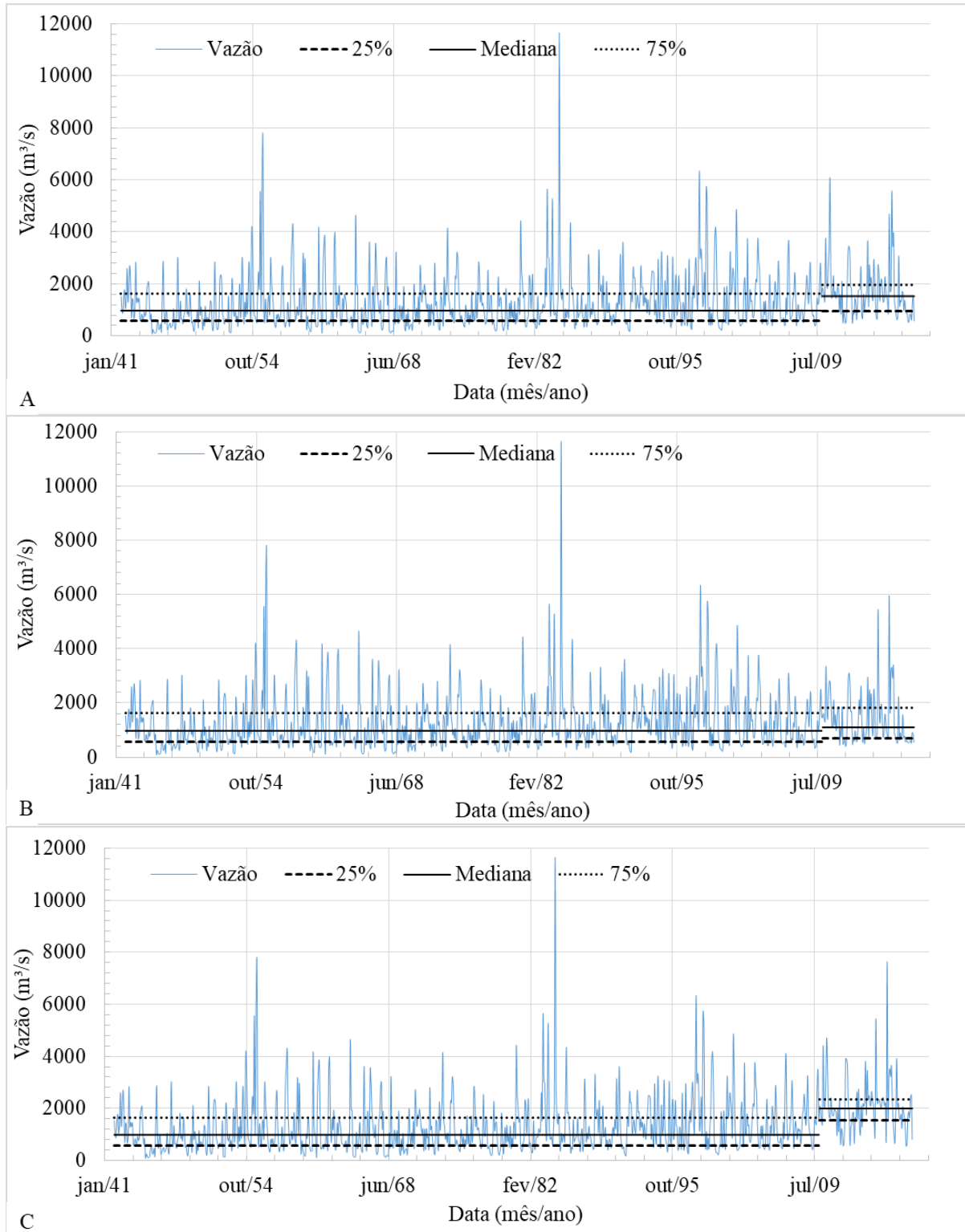
Salienta-se que a série pré UHE possui 68 anos e a pós UHE apenas 9 anos, e se as alterações forem analisadas em escala de tempo maiores as questões aqui levantadas podem ser irrelevantes. Porém, para o objetivo deste estudo, alterações pós instalação de um empreendimento hidrelétrico a série de dados é suficientemente ampla, se comparada, com as análises de impacto realizadas para casos semelhantes por Chen et al. (2015) que usam 11 anos no pós operação da UHE; Bai et al. (2017) que utilizam apenas 6 anos para análise posterior à alteração; e, Souza et al. (2017) que utilizam 5 anos de monitoramento. Em todos os casos os autores confirmam as alterações no regime hídrico onde se instalou o empreendimento.

O coeficiente de assimetria, em todas as séries mantém-se entorno de 5 positivo, o que indica que o rol de dados é assimétrico e apresenta a cauda do histograma voltada à esquerda, o que configura uma série de distribuição exponencial positiva, ou seja, que não segue normalidade de distribuição (NAGUETTINI e PINTO, 2007).

3.3.2 Alterações hidrológicas verificadas pelo software IHA

As análises do *Software* IHA corroboram com o que foi constatado no item 3.3.1 (Tabela 3). A série de dados originais (Figura 5A) indica que a mediana é mais elevada no período pós UHE do que no período anterior à instalação ($557,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Quanto as séries reconstituídas, série mínima e série máxima, (Figura 5B e 5C, respectivamente) elas também indicam uma vazão regularizada e permanentemente mais elevada em comparação com o período antecedente à operação da UHE; porém, a maior discrepância ocorre quando analisada a série de máximas, a qual apresenta uma mediana deslocada de $984,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (período prévio) para $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (período posterior), ou seja, uma vazão $1015,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ maior.

Figura 5 – Hidrograma de vazões indicando a mediana e o percentil 25 e 75 do período histórico de dados (1941 - 2017) coletados pelo posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000): A) Hidrograma da série original; B) Hidrograma da série mínima; C) Hidrograma da série máxima



No entanto as alterações verificadas nas medianas das séries podem estar associadas à diversas causas, e não podem exclusivamente serem indicadas como resultado da instalação e operação da UHE Foz do chapecó. Dentre as possíveis causas é válido citar a dinâmica social de ocupação e urbanização das margens do curso hídrico, crescente no última década, os barramentos à montante e o efeito cascata provocado por eles e ainda, alterações no regime pluviométrico. Sendo este último apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Precipitação total anual registrada na estação pluviométrica 74100000 de Iraí/RS

| Período Pré UHE | Total precipitado (mm) | Período Pós UHE | Total precipitado (mm) |
|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| 1996 | 2139,3 | 2010 | 1853,9 |
| 1997 | 2283,0 | 2011 | 1913,3 |
| 1998 | 2690,4 | 2012 | 1495,2 |
| 1999 | 1445,0 | 2013 | 1854,2 |
| 2000 | 1813,8 | 2014 | 2415,2 |
| 2001 | 1171,4 | 2015 | 2164,4 |
| 2002 | 1939,0 | 2016 | 1787,8 |
| 2003 | 1540,7 | 2017 | 2356,1 |
| 2004 | 1349,8 | 2018 | 1835,3 |
| 2005 | 1963,2 | Média | 1963,9 |
| 2006 | 1287,5 | | |
| 2007 | 1366,7 | | |
| 2008 | 1552,3 | | |
| 2009 | 1026,8 | | |
| Média | 1683,5 | | |

Verifica-se que a precipitação registrada na estação pluviométrica de Iraí, anterior à UHE (1996 a 2009) era, em média, de 1683,5 mm anuais e no período posterior a UHE (2010-2018) passou a ser de 1963,9 mm, ocorrendo um aumento de 280,4 mm. Este aumento corrobora com a ideia de que as modificações verificadas nas medianas das vazões, pode ter múltiplas causas, inclusive a variação pluviométrica.

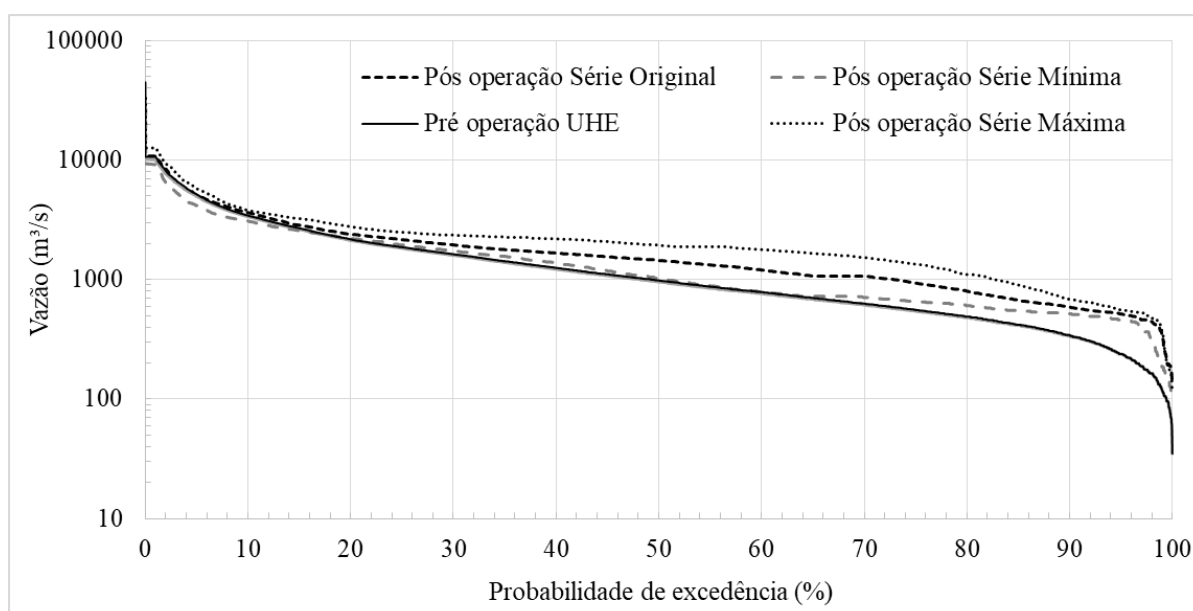
Outra forma de interpretação da série de vazão é por meio da curva de permanência (Figura 6), a qual é considerada uma ferramenta importante para análise da disponibilidade hídrica (CRUZ e TUCCI, 2008).

A análise da curva de permanência remete a situação atual e anterior à operação da UHE (Figura 6), nota-se que no período posterior, as vazões, tanto na série original, quanto na de máximas e mínimas, apresentam-se mais elevadas em mais de 80 % do período, quando

comparadas às vazões registradas antes da operação da UHE. Verifica-se também que no período prévio à operação da UHE as vazões atingiam valores mínimos inferiores aos registrados após a implantação da obra.

Quando verifica-se as diferenças entre a série original e as reconstituídas, identifica-se que no período prévio à operação da hidrelétrica as séries se sobrepõem (devido a isso a representação única da curva na Figura 6).

Figura 6 – Curvas de permanência do Rio Uruguai elaborada com dados coletados no posto fluviométrico de Iraí/RS (74100000) Períodos pré operação da UHE Foz do Chapecó (1941 - 2009), pós operação da UHE (2010 - 2018), e curvas das séries originais, máximas e mínimas. Cálculos realizados pelo *software* IHA 7.1



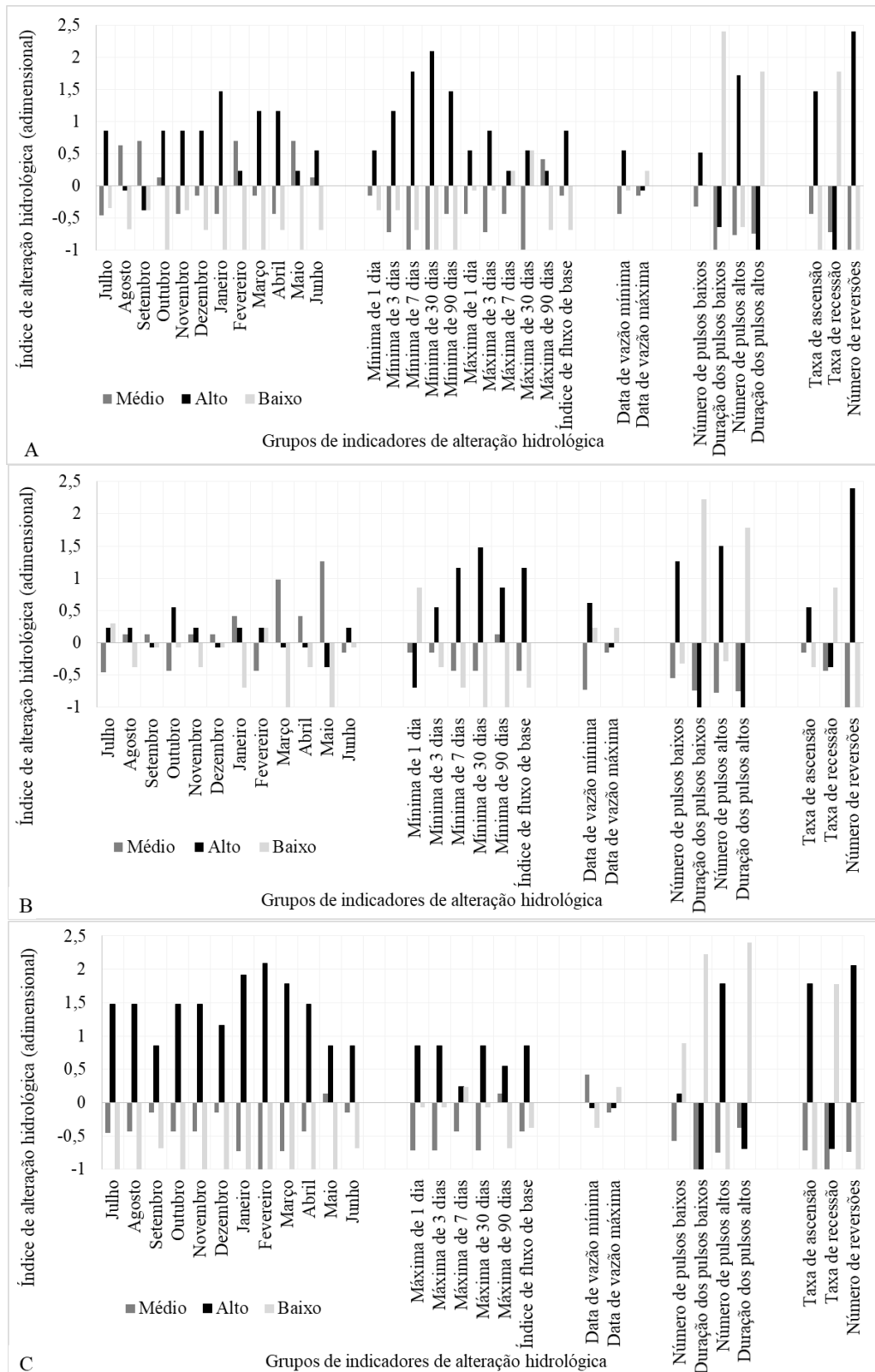
No pós UHE quando há ocorrência de grandes vazões, verifica-se que a série de máximas mantém-se permanentemente elevada e a de mínimas destaca-se das demais, representando vazão abaixo do indicado inclusive da série anterior à UHE. O que representa que eventos extremos ainda ocorrem, mas a regularização causada pelo barramento faz com que o fluxo mantenha-se mais baixo e subitamente ocorram os picos, provenientes da abertura dos vertedores.

A UHE possui baixa capacidade de regularização, isso afeta diretamente as vazões em período de estiagem, porém, quando há precipitações de maior intensidade, os vertedores são abertos, a fim de liberar a quantia excedente de água acumulada, e por isso os picos de altas vazões aproximam-se em todas séries. As séries pós UHE apresentam, entre a probabilidade de

10 % e 90 %, curvas com suave inclinação, o que indica uma regularização do fluxo, esse fenômeno também é identificado por Haas et al. (2014) e Souza et al. (2017).

O incremento do fluxo é observado na análise da Taxa de Aproximação da Variabilidade Natural (TAV), adimensional, que é indicada pelo IHA para cada um dos cinco grupos (Figura 6). Essa taxa atribui para cada parâmetro hidrológico uma classificação, alta, média e baixa, relativa a alteração ocorrida, e para cada classe um índice (adimensional) representando o quão significativa foi a alteração.

Figura 7 – Taxa de alteração do regime hídrico do Rio Uruguai após a instalação da UHE Foz do Chapecó (2010-2018) com relação ao período de dados prévios à operação (1941 -2009). Dados coletados pela estação fluviométrica de Iraí/RS (74100000). A) Série de dados original. B) Série de dados reconstituída composta de mínimas. C) Série de dados reconstituída composta de máximas



A operação de reservatórios de água para abastecimento geralmente reduz a variabilidade hídrica a jusante, já a construção de barragens hidrelétricas tende a aumentar as variações de fluxo, sendo esta correspondente à demanda energética (STEWARDSON, et al., 2017; ALONSO et al., 2017). O novo regime de vazão, no caso da UHE Foz do Chapecó, resultou em alterações hidrológicas evidenciadas nos grupos de indicadores destacados a seguir:

- Grupo 1 - Magnitude das condições de vazão mensal:

As medianas mensais alteraram-se consideravelmente nas três séries analisadas (dados originais, mínimas e máximas). Na série de mínimas verificam-se as menores alterações, o que pode ser atribuído ao fato dos dados serem os que mais se aproximam dos registrados no pré UHE, como foi verificado na curva de permanência (Figura 6).

A série de máximas indica as maiores alterações caracterizadas como positivas de TAV alto, e negativas de TAV médio e baixo, demonstrando o aumento da frequência de vazões consideradas altas, o que se refere à alteração de valores extremos, como efeito da regularização. Na série original, janeiro (mês de verão) é o que mais destaca-se dos demais, apresentando TAV alto positivo, com índice de alteração hidrológica de 2,09.

Nas séries original e máximas todos os meses do ano apresentam TAV baixo negativo, ou seja, os valores das séries passaram a ser mais altos em todos os meses do ano, ainda que os índices de alteração, na série de máximas sejam maiores, dez meses apresentam índice de alteração hidrológica -1, enquanto na série original apenas cinco meses apresentam este índice (-1).

- Grupo 2 - Magnitude e duração das vazões anuais extremas:

Com relação aos eventos extremos, na série de mínimas verifica-se apenas baixo impacto positivo nas vazões mínimas de 1 dia (houve aumento de registros de vazões baixas), nas demais há impacto caracterizado como de TAV alto positivo. O que indica que existem estiagens, porém elas são menos prolongadas.

Na série original há impacto caracterizado como TAV alto em todas as vazões mínimas (1, 3, 7, 30 e 90 dias consecutivos), indicando que as vazões mantêm-se normalmente mais altas. O impacto acentua-se na mínima de 7 e 30 dias consecutivos, que apresentam índice de alteração hidrológica de 1,78 e 2,1, respectivamente, e é menos relevante na mínima de 1 e 3 dias, que apresentam índices de alteração de 0,55 e 1,16, respectivamente, o que corrobora com a ideia de que as estiagens não se prolongam mais, como naturalmente ocorria.

Quanto às vazões máximas (1, 3, 7, 30 e 90 dias consecutivos), na série máxima, possuem uma menor representatividade quanto à alteração, seus índices de alteração hidrológica

que não chegam a 1,0, entende-se, portanto, que as vazões mais altas não foram significativamente alteradas. Tal constatação assemelha-se à feita na série original.

Quanto ao índice de fluxo de base, que representa o escoamento subterrâneo servindo como mantenedor do nível curso hídrico em épocas de estiagem, a série original e de máximas apresentam o mesmo índice de alteração hidrológica positivo para o TAV alto (0,85). A série original e a série de mínimas apresentam o mesmo índice de alteração hidrológica negativo para o TAV baixo (-0,69).

- Grupo 3- Momento de ocorrência das vazões anuais extremas:

A grande dimensão do Rio Uruguai impossibilita a existência de dias com vazão zero, portanto, os dias sem registro foram excluídos da análise e conseqüentemente esse indicador também (Tabela 1: Parâmetro 23). Ao contabilizar os dias (dia do ano juliano) de vazão mínima e máxima das séries, o *software* indica semelhança entre as análises, e todas possuem baixa representatividade por terem índices em torno de 0,5. Ou seja, ainda ocorrem picos de vazão máxima e mínima nos mesmos períodos que nos prévios à operação da UHE, porém, essa informação reflete apenas o momento de ocorrência e não a duração dos eventos, que no caso deste estudo vem sendo indicado como um dos principais impactos.

- Grupo 4- Frequência e duração dos pulsos de vazões máximas e mínimas:

Na série original e mínima o indicador “número de pulsos baixos” é caracterizado como TAV alto positivo, com maior ênfase para a série de mínimas, que apresenta índice de alteração hidrológica de 1,27, ou seja, ocorreu um aumento da quantidade dos pulsos de baixas vazões, ainda que o rio mantém-se com uma vazão mais alta na maior parte do tempo.

Quanto ao indicador “Duração dos pulsos baixos”, as séries original e de mínimas apresentam TAV baixo positivo, com indicador de alteração hidrológica de 2,4 e 2,22, respectivamente, verificando-se então que as estiagens tornaram-se mais intensas com a instalação da UHE Foz do Chapecó, por agora, a usina regularizar a vazão.

O indicador “número de pulsos altos” nas séries original e de máximas é representado como possuindo TAV alto positivo, com indicadores de alteração hidrológica de 1,72 e 1,78, respectivamente, demonstrando que no pós UHE os registros de elevadas vazão são mais constantes. E o indicador “duração dos pulsos altos”, caracterizados nessas mesmas séries, original e de máximas, como de TAV baixo, com indicador de alteração hidrológica de 1,78 e 2,4, respectivamente, indicando, assim como na duração dos pulsos baixos, a capacidade de regularização que a operação da UHE provoca no rio, impedindo a manutenção de vazões extremas.

- Grupo 5- Taxa e frequência de mudanças no hidrograma:

O grupo 5 divide-se em três indicadores, taxa de ascensão, de recessão e número de reversões. A série original e de máximas possuem taxa de ascensão caracterizada como de TAV alta positiva, indicando portanto, que no período posterior à operação da UHE Foz do Chapecó, as vazões crescem de forma rápida, já para a taxa de recessão, essas mesmas séries, possuem um impacto de TAV baixo positivo, que refere-se ao rio diminuir sua vazão com uma velocidade menor do que no período anterior a operação da UHE, fruto da regularização provocada pelo reservatório. O que corrobora com a indicação da manutenção das vazões normalmente mais elevadas.

Por fim, o número de reversões nas três séries, de máximas, mínimas e original, fica caracterizado como de TAV alto positivo, indicando haver maior variabilidade da vazão após a operação da UHE, mesmo estes mantendo-se mais elevados.

3.4 CONCLUSÃO

No período posterior à operação da UHE Foz do Chapecó a vazão do Rio Uruguai, monitorada na estação fluviométrica de Iraí, apresentou grande variabilidade temporal, alterando-se em escala sub horária. Assim sendo, dentre as séries históricas disponibilizadas pela ANA para a análise da dinâmica atual da variabilidade das vazões do rio Uruguai, a coleta a cada 15 minutos apresenta com maior precisão às oscilações e ciclos dos pulsos de vazão resultantes da operação da UHE. No entanto, para a análise histórica do regime hídrico, devido às lacunas e discrepâncias entre as amostragens (em janeiro a dezembro de 2016 e abril a junho de 2018), a série diária apresenta-se mais adequada devido ao nível de consistência dos dados.

Dentre os impactos que foram verificados no ponto de amostragem de vazão do Rio Uruguai, destacam-se: aumento da variabilidade sub diária da descarga de vazão, a regularização do fluxo com a manutenção de vazões mais elevadas, mais frequente ocorrência de picos de cheia e estiagens, que apresentam, entretanto, mais rápida reversão.

As análises utilizando o software IHA mostram-se eficientes para caracterização das alterações que ocorrem no ponto de amostragem, no Rio Uruguai, no entanto, foi possível identificar que a série de registros diários (original), expressa de forma atenuada os reais impactos no regime de vazão, que são mais precisamente registrados, com periodicidade sub horária, na estação fluviométrica de Iraí.

3.5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil**. Brasília 2012. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/PanoramaAguasSuperficiaisPortugues.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

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/Kujrw0TZC2Mb/content/id/31889469> Acesso em: 27 jan. 2019.

ALONSO, C. et al. Graphical approach to characterize sub-daily flow regimes and evaluate its alterations due to hydropeaking. **Science of The Total Environment**, n. 574, p. 532–543, 2017.

BAI, T. et al. Ecological risk assessment based on IHA-RVA in the lower Xiaolangdi reservoir under changed hydrological situation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, n. 100, p. 1755-1315, 2017.

BEJARANO, M. D. et al. Characterizing effects of hydropower plants on sub-daily flow regimes, **Journal of Hydrology**, n. 550, p. 186-200. 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**, v. 31, n. 7, p. 867–879, 2014.

CHEN, Q. et al. Downstream effects of a hydropeaking dam on ecohydrological conditions at subdaily to monthly time scales. **Ecological Engineering**, n. 77, p. 40–50, 2015.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do estado do Rio Grande do Sul**, Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2006.

CRUZ, J. C; TUCCI, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 01, p. 111-124, 2008.

FAN, H.; HE, D.; WANG, H. Environmental consequences of damming the mainstream Lancang-Mekong River: A review. **Earth-Science Reviews**, n. 146, p. 77–91, 2015.

FRANÇA, J. **Mapeamento das áreas de suscetibilidade e risco de inundação de trecho do Rio Uruguai no município de São Carlos – SC**. 2017, p. 82. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. 2017.

HAAS, N. A. et al. Analysis of Daily Peaking and Run-of-River Operations with Flow Variability Metrics, Considering Subdaily to Seasonal Time Scales. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 6, p. 1622–1640, 2014.

MAILHOT, A. et al. Assessing the potential impacts of dam operation on daily flow at ungauged river reaches. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 18, 156–167. 2018.

MARCUZZO, F. F. N.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B. Bacia Hidrográfica Internacional do Rio Uruguai e Consistência dos Seus Divisores de Água na Escala 1:3.000. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48, 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia, 2016. v. 1. p. 1-1.

MOTTER, A. F. C.; FOLETO, E. M. Um olhar sobre a gestão dos recursos hídricos: o caso do comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica dos Rios Santa Rosa, Santo Cristo e Turvo - noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Perspectiva**, v. 34, n. 126, p. 143-155, 2010.

NAGUETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM. 552 p. 2007.

PEÑAS, F. J.; BARQUÍN, J.; ÁLVAREZ, B. C. Sources of variation in hydrological classifications: Time scale, flow series origin and classification procedure. **Journal of Hydrology**, n. 538, p. 487-499. 2016.

POERSCH, M. T. **Análise histórica das vazões do Rio Uruguai antes e após a instalação da UHE Foz do Chapecó**. 2018. p. 82. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen, RS, 2018.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Áustria: the R Foundation for Statistical Computing. 2011. ISBN: 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>> Acesso em: 15/08/2018.

RICHTER, B. D. et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. **Conservation Biology** v. 10, n. 4, p. 1163–1174. 1996.

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

SILVA, E. A.; TUCCI, C. E. M. Relação entre as vazões máximas diária e instantânea. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, p. 133-151. 1998.

SOUZA, N. S.; SOUZA, W. J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 22, n. 3, p. 453-462, 2017.

STEWARTSON, M. J; WEBB, J. A.; HORNE, A. Environmental Flows and Eco-Hydrological Assessments in Rivers. **Decision Making in Water Resources Policy and Management**, p. 113–132. 2017.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE SANTA CATARINA (STJ-SC). **Ação Civil Pública** Nº 5000930-57.2010.404.7202/SC, 2010. Disponível em: < <https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/16062111/sls-1271>> Acesso em: 27 jan. 2019.

TNC – THE NATURE CONSERVANCY. (2009) **Indicators of Hydrologic Alteration** Version 7.1: Manual do Usuário e Download do Software Disponível em: < <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Pages/IHA-Software-Download.aspx> > Acesso em: 27 jan. 2019.

WOLLMANN, C. A.; SARTORI, M. G. B, A nebulosidade como fator condicionante à percepção da pluviometria anual pela população urbana e rural de São Sebastião do Caí/RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, n. 01, p. 01-06, 2010.

ZIMMERMAN, J. K. H. et al. Determining the effects of dams on subdaily variation in river flows at a whole-basin scale. **River Research and Applications**, v. 26, n. 10, p. 1246–1260, 2010.

ZUO, Q.; LIANG, S. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, n. 368, p. 275–280, 2015.

CAPÍTULO III – PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE FLUXO PROVOCADAS PELA UHE FOZ DO CHAPECÓ NO TRECHO ENTRE A USINA E O PARQUE ESTADUAL DO TURVO

Propagation of the flow waves caused by the Foz do Chapecó HPP in the tract between of the power plant and the Turve State Park

Resumo

A instalação e operação de uma usina hidrelétrica está sujeita a causar diversos impactos ao ambiente natural, podendo estes serem acentuados de acordo com as condições do meio. A bacia do Rio Uruguai possui diversos pontos de aproveitamento hidrelétrico, este trabalho trata do barramento hidrelétrico de Foz do Chapecó, e objetivou verificar o padrão de escoamento fluvial decorrente da operação da UHE no regime hídrico (níveis) do Rio Uruguai, no trecho compreendido entre a usina e o Parque Estadual do Turvo. Para isso foram coletadas, no período de 18/2/18 a 11/3/18, informações fluviométricas e pluviométricas em quatro pontos ao longo da drenagem. A precipitação foi cruzada com a cota para verificar a influência que possui. Dos dados de nível foram isoladas as características comuns de todas as ondas de elevação verificadas nesse período, estas informações serviram como base para construção de um modelo de onda representativo do padrão do escoamento do rio. Com as análises realizadas foi possível identificar, durante o período de estudo, a baixa influência da precipitação na variação sub diária dos níveis do Rio Uruguai. Em Foz do Chapecó, o pico de cheia é sentido por volta das 15:56 h, em Iraí às 18:24 h do mesmo dia, em Itapiranga às 5:54 h e no Salto do Yucumã às 9:18 h, ambas do dia seguinte. Os picos de cheia levam em média 17:22 h para propagar-se pelo trecho de estudo (aprox. 140 km), sendo 2:28 h para chegar a Iraí, 11:30 h para chegar em Itapiranga e 3:24 h para chegar no Salto do Yucumã. Conclui-se, portanto, que há influência da operação da UHE nos níveis do Rio Uruguai. Os picos iniciam-se na segunda-feira (07:30 h) com a retomada da operação da UHE, em Foz do Chapecó, e terminam no sábado (9:18 h) no Salto do Yucumã (Parque Estadual do Turvo), com o final do escoamento do volume vertido na sexta-feira pela UHE.

Palavras-Chave: Vazão de jusante; Parque Estadual do Turvo; Impacto Ambiental

ABSTRACT

The installation and operation of a hydroelectric plant is subject to environmental conditions and can be conditioned according to the environment conditions. A basin of the Uruguay River received many hydroelectric points, this work dealt with the hydroelectric dam of Foz do Chapecó, and the standard result of the fluvial flow of the operation of the HPP in the water regime (levels) of the Uruguay River, was not included between the plant and the Turvo State Park. For this purpose, the fluviometric and pluviometric information were collected at four points along the drainage from 18/2/18 to 11/3/18. The rate has been crossed with the levels to verify the influence it has. These data served as the basis for the construction of a wave model representative of the river flow pattern. With the reviews, the version change in sub-daily variations of the levels of the Uruguay River was corrected during the study period. In Foz do

Chapecó, the peak peak is felt at 3:56 p.m., in Iraí at 6:24 p.m. of the same day, in Itapiranga at 5:54 p.m. in the Salto do Yucumã at 9:18 p.m., both of the following day. The peak of the flood takes 17:22 hours on average to propagate in the study area (approx. 140 km), 2:28 h to reach Iraí, 11:30 h to arrive in Itapiranga and 3:24 h to arrive at Salto do Yucumã. It concludes, therefore, that there influence of the operation of the HPP in the levels of the Uruguay river. The peaks begin on Monday (07:30 h) with the operation of the HPP, in Foz do Chapecó, and end on Saturday (09:18 h) at the Salto do Yucumã (Turvo State Park), with the end of the outflow of the volume delivered on Friday by the HPP.

Keywords: Flow of downstream; Turve State Park; Environmental Impact

4.1 INTRODUÇÃO

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 de instalação e operação de uma UHE, identifica-se diversos impactos que podem ser ocasionados, seja a montante, no lago reservatório, ou a jusante onde mantém-se 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 e 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 ($40,5 \text{ KW.km}^2$) dos quais 9539 MW já encontram-se instalados (ANA, 2015; ANEEL, 2017). 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 as condições do meio (ANA, 2015).

Na Bacia do Rio Uruguai há o barramento da UHE Foz do Chapecó, localizada entre os municípios de Alpestre/RS e Águas de Chapecó/SC, a qual iniciou sua operação em 2010 e

conta com uma produção energética máxima de 855 MW. A UHE apresenta desde o início de suas obras conflitos políticos, econômicos, ambientais e sociais, em virtude da aprovação do seu Estudo de Impacto Ambiental (EIA), esses culminaram na Ação Civil Pública Nº 5000930-57.2010.404.7202/SC, de 2010, que solicitava suspender o início da operação até regularização e adequação de diversos tópicos relativos à mitigação de impactos (FELIPE, 2011; WINCKLER e RENK, 2014).

Diferentes pesquisas alertam para os problemas que podem acometer as áreas afetadas por barramentos, Aguiar et al. (2016), Bejarano et al. (2017), Bevelhimer et al. (2014), Botelho et al. (2017), Richter et al. (2010), Rocha (2010) e Yi, et al. (2018) entre elas são abordadas temáticas como alterações hidrológicas, geomorfológicas e de relações ecológicas específicas.

Este estudo trata especificamente do impacto de jusante da usina, tema este que costuma receber menos importância nos EIA (SIQUEIRA et al., 2013). No entanto, toda vez que ocorre variação no volume liberado pela usina no curso principal do rio, há um aumento da velocidade da água, no caso de produção energética, 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 devido à capacidade de regularização da vazão que o reservatório confere ao canal fluvial (STEVAUX et al., 2009).

Além disso, a constante oscilação do nível (decorrente da maior ou menor produção de energia) provoca alterações na geomorfologia do leito, que com o passar dos anos causa 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 et al., 2013).

A onda de inundação de jusante liberada pela usina, depende da capacidade e da demanda de produção de energia e das condições do meio, podendo ser sentida por diversos quilômetros (GODOI et al., 2009). Na Bacia do Rio Uruguai este tipo de impacto é ainda intensificado pelo efeito cascata provocado pela série de aproveitamentos hidrelétricos instalados na bacia (SEMA, 2011).

Na divisa entre o médio alto Uruguai e o médio baixo Uruguai, está localizado o Parque Estadual do Turvo (PET), Derrubadas/RS, a mais importante área de proteção integral e refúgio da fauna silvestre da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul (CARDOSO et al., 2018; PETERS et al., 2017).

Por meio do Rio Uruguai, o PET faz fronteira úmida internacional com a República Argentina, na porção encontra-se uma fratura no seu leito, no sentido longitudinal NE NW que forma os Saltos do Yucumã (GARCÍA et al., 2011). As quedas do Yucumã possuem até 15 m de altura as quais prolongam-se por cerca de 1800 metros de comprimento e desaguam em um canal com largura 1/3 a 1/4 menor do que a calha normal do rio, e uma profundidade até sete vezes maior (IRIONDO e KRÖLING, 2008). Essa importante formação geológica impulsiona o turismo regional, sendo um dos principais pontos turísticos do noroeste gaúcho (RIGO, 2014).

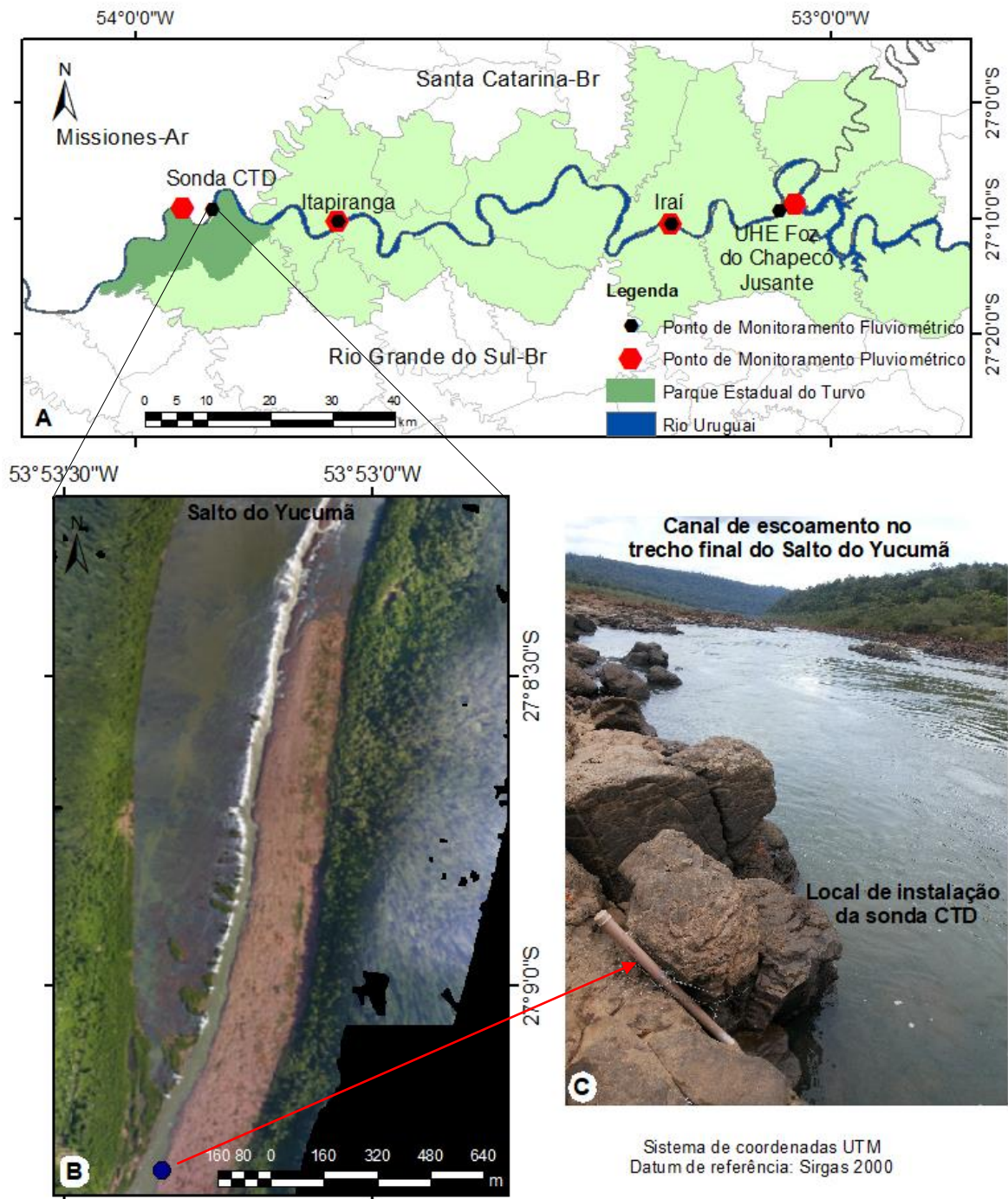
Tendo em vista a importância do Parque Estadual do Turvo e, especialmente, do Salto do Yucumã que acompanha o leito do Rio Uruguai, este trabalho teve por objetivo verificar o impacto e o padrão de escoamento fluvial resultantes da operação da UHE Foz do Chapecó no regime hídrico (níveis) do Rio Uruguai, no trecho compreendido entre a usina e o Parque Estadual do Turvo.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Obtenção dos dados

Para identificação do padrão de escoamento do Rio Uruguai no trecho de estudo, foram utilizados dados de nível de água do rio, coletados na estação fluviométrica: UHE Foz do Chapecó Jusante (74050000) localizada a aproximadamente 2 km do vertedor, no ponto de confluência entre a vazão vertida pela usina, a vazão vertida pela barragem e pelo Rio Chapecó; na estação fluviométrica de Iraí/RS (74100000), distante 25 km da UHE; na estação fluviométrica de Itapiranga/SC (74329000), localizada a 113 km da UHE; e, em sonda de pressão automática experimental, instalada no Parque Estadual do Turvo, no canal de escoamento do Salto do Yucumã, a cerca de 140 km a jusante da UHE Foz do Chapecó (Figura 1).

Figura 1 – Trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS e Águas do Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS e Missiones/Argentina) com destaque para a localização dos Saltos do Yucumã; A) Distribuição espacial das estações de monitoramento fluviométrico e pluviométrico; B) Mosaico de imagens aéreas obtidas com um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), do tipo Phantom 4, do canal fluvial nos Saltos do Yucumã. C) Local de instalação do medidor de nível, preso a uma rocha na margem fluvial do Rio Uruguai ($27^{\circ} 9'18,92''$ S; $53^{\circ}53'20,94''$ O) em 18/02/2018



Fontes: A) construído a partir de IBGE, 2017; B) Breunig, 2018; C) Pasini, 2018.

A coleta de dados ocorreu no período compreendido entre 18/02/2018 e 11/03/2018, totalizando três semanas de registros, com a seguinte frequência: no Salto do Yucumã foram realizados registros de nível de água do rio de forma automática, a cada 15 minutos, com o auxílio de um medidor automático de pressão (CTD *data logger*); Na estação UHE Foz do Chapecó Jusante foram obtidos registros cada 60 minutos; Na estação de Iraí foram obtidos registros a cada 15 minutos; e, na estação de Itapiranga foram obtidos registros do nível d'água do Rio Uruguai a cada 15 minutos (Tabela 1). Os três últimos registros (Foz do Chapecó Jusante, Iraí e Itapiranga) foram obtidos no *site* do Sistema de Monitoramento Hidrológico ligado à Agência Nacional de Águas, sendo coletados e disponibilizados por telemetria (<http://gestorpcd.ana.gov.br/exportarDados.aspx>).

Tabela 1 – Informações das estações e do ponto de coleta dos dados fluviométricos localizados entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS, Águas de Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS, Missiones/Ar)

| Informações das estações | UHE Foz do Chapecó Jusante | Iraí | Itapiranga | Salto do Yucumã |
|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Código da Estação | 74050000 | 74100000 | 74329000 | - |
| Cota altimétrica (m) | 219 | 200,88 | 162 | 132,47 |
| Responsável | Foz do Chapecó Energia S.A. | Agência Nacional de Águas | Agência Nacional de Águas | - |
| Período utilizado para análise | 18/2/18 - 11/3/18 | 18/2/18 - 11/3/18 | 18/2/18 - 11/3/18 | 18/2/18 - 11/3/18 |
| Forma de coleta | Telemetria | Telemetria | Telemetria | CTD <i>data logger</i> * |
| Coordenadas da estação | 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 |

*Medidor automático de pressão (unidade de coluna d'água) instalado para realização deste estudo.

Além dos registros de nível de água do Rio Uruguai, também foram coletadas informação sobre a precipitação, a fim de identificar se esta influenciou ou não o padrão de escoamento do nível d'água, durante o período estudado. Os registros de precipitação foram coletados pelas estações pluviométricas, UHE Foz do Chapecó Barramento (02753028), Iraí (74100000) e Itapiranga (74329000), por telemetria. As informações foram obtidas no Sistema

de Monitoramento Hidrológico da Agência Nacional de Águas (<http://www.snirh.gov.br/gestorpcd/Mapa.aspx>). A precipitação que incidiu sobre o Salto do Yucumã, foi obtida na *Base de Datos Hidrológica Integrada* (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/Filtros.aspx>), da República Argentina, que possui uma estação de monitoramento (3443 – *Uruguay*), na província de Misiones, a aproximadamente 4,2 km de distância do local onde foi instalada a sonda para monitoramento do nível d'água na zona do canal dos Saltos do Yucumã (Tabela 2).

Tabela 2 – Informações das estações e do ponto de coleta de dados pluviométricos localizados entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS, Águas de Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS, Misiones/Ar)

| Informações das estações | UHE Foz do Chapecó Barramento | Iraí | Itapiranga | Salto do Yucumã |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 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 | 18/2/18 - 11/3/18 | 18/2/18 - 11/3/18 | 18/2/18 - 11/3/18 | 18/2/18 - 11/3/18 |
| Forma de coleta | Telemetria | Telemetria | Telemetria | -* |
| Coordenadas da estação | 27° 8' 48,12"S 53° 3' 6,84"O | 27° 10' 32,16"S 53° 13' 46,92"O | 27° 10' 32,16"S 53° 13' 46,92"O | 27° 09' 12,80"S 53° 55' 58,50"O |
| Intervalo de registro (minutos) | 60 | 15 | 15 | 1440 |

*Não há informação disponível.

4.2.2 Definição do padrão de escoamento do Rio Uruguai

Para a identificação das alterações nos níveis do Rio Uruguai, provocadas pela alternância entre o represamento e liberação da água da usina, decorrente da produção energética da UHE Foz do Chapecó, foram separadas algumas características comuns às ondas de elevação de nível de água observadas nesse período, sendo assim: horário e cota de início da ascensão (mínimas), velocidade de ascensão, horário e cota do pico (máximas), velocidade de recessão e horário e cota de término (mínimas) (Apêndices 1 a 4).

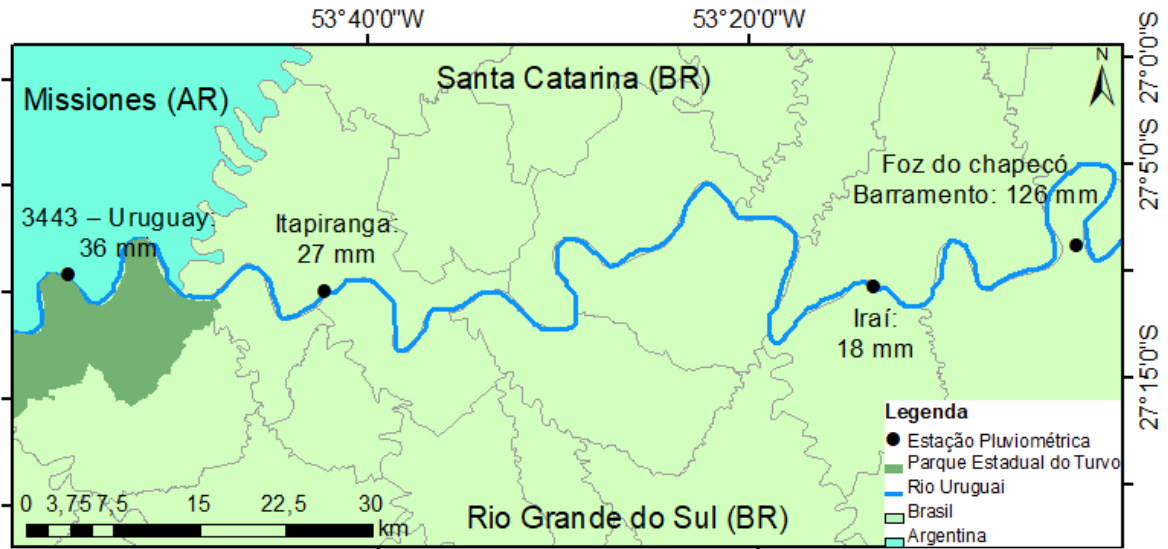
Para tal identificação foi levado em conta a Resolução N° 004, de 17 de janeiro de 2018 e sua atualização, N° 49, de 17 de julho de 2018, ambas da Agência Nacional de Águas, as quais regulamentam a operação do reservatório da UHE Foz do Chapecó. E considerou-se também que dentro das especificações à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

Após identificação, coleta e tratamento prévio dos dados foi construído um modelo padrão de onda que representa cada dia da semana, o qual foi elaborado a partir das médias de horário e nível de início, pico e termino das ondas de elevação do nível d'água provocadas pela descarga de água da UHE no Rio Uruguai, em cada um dos dias da semana, para cada um dos pontos de amostragem, Foz do Chapecó Jusante, Iraí, Itapiranga e no Salto do Yucumã (Apêndice 5), e um modelo padrão de onda que representasse as características médias (horário e nível) de início, pico e termino de todas as ondas de elevação verificadas nas séries de registro de nível.

4.3 RESULTADOS

Durante o período analisado (18/02/2018 - 11/03/2018) foi registrada a precipitação máxima de 126 mm na estação UHE Foz do Chapecó Barramento, 18 mm na estação de Iraí, 27 mm na estação de Itapiranga e 36 mm em Missiones/AR, próximo ao salto do Salto do Yucumã (Figura 2), e a precipitação máxima que incidiu durante um dia foi de 48,2 mm na UHE Foz do Chapecó Barramento, 18 mm em Iraí, 19,8 mm em Itapiranga e 13 mm no Salto do Yucumã. Em média, para o período monitorado, essas estações, registram 81 mm, 13,4 mm, 51,4 mm e 103,5 mm, respectivamente.

Figura 2 – Estações pluviométricas localizadas às margens do Rio Uruguai, no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó (Alpestre/RS e Águas de Chapecó/SC) e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/RS e Missiones/Ar), e indicação do total precipitado no período de 18/02/2018 a 11/03/2018

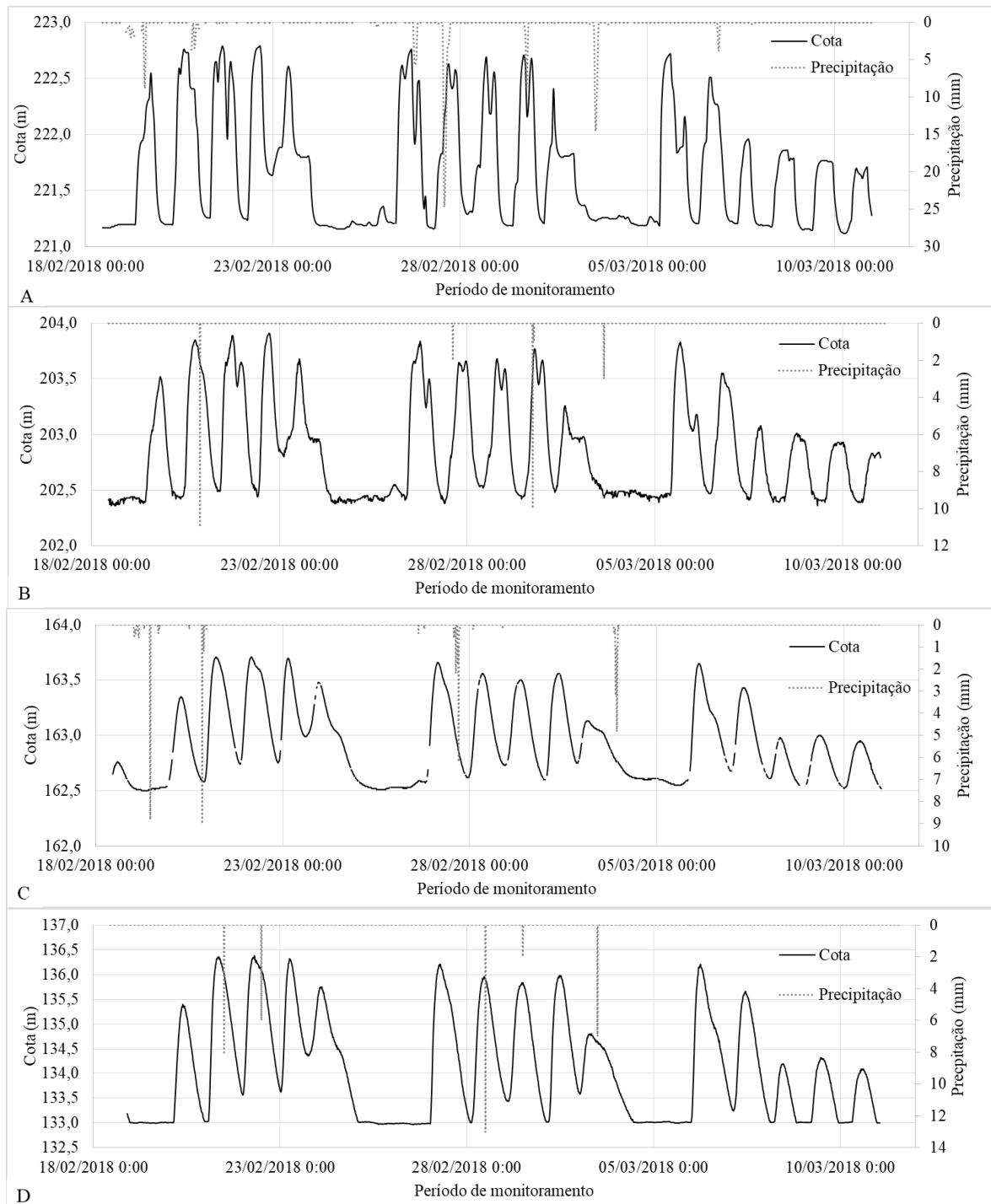


Sistema de Coordenadas UTM Datum de Referência: Sirgas 2000

Fonte: Construído a partir de IBGE, 2017.

A fim de verificar a influência da precipitação na variação temporal do escoamento os dados de precipitação e de nível d'água do Rio Uruguai são representados como hidrogramas (Figura 3) e indicam que a precipitação que incidiu durante os primeiros dias pode ter sido responsável pelo incremento de 31 cm, 37 cm e 91,4 cm no nível de água do rio, verificado a partir do dia 20/02 em Iraí (B), Itapiranga (C) e no Salto do Yucumã (D), respectivamente, não havendo perturbação ao padrão de escoamento registrado na UHE. Verificando-se, portanto, que a bacia de contribuição entre a usina e o Salto do Yucumã (140 km de rio), aprestou ligeira resposta à precipitação do período, sendo esse impacto absorvido pela barragem, à montante da UHE.

Figura 3 – Cota d'água do Rio Uruguai e hietograma do período de 18/02/2018 até 11/03/2018, registrados em estações de monitoramento pluviométrico e fluviométrico no trecho entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo; A) UHE Foz do Chapecó; B) Iraí; C) Itapiranga; D) Salto do Yucumã



Na bacia do Rio Uruguai a precipitação, exerce grande influência sobre os níveis do rio visto que o sistema possui baixa capacidade de armazenamento (SEMA, 2011), no entanto, com

o início do funcionamento da UHE, os níveis ficam sujeitos principalmente ao modelo de operação adotado pela usina.

Analisando o escoamento que ocorre entre a Foz do Chapecó e o Salto do Yucumã é nítida a continuidade que ocorre nos níveis do rio, verifica-se no hidrograma, na saída do vertedor, a ocorrência de ondas com picos mais pontiagudos que vão sendo suavizados, tornando-se arredondados ao longo do leito do rio, no decorrer do escoamento. A exemplo disso, no final da primeira e da segunda semana, 23/02 e 02/03, na UHE e em Iraí percebe-se perturbação e deformação da onda em virtude da descarga do sábado, já em Itapiranga e no Salto do Yucumã essa perturbação apresenta-se de forma moderada, quase imperceptível.

De acordo com a Resolução N° 49, de 17 de julho de 2018, a UHE Foz do Chapecó deve operar de forma que não ultrapasse um extravase maior de $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 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 (9433/97), e dentre os usos múltiplos de jusante, há a necessidade do aproveitamento turístico do Salto do Yucumã.

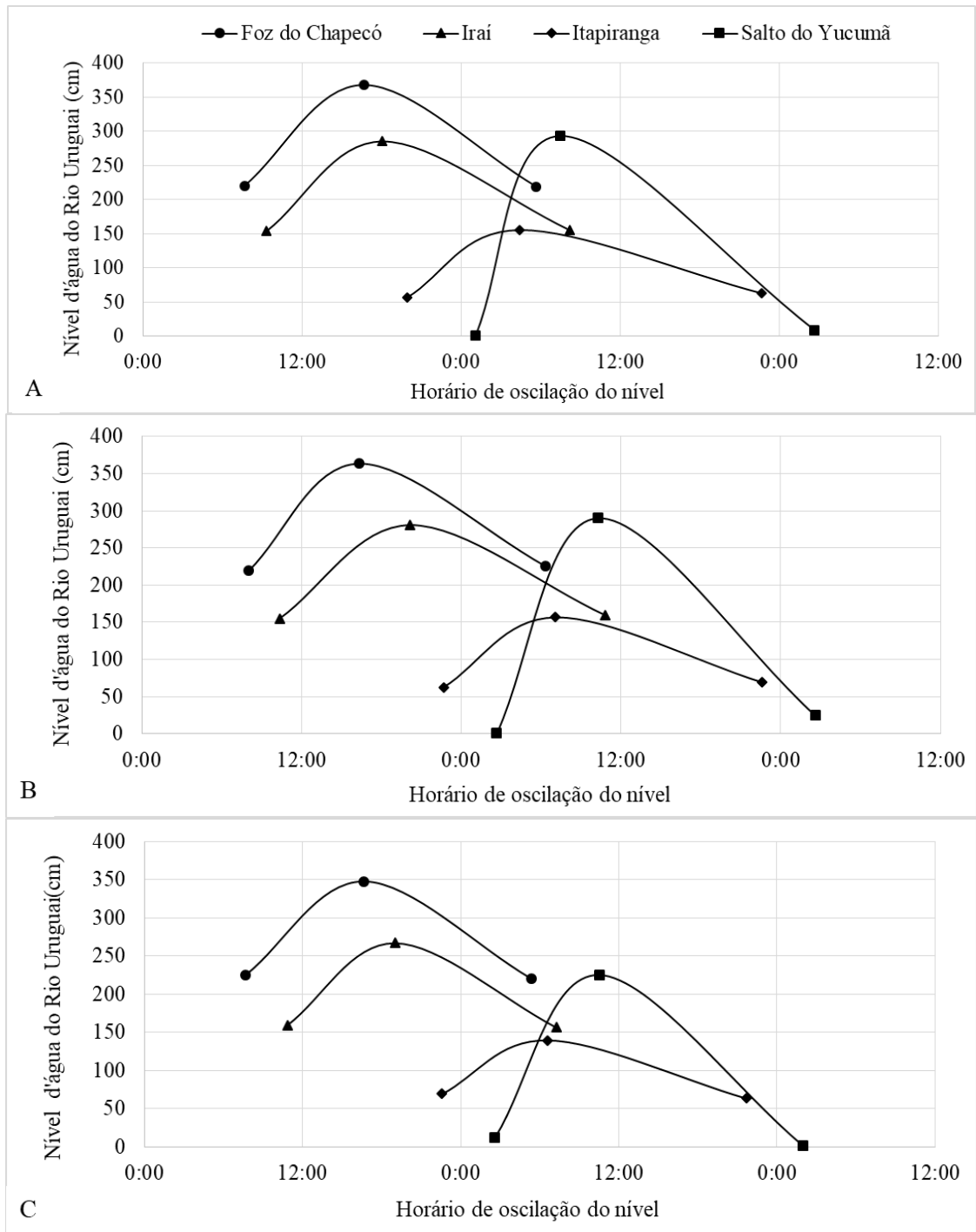
De acordo com a análise dos dados de vazão, da estação fluviométrica Foz do Chapecó Jusante, disponibilizados via sistema de telemetria da ANA (<http://gestorpcd.ana.gov.br/exportarDados.aspx>), a normativa vem sendo cumprida, e, especificamente, aos domingos, visto que foram constatados os menores níveis do rio (até 43,98 cm), no Parque Estadual do Turvo, no período de 18/02/2018 a 11/03/2018. Salienta-se ainda que, os níveis mínimos registrados no Salto do Yucumã podem ser inferiores aos apresentados no hidrograma, devido a periculosidade de instalação do medidor e necessidade de retirada segura dos dados, esse foi o ponto de menor nível possível para registro.

A partir dos dados de variação de nível de água do Rio Uruguai, coletados neste estudo, pode ser explicado como ocorre a propagação da onda de cheia no trecho entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo. Para descrever melhor o processo, é proposto um modelo padrão de onda de escoamento, o qual especifica o nível de pico (máximo) atingido pela onda, a velocidade de escoamento e o tempo que leva para a onda deslocar-se de um fluviômetro até o outro.

O modelo padrão, para cada dia da semana, elaborado com os valores médios do nível d'água do rio, coletados no período de 18/02/2018 a 11/03/2018 (Figura 4), indica as características médias que a onda de escoamento adquire em cada um dos dias da semana (segunda-feira a sexta-feira). Já a Figura 5 representa um único modelo padrão com uma só

onda de elevação por ponto de amostragem, servindo como uma média universal (média geral dos dados de cada dia da semana) para uma interpretação mais generalista.

Figura 4 – Ondas de elevação média de nível do Rio Uruguai verificadas durante cinco dias da semana durante o monitorado na UHE Foz do Chapecó jusante, Iraí, Itapiranga e no Salto do Yucumã; A) Segunda-feira; B) Terça-Feira; C) Quarta-Feira; D) Quinta-Feira; E) Sexta-Feira



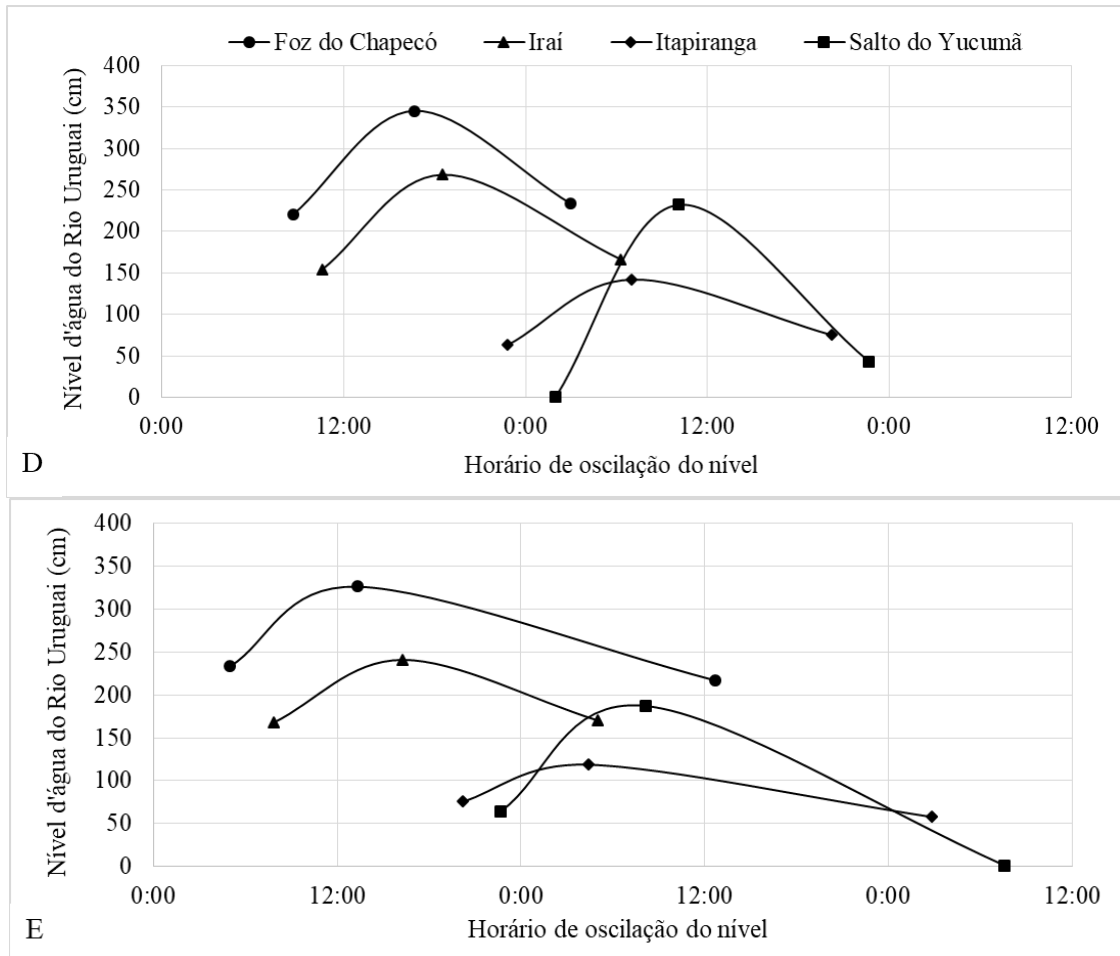
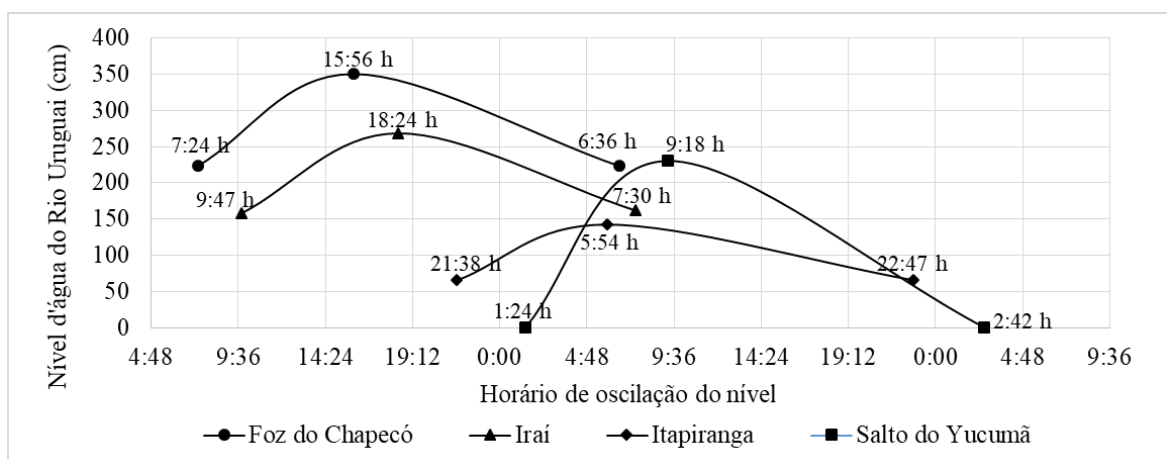


Figura 5 – Onda padrão média de elevação de nível do Rio Uruguai monitorado na estação de Foz do Chapecó Jusante, Iraí, Itapiranga e no Salto do Yucumã



O modelo diário (uma onda por dia da semana) (Figura 4) resulta da forma de operação da UHE que divide na semana distintos períodos de cheia e de baixa do rio, de acordo com

demandas energéticas e com a Resolução N° 49, de 17 de julho de 2018 (Figura 3). Esse fenômeno também foi observado em outras UHE's por Bejarano et al. (2017) e Bevelhimer et al. (2014). No caso da UHE Foz do Chapecó, devido a regulamentação que rege sua operação, esses períodos apresentam semelhanças e ciclicidade.

A semana de operação começa na segunda-feira pela manhã (Figura 4A), entre às 7:00 e 8:00 h quando é iniciado o extravase da água represada durante o fim de semana. O pico de máxima, na estação de Foz do Chapecó Jusante, ocorre às 16:40 h e demora apenas de 1:25 h para chegar até Iraí, distante cerca de 25 km, depois de mais 10:20 h a onda de cheia atinge seu pico máximo em Itapiranga (88 km a jusante de Iraí) e às 7:30 h do dia seguinte (terça-feira) o Salto do Yucumã apresenta o seu nível máximo. A onda demora em média 3:05 h para propagar-se da estação de Itapiranga até o final do canal de escoamento do Salto do Yucumã, distantes 27 km entre si (Tabela 3).

Tabela 3 – Tempo médio de deslocamento do pulso de cheia provocado pela operação da UHE Foz do Chapecó até as localidades de Iraí, Itapiranga e o Parque Estadual do Turvo (Salto do Yucumã)

| Dia da semana | Tempo de deslocamento do nível máximo de pico do Rio Uruguai (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 | |

Como o rio está baixo devido ao represamento prévio, a propagação da onda possui maior velocidade de ascensão na segunda-feira, com média de 15,57 cm.h⁻¹ em Iraí, 11,90 cm.h⁻¹ em Itapiranga e 45,50 cm.h⁻¹ no Salto do Yucumã, sendo a discrepância de valores deste último resultante das características morfológicas que o canal de escoamento do rio assume na área do Salto do Yucumã, o estrangulamento máximo, enquanto está dentro do canal, além do incremento de volume provocado pela contribuição dos tributários do Rio Uruguai no trecho de estudo.

Apenas nos dados da estação Foz do Chapecó Jusante essa diferença não foi percebida. A terça-feira é o dia de mais rápida ascensão do nível de água do rio, $17,75 \text{ cm.h}^{-1}$ em comparação aos $16,95 \text{ cm.h}^{-1}$ da segunda-feira. Tal diferença pode estar associada à curta distância da estação em relação à descarga da usina e do vertedor da barragem, que mantém a vazão reduzida.

O modelo de operação é semelhante às terças-feiras, quartas-feiras e quintas-feiras, exceto pelo fato de que, após a segunda-feira, a onda de cheia demora mais tempo para propagar-se pelo canal (Tabela 3). É importante ressaltar que entre os monitoramentos da UHE Foz do Chapecó, Iraí e Itapiranga não há cursos d'água que provoquem relevantes oscilações no volume ao rio, já entre Itapiranga e o Salto do Yucumã encontra-se a confluência do Rio Uruguai com o Rio Peperi-Guaçú, que divide o estado de Santa Catarina/Br e a província de Misiones/Ar o qual pode ter influência nas vazões. Entretanto, não foram constadas precipitações significativas, no período de monitoramento, portanto, as contribuições dos tributários foram consideradas constantes ao longo do estudo (sem influência significativa na variabilidade horária dos nível de água do rio).

Para que seja possível manter o padrão de operação imposto pela resolução N° 49, de 17 de julho de 2018, a capacidade da UHE é reduzida na sexta-feira, que apresenta situações diferenciadas dos dias anteriores. Na primeira semana de monitoramento o início da operação ocorreu às 23:00 h da quinta-feira, na segunda semana às 06:00 h da sexta-feira e na terceira semana às 10:00 h da sexta-feira, em todos os casos condizente com a diretriz estabelecida pela ANA.

Nas duas primeiras semanas o intuito foi de fazer com que a onda crescente se propague até o Salto do Yucumã em tempo hábil para manter o aproveitamento turístico do domingo (visibilidade dos saltos), já que a onda provocada pelo extravase da sexta-feira é sentida no sábado no Parque Estadual do Turvo. Já ao final da terceira semana verifica-se uma maior descarga no sábado, 10/03 (Figura 3A). Ainda assim a onda provocada pela descarga do sábado possui menor magnitude, com relação ao pico de cheia (58 cm de elevação do nível), resultante de uma vazão máxima de $970 \text{ m}^3.\text{s}^{-2}$ (dados de vazão obtido na estação fluviométrica Foz do Chapecó Jusante), condizente com a indicação da ANA (Resolução N° 49, de 17 de julho de 2018).

Dentre as características observadas no padrão de escoamento verificam-se diferenças entre o tempo de ascensão e de recessão dos níveis. A média das três semanas da estação da UHE Foz do Chapecó Jusante, indica que o nível do rio cresce com uma velocidade de 14,83

cm.h⁻¹ e decresce com uma velocidade de 9,62 cm.h⁻¹; em Iraí cresce 12,82 cm.h⁻¹ e decresce 8,40 cm.h⁻¹; em Itapiranga cresce 9,32 cm.h⁻¹ e decresce 4,55 cm.h⁻¹; e, no Salto do Yucumã cresce 29,15 cm.h⁻¹ e decresce 13,23 cm.h⁻¹. Essas velocidades de ascensão e recessão são fruto da amplitude entre o pico de máximo e o pico de mínima no início (prévio) e fim (posterior) da onda. Mais uma vez foi verificado no Salto do Yucumã o impacto da geomorfologia do canal na elevação do nível, visto que o leito de escoamento tem significativo estreitamento nesse trecho do rio (1/3 a 1/4 do normal).

A elevação (crescente) e recessão (decrecente) da onda podem causar significativos impactos ao meio natural, comprometendo, inclusive, as características geomorfológicas do canal (MALDONADO et al., 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 se considera que na região do Salto do Yucumã o relevo apresenta baixa declividade (Figura 6), portanto, cada pico de cheia resulta no alagamento dessa “planície basáltica” de grande dimensão, impossibilitando a visitação do local e inviabilizando seu aproveitamento turístico, além das consequências ecológicas que isso possa ocasionar.

O horário de funcionamento, do parque é das 08:00 às 16:00 h, de quinta-feira à segunda-feira, sendo que o horário de pico, de máximo nível do rio, é sentido no Salto do Yucumã (Parque Estadual do Turvo) em média, às 07:30 h na terça-feira, 10:15 h na quarta-feira, 10:30 h na quinta-feira, 10:05 h na sexta-feira e às 08:10 h no sábado.

Figura 6 – Planície Basáltica de inundação do Rio Uruguai próxima a sua calha, no Salto do Yucumã, Parque Estadual do Turvo. Imagem capturada em 7 de fev. 2018, 13:35 h



Fonte: Pasini, 2018.

4.4 CONCLUSÃO

Conclui-se com esse estudo que o padrão de escoamento fluvial do Rio Uruguai no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo é influenciado pelo regime de operação da usina, apresentando diariamente um momento de ascensão e um de recessão do nível. No período de 18/02/2018 a 11/03/2018, foi verificado que as ondas de elevação do nível d'água do Rio Uruguai, mantém uma amplitude média de 126,80 cm na Foz do Chapecó Jusante, 108,64 cm em Iraí, 76,94 cm em Itapiranga e 230,77 cm no Salto do Yucumã.

Na estação fluviométrica Foz do Chapecó Jusante, em média, o pico de cheia é sentido por volta das 15:56 h, em Iraí às 18:24 h do mesmo dia, em Itapiranga às 5:54 h do dia seguinte, e às 9:18 h no Salto do Yucumã. Os picos de cheia demoram em média 17:22 h para propagar-se pelo canal de escoamento do Rio Uruguai, da estação Foz do Chapecó Jusante até o Salto do

Yucumã. Sendo que, em 2:28 h chega a Iraí, em mais 11:30 h chega a Itapiranga e após 3:24 h chega no Salto do Yucumã (Parque Estadual do Turvo).

4.5 REFERÊNCIAS

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> Acesso em: 27 jan. 2019.

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/Kujrw0TZC2Mb/content/id/31889469> Acesso em: 27 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) **Sistema de Monitoramento Hidrológico por Telemetria**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://gestorpcd.ana.gov.br/Mapa.aspx>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

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: 27 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Potencial Energético das Bacias do Sul explorado e a explorar**. 8º Fórum Mundial da Água, 2017. Disponível em: <<http://www.confrea.org.br/media/Potencial%20Energ%C3%A9tico%20das%20Bacias%20do%20Sul%20-%20Jose%20Vicente.pdf>> Acesso em: 14 fev. 2019.

AGUIAR, F. C. et al. Riverscapes downstream of hydropower dams: Effects of altered flows and historical land-use change. **Landscape and Urban Planning**, v.153, p. 83–98, 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**, v. 7, n. 2, p. 284-299, 2018.

BASE DE DATOS HIDROLÓGICA (BDHI). **Dados Hidrológicos**, Buenos Aires, 2019. Disponível em <<https://bdhi.hidricosargentina.gob.ar/>> Acesso em 21 jan. 2019.

BEJARANO, M. D. et al. Characterizing effects of hydropower plants on sub-daily flow regimes, **Journal of Hydrology**, v. 550, p. 186-200. 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**, v. 31, n. 7, p. 867–879, 2014.

BOTELHO, A. et al. Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 896-904, 2017.

BRANDT S. A. Classification of geomorphological effects downstream of dams. **Catena**. v. 40, n. 4, p. 375-401, 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> Acesso em: 27 jan. 2019.

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, p 231-241, 2018.

FELIPE, M. R. **Efeitos socioambientais da UHE Foz do Chapecó: atores sociais envolvidos e o relatório de impacto ambiental - RIMA**. 2011, p. 86. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Sociais) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, SC, 2011.

GARCÍA, C. M. et al. Caracterización experimental del flujo para estimar parâmetros hidráulicos de diseño de pasarelas sobre el Río Uruguay en los Saltos de Moconá, misiones. IN. Simposio Regional sobre hidráulica de ríos, 5, 2011, Santiago del Estero, Argentina. **Anais...** Santiago del Estero, Argentina, 2011, p. 1-15.

GODOI, F. G. et al. 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, 2009, Campo Grande, MS, Brasil **Anais...** Campo Grande, MS. 2009, p.1-10.

IRIONDO, M. Y.; KROHLING, D. Cambios ambientales en la cuenca del río Uruguay, desde dos milones de años hasta el Presente. **Colección Ciencia y Técnica**, Ediciones UNL Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe-Ar, p.358, 2008.

MAGILLIGAN, F. J.; NISLOW, K. H.; RENSHAW, C. E. Flow regulation by dams. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, **Fluvial Geomorphology**, v. 9, 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** v. 20, n. 3, p. 752 – 762, 2015.

PETERS, F. B. et al. *Leopardus pardalis* (Linnaeus, 1758) (Carnivora, Felidae) nos campos do extremo sul do Brasil: expansão ou recolonização do Pampa? **Revista Brasileira de Zoociências** v. 18, n 3, p. 51-60, 2017.

RICHTER, B. D. et al. “Lost in development’s shadow: the downstream human consequences of dams.” **Water Alternatives**, v. 3, n. 2, p. 14-42, 2010.

RIGO, F. F. **Ecoturismo e sustentabilidade em Derrubadas/RS**. 2015. p. 23 Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Geografia), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí-RS. 2015.

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

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> Acesso em: 27 jan. 2019.

SIQUEIRA, A. G. et al. Modificações fluviais à jusante de barragens. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 14, 2013, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**, Rio de Janeiro, RJ, 2013, p. 1-10.

STEVANUX, 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**. v. 113, p. 230–238, 2009.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE SANTA CATARINA (STJ-SC). **Ação Civil Pública** Nº 5000930-57.2010.404.7202/SC, 2010. Disponível em: <<https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/16062111/sls-1271>> Acesso em: 27 jan. 2019.

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**, v. 25, n. 2 p. 1-15, 2014.

YI, Y. et al. The effects of cascade dam construction and operation on riparian vegetation, **Advances in Water Resources**, *In Press*, set. 2018.

CONCLUSÃO GERAL

No período compreendido entre 2010 e 2018, a vazão do Rio Uruguai, na estação fluviométrica de Iraí, apresentou elevada variabilidade temporal, alterando-se em escala sub horária. Assim sendo, para estudos hidrológicos, recomenda-se a utilização de séries com discretização sub horária, ou, ao menos, sub diária.

Dentre os impactos no regime hídrico (vazão) ocorridos no período posterior à operação da UHE Foz do Chapecó, destacam-se: aumento da variabilidade sub diária da descarga de vazão; a regularização do fluxo, elevando em $557,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a mediana das vazões atuais, em relação às observadas no período anterior à operação da UHE; e alteração no comportamento dos grandes eventos fluviométricos de cheia e estiagens, que passaram a apresentar mais rápida reversão.

O *software* IHA demonstrou eficiência na caracterização das alterações do regime hídrico que ocorrem em consequência da operação da UHE Foz do Chapecó. No entanto, é possível concluir que a série de registros diários (original), expressa de forma atenuada os reais impactos no regime das vazões que são observadas na estação fluviométrica de Iraí (25 km a jusante da UHE).

O padrão de escoamento do Rio Uruguai no trecho compreendido entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo, é influenciado pela operação da usina e passou a apresentar diariamente um pico de máxima (cheia) e um de mínima do seu nível d'água. Na estação fluviométrica Foz do Chapecó Jusante, entre 18 de fevereiro e 11 de março de 2018, o pico de máxima é sentido por volta das 15:56 h; em Iraí às 18:24 h do mesmo dia; em Itapiranga às 5:54 h do dia seguinte; e, no Salto do Yucumã às 9:18 h, dia seguinte à liberação da água na usina.

Os picos de cheia demoram em média 17:22 h para propagar-se pelo canal de escoamento do Rio Uruguai, entre a estação Foz do Chapecó Jusante e o Salto do Yucumã. Sendo que, o pico de máxima (cheia) demora 2:28 h para deslocar-se até Iraí, em mais 11:30 h chega a Itapiranga e após 3:24 h chega no Salto do Yucumã (Parque Estadual do Turvo).

Salienta-se também que as características do escoamento identificadas neste trabalho tornam a região, em especial o trecho do Parque Estadual do Turvo, um local de grande fragilidade ambiental, sendo necessário um maior acompanhamento, para identificação dos impactos ambientais a curto, médio e longo prazo, resultantes da inundação periódica da

planície basáltica que se estende às margens do canal principal do rio. Durante o estudo foi constatado que, na zona de fronteira pertencente ao território brasileiro (margem esquerda do Rio Uruguai) a extensa planície de inundação foi submergida diariamente e os níveis de água do rio apresentam clara influência da variação de níveis observados à jusante da UHE (140 km a montante do Parque) e que dependem do regime de operação da usina.

RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se dar sequência a estes estudos, inicialmente, combinando modelagens e simulações numéricas aos dados de campo por este levantados. De forma que seja possível indicar com propriedade os níveis de visibilidade do Salto do Yucumã, com base na vazão registrada nas estações de monitoramento hidrológico mais próximas, e assim poder propor um funcionamento da UHE Foz do Chapecó que comporte as necessidades energéticas e a funcionalidade do Parque Estadual do Turvo como parque ecológico (área de preservação).

Ainda, como forma de complementar este trabalho, seria interessante estender a temática e incluir à análise de impacto de jusante da UHE Foz do Chapecó, áreas de pesquisa ligadas às alterações sociais, econômicas e ecológicas.

REFERÊNCIAS GERAIS

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: 27 jan. 2019.

COLLISCHONN, W. et al. **Em busca do hidrograma ecológico.** In: José Nilson Campos. (Org.). Recursos Hídricos: Jovem Pesquisador 2005. Fortaleza: ABRH, p. 421-453, 2005.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.; CRUZ, R. C. **Estudos preliminares,** IN SILVEIRA, G. L. e CRUZ, J. C. Seleção Ambiental de barragens: Análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica, Editora UFSM, RS. p.91-102, 2005.

FRANÇA, J. **Mapeamento das áreas de suscetibilidade e risco de inundação de trecho do Rio Uruguai no município de São Carlos – SC.** 2017, p. 82. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. 2017.

GODOI, F. G. et al. 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, 2009, Campo Grande, MS, Brasil **Anais...** Campo Grande, MS. 2009, p.1-10.

LETURCQ, G. Diferenças e similaridades de impactos das hidrelétricas entre o Sul e o Norte do Brasil. **Ambiente & Sociedade.** v. 9, n. 2, p. 267-290, 2016.

MOTTER, A. F. C.; FOLETO, E. M. Um olhar sobre a gestão dos recursos hídricos: o caso do comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica dos Rios Santa Rosa, Santo Cristo e Turvo - noroeste do Rio Grande do Sul. Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Perspectiva,** v. 34, n. 126, p. 143-155, 2010.

POERSCH, M. T. **Análise histórica das vazões do Rio Uruguai antes e após a instalação da UHE Foz do Chapecó.** 2018. p. 82. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen, RS, 2018.

RICHTER, B. D. et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. **Conservation Biology** v. 10, n. 4, p. 1163–1174. 1996.

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

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA - RS). **Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo.** Porto Alegre: Divisão de Unidades de Conservação do Estado do Rio Grande do Sul. 2005. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201610/24172430-plano-manejo-peturvo.pdf>> Acesso em: 27 jan. 2019.

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/pchcgh/Reg_Uruguai_fragilid_amb_hidr/FRA_GRIO_relatorio_etapa_2.pdf> Acesso em: 27 jan. 2019.

SOUZA, N. S.; SOUZA, W. J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 22, n. 3, p. 453-462, 2017.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE SANTA CATARINA (STJ-SC). **Ação Civil Pública** Nº 5000930-57.2010.404.7202/SC, 2010. Disponível em: <<https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/16062111/sls-1271>> Acesso em: 27 jan. 2019.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Características das ondas de elevação de cota d'água do Rio Uruguai monitoradas no período de 18/02/2018 a 11/03/2018, pela estação fluviométrica de Foz do Chapecó Jusante – 74050000 (Foz do Chapecó Energia S.A), localizada no ponto de confluência entre a vazão vertida para aproveitamento hidrelétrico e a vazão resultante da alça de vazão reduzida.

| | Início (mínima) | | Ascensão | | | Pico (máxima) | | Recessão | | | Término (mínima) | |
|----------|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|------------------|----------|
| | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia - Horário | Cota (m) |
| Semana 1 | 19/02/2018 08:00 | 221,2 | 10:00 | 1,35 | 13,50 | 19/02/2018 18:00 | 222,55 | 09:00 | 1,35 | 15,00 | 20/02/2018 03:00 | 221,2 |
| | 20/02/2018 08:00 | 221,2 | 07:00 | 1,56 | 22,29 | 20/02/2018 15:00 | 222,76 | 15:00 | 1,50 | 10,00 | 21/02/2018 06:00 | 221,26 |
| | 21/02/2018 08:00 | 221,26 | 08:00 | 1,53 | 19,13 | 21/02/2018 16:00 | 222,79 | 16:00 | 1,55 | 9,69 | 22/02/2018 08:00 | 221,24 |
| | 22/02/2018 08:00 | 221,24 | 08:00 | 1,55 | 19,38 | 22/02/2018 16:00 | 222,79 | 07:00 | 1,15 | 16,43 | 22/02/2018 23:00 | 221,64 |
| | 22/02/2018 23:00 | 221,64 | 11:00 | 0,97 | 8,82 | 23/02/2018 10:00 | 222,61 | 07:00 | 1,45 | 4,68 | 24/02/2018 17:00 | 221,16 |
| Semana 2 | 26/02/2018 07:00 | 221,21 | 10:00 | 1,55 | 15,50 | 26/02/2018 17:00 | 222,76 | 14:00 | 1,60 | 11,43 | 27/02/2018 07:00 | 221,16 |
| | 27/02/2018 07:00 | 221,16 | 10:00 | 1,47 | 14,70 | 27/02/2018 17:00 | 222,63 | 12:00 | 1,34 | 11,17 | 28/02/2018 05:00 | 221,29 |
| | 28/02/2018 05:00 | 221,29 | 12:00 | 1,40 | 11,67 | 28/02/2018 17:00 | 222,69 | 13:00 | 1,50 | 11,54 | 01/03/2018 06:00 | 221,19 |
| | 01/03/2018 10:00 | 221,19 | 07:00 | 1,52 | 21,71 | 01/03/2018 17:00 | 222,71 | 13:00 | 1,50 | 11,54 | 02/03/2018 06:00 | 221,21 |
| | 02/03/2018 06:00 | 221,21 | 06:00 | 1,20 | 20,00 | 02/03/2018 12:00 | 222,41 | 03:00 | 1,18 | 4,37 | 03/03/2018 15:00 | 221,23 |
| Semana 3 | 05/03/2018 08:00 | 221,19 | 07:00 | 1,53 | 21,86 | 05/03/2018 15:00 | 222,72 | 16:00 | 1,51 | 9,44 | 06/03/2018 07:00 | 221,21 |
| | 06/03/2018 09:00 | 221,21 | 08:00 | 1,30 | 16,25 | 06/03/2018 17:00 | 222,51 | 15:00 | 1,30 | 8,67 | 07/03/2018 08:00 | 221,21 |
| | 07/03/2018 10:00 | 221,21 | 07:00 | 0,75 | 10,71 | 07/03/2018 17:00 | 221,96 | 09:00 | 0,77 | 8,56 | 08/03/2018 02:00 | 221,19 |
| | 08/03/2018 08:00 | 221,18 | 09:00 | 0,68 | 7,56 | 08/03/2018 17:00 | 221,86 | 11:00 | 0,71 | 6,45 | 09/03/2018 04:00 | 221,15 |
| | 09/03/2018 10:00 | 221,15 | 08:00 | 0,62 | 7,75 | 09/03/2018 18:00 | 221,77 | 12:00 | 0,65 | 5,42 | 10/03/2018 06:00 | 221,12 |
| Média | 07:24 | 221,24 | 08:32 | 1,27 | 14,83 | 15:56 | 222,50 | 14:40 | 1,27 | 9,62 | 06:36 | 221,23 |

Apêndice 2 – Características das ondas de elevação de cota d'água do Rio Uruguai monitoradas no período de 18/02/2018 a 11/03/2018, em Iraí pela estação fluviométrica 74100000 (Agência Nacional de Águas)

| | Início (mínima) | | Ascensão | | | Pico (máxima) | | Recessão | | | Término (mínima) | |
|----------|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|------------------|----------|
| | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia - Horário | Cota (m) |
| Semana 1 | 19/02/2018 10:15 | 202,39 | 09:45 | 1,13 | 11,59 | 19/02/2018 20:00 | 203,52 | 07:45 | 1,07 | 13,81 | 20/02/2018 03:45 | 202,45 |
| | 20/02/2018 10:15 | 202,44 | 08:00 | 1,41 | 17,63 | 20/02/2018 18:15 | 203,85 | 16:00 | 1,36 | 8,50 | 21/02/2018 10:15 | 202,49 |
| | 21/02/2018 10:15 | 202,49 | 08:00 | 1,40 | 17,50 | 21/02/2018 18:15 | 203,89 | 13:15 | 1,37 | 10,34 | 22/02/2018 07:30 | 202,52 |
| | 22/02/2018 10:15 | 202,44 | 07:30 | 1,47 | 19,60 | 22/02/2018 17:45 | 203,91 | 09:15 | 1,11 | 12,00 | 23/02/2018 03:00 | 202,8 |
| | 23/02/2018 03:00 | 202,80 | 09:45 | 0,88 | 9,03 | 23/02/2018 12:45 | 203,68 | 20:30 | 1,28 | 6,24 | 24/02/2018 09:15 | 202,4 |
| Semana 2 | 26/02/2018 08:15 | 202,41 | 09:45 | 1,43 | 14,67 | 26/02/2018 18:00 | 203,84 | 15:45 | 1,46 | 9,27 | 27/02/2018 09:45 | 202,38 |
| | 27/02/2018 09:45 | 202,38 | 13:15 | 1,28 | 9,66 | 27/02/2018 23:00 | 203,66 | 11:15 | 1,14 | 10,13 | 28/02/2018 10:15 | 202,52 |
| | 28/02/2018 10:15 | 202,52 | 09:00 | 1,16 | 12,89 | 28/02/2018 19:15 | 203,68 | 15:30 | 1,26 | 8,13 | 01/03/2018 10:45 | 202,42 |
| | 01/03/2018 10:45 | 202,42 | 08:30 | 1,35 | 15,88 | 01/03/2018 19:15 | 203,77 | 12:45 | 1,29 | 10,12 | 02/03/2018 08:00 | 202,48 |
| | 02/03/2018 08:00 | 202,48 | 06:30 | 0,78 | 12,00 | 02/03/2018 14:30 | 203,26 | 05:30 | 0,30 | 5,45 | 02/03/2018 20:00 | 202,96 |
| Semana 3 | 05/03/2018 09:30 | 202,45 | 06:45 | 1,38 | 20,44 | 05/03/2018 16:15 | 203,83 | 18:45 | 1,36 | 7,25 | 06/03/2018 11:00 | 202,47 |
| | 06/03/2018 11:00 | 202,47 | 08:15 | 1,08 | 13,09 | 06/03/2018 19:15 | 203,55 | 16:45 | 1,14 | 6,81 | 07/03/2018 12:00 | 202,41 |
| | 07/03/2018 12:00 | 202,41 | 07:30 | 0,67 | 8,93 | 07/03/2018 19:30 | 203,08 | 08:00 | 0,69 | 8,62 | 08/03/2018 03:30 | 202,39 |
| | 08/03/2018 10:45 | 202,40 | 07:45 | 0,61 | 7,87 | 08/03/2018 18:30 | 203,01 | 13:15 | 0,65 | 4,91 | 09/03/2018 07:45 | 202,36 |
| | 09/03/2018 12:30 | 202,39 | 09:00 | 0,54 | 6,00 | 09/03/2018 21:30 | 202,93 | 12:15 | 0,54 | 4,41 | 10/03/2018 09:45 | 202,39 |
| Média | 09:47 | 202,46 | 08:37 | 1,10 | 12,82 | 18:24 | 203,56 | 13:06 | 1,07 | 8,40 | 07:30 | 202,50 |

Apêndice 3 – Características das ondas de elevação de cota d'água do Rio Uruguai monitoradas no período de 18/02/2018 a 11/03/2018, em Itapiranga pela estação fluviométrica 74329000 (Agência Nacional de águas).

| | Início (mínima) | | Ascensão | | | Pico (máxima) | | Recessão | | | Término (mínima) | |
|----------|-----------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|----------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|------------------|----------|
| | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia – Horário | Cota (m) |
| Semana 1 | 19/02/18 21:00 | 162,53 | 09:45 | 0,82 | 8,41 | 20/02/18 06:45 | 163,35 | 15:00 | 0,77 | 5,13 | 20/02/18 21:45 | 162,58 |
| | 20/02/18 21:45 | 162,58 | 07:30 | 1,13 | 15,07 | 21/02/18 05:15 | 163,71 | 15:30 | 0,97 | 6,26 | 21/02/18 20:45 | 162,74 |
| | 21/02/18 20:45 | 162,74 | 07:15 | 0,97 | 13,38 | 22/02/18 04:00 | 163,71 | 17:00 | 0,96 | 5,65 | 22/02/18 21:00 | 162,75 |
| | 22/02/18 21:00 | 162,75 | 06:30 | 0,95 | 14,62 | 23/02/18 03:30 | 163,70 | 11:45 | 0,71 | 6,04 | 23/02/18 15:15 | 162,99 |
| | 23/02/18 15:15 | 162,99 | 07:45 | 0,49 | 6,32 | 23/02/18 23:00 | 163,48 | 01:15 | 0,89 | 3,52 | 25/02/18 00:15 | 162,59 |
| Semana 2 | 26/02/18 19:30 | 162,57 | 08:00 | 1,09 | 13,62 | 27/02/18 03:30 | 163,66 | 19:15 | 1,04 | 5,40 | 27/02/18 22:45 | 162,62 |
| | 27/02/18 22:45 | 162,62 | 09:30 | 0,94 | 9,89 | 28/02/18 08:15 | 163,56 | 14:15 | 0,83 | 5,82 | 28/02/18 22:30 | 162,73 |
| | 28/02/18 22:30 | 162,73 | 10:00 | 0,77 | 7,70 | 01/03/18 08:30 | 163,50 | 15:30 | 0,90 | 5,81 | 02/03/18 00:00 | 162,6 |
| | 02/03/18 00:00 | 162,60 | 09:00 | 0,96 | 10,67 | 02/03/18 09:00 | 163,56 | 12:00 | 0,81 | 6,75 | 02/03/18 21:00 | 162,75 |
| | 02/03/18 21:00 | 162,75 | 06:45 | 0,38 | 5,63 | 03/03/18 03:45 | 163,13 | 04:45 | 0,51 | 1,77 | 04/03/18 08:30 | 162,62 |
| Semana 3 | 05/03/18 19:15 | 162,59 | 07:45 | 1,06 | 13,68 | 06/03/18 03:00 | 163,65 | 20:30 | 0,97 | 4,73 | 06/03/18 23:30 | 162,68 |
| | 06/03/18 23:30 | 162,68 | 08:15 | 0,75 | 9,09 | 07/03/18 07:45 | 163,43 | 16:45 | 0,82 | 4,90 | 08/03/18 00:30 | 162,61 |
| | 08/03/18 00:30 | 162,61 | 06:45 | 0,37 | 5,48 | 08/03/18 07:15 | 162,98 | 12:45 | 0,43 | 3,37 | 08/03/18 20:00 | 162,55 |
| | 08/03/18 23:30 | 162,55 | 09:00 | 0,45 | 5,00 | 09/03/18 08:30 | 163,00 | 15:45 | 0,48 | 3,05 | 10/03/18 00:15 | 162,52 |
| | 10/03/18 00:15 | 162,52 | 10:15 | 0,43 | 4,20 | 10/03/18 10:30 | 162,95 | 13:15 | 0,43 | 3,25 | 10/03/18 23:45 | 162,52 |
| Média | 21:38 | 162,65 | 08:16 | 0,77 | 9,32 | 05:54 | 163,42 | 16:53 | 0,77 | 4,55 | 22:47 | 162,66 |

Apêndice 4 – Características das ondas de elevação de cota d'água do Rio Uruguai monitoradas no período de 18/02/2018 a 11/03/2018, no Salto do Yucumã, com o auxílio de uma medidor automático de pressão do tipo CTD *data logger*

| | Início (mínima) | | Ascensão | | | Pico (máxima) | | Recessão | | | Término (mínima) | |
|----------|-----------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------------------------------|------------------|----------|
| | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia – Horário | Cota (m) | Tempo (horas) | Amplitude (m) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Dia - Horário | Cota (m) |
| Semana 1 | 20/02/18 3:45 | 133,01 | 06:00 | 2,39 | 39,77 | 20/2/18 9:45 | 135,40 | 15:45 | 2,37 | 15,05 | 21/2/18 1:30 | 133,03 |
| | 21/02/18 1:30 | 133,03 | 07:00 | 3,33 | 47,59 | 21/2/18 8:30 | 136,36 | 15:45 | 2,79 | 17,74 | 22/2/18 0:15 | 133,56 |
| | 22/02/18 0:15 | 133,56 | 07:30 | 2,82 | 37,59 | 22/2/18 7:45 | 136,38 | 17:00 | 2,76 | 16,22 | 23/2/18 0:45 | 133,63 |
| | 23/02/18 0:45 | 133,63 | 05:30 | 2,70 | 49,02 | 23/2/18 6:15 | 136,32 | 12:00 | 1,97 | 16,39 | 23/2/18 18:15 | 134,35 |
| | 23/02/18 18:15 | 134,35 | 08:45 | 1,40 | 15,97 | 24/2/18 3:00 | 135,75 | 00:45 | 2,74 | 11,06 | 25/2/18 3:45 | 133,01 |
| Semana 2 | 27/02/18 0:00 | 132,99 | 06:30 | 3,21 | 49,37 | 27/2/18 6:30 | 136,20 | 20:30 | 3,19 | 15,57 | 28/2/18 3:00 | 133,00 |
| | 28/02/18 3:00 | 133,00 | 08:15 | 2,95 | 35,75 | 28/2/18 11:15 | 135,95 | 15:45 | 2,51 | 15,96 | 1/3/18 3:00 | 133,44 |
| | 1/03/18 3:00 | 133,44 | 09:15 | 2,40 | 25,90 | 1/3/18 12:15 | 135,84 | 15:30 | 2,82 | 18,16 | 2/3/18 3:45 | 133,02 |
| | 2/03/18 3:45 | 133,02 | 08:15 | 2,96 | 35,88 | 2/3/18 12:00 | 135,98 | 13:00 | 2,39 | 18,41 | 3/3/18 1:00 | 133,59 |
| | 3/03/18 1:00 | 133,59 | 06:00 | 1,21 | 20,17 | 3/3/18 7:00 | 134,80 | 10:30 | 1,79 | 5,18 | 4/3/18 17:30 | 133,01 |
| Semana 3 | 5/03/18 23:30 | 133,01 | 06:45 | 3,20 | 47,35 | 6/3/18 6:15 | 136,21 | 21:15 | 2,96 | 13,95 | 7/3/18 3:30 | 133,24 |
| | 7/03/18 3:30 | 133,24 | 07:30 | 2,42 | 32,23 | 7/3/18 11:00 | 135,66 | 17:30 | 2,65 | 15,13 | 8/3/18 4:30 | 133,01 |
| | 8/03/18 4:30 | 133,01 | 07:00 | 1,19 | 16,93 | 8/3/18 11:30 | 134,20 | 14:00 | 1,19 | 8,49 | 9/3/18 1:30 | 133,01 |
| | 9/03/18 1:30 | 133,01 | 10:30 | 1,30 | 12,43 | 9/3/18 12:00 | 134,31 | 12:45 | 1,31 | 10,28 | 10/3/18 0:45 | 133,00 |
| | 10/03/18 0:45 | 133,00 | 13:45 | 1,09 | 7,92 | 10/3/18 14:30 | 134,09 | 11:00 | 1,09 | 9,91 | 11/3/18 1:30 | 133,00 |
| Média | 01:24 | 133,26 | 07:54 | 2,30 | 29,15 | 09:18 | 135,56 | 17:24 | 2,30 | 13,23 | 02:42 | 133,26 |

Apêndice 5- Médias das características das ondas de elevação de nível d'água de cada dia da semana monitoradas ao longo do Rio Uruguai, entre a UHE Foz do Chapecó e o Parque Estadual do Turvo (Derrubadas/Br e Missiones/Ar), nas seguintes estações fluviométricas: Foz do Chapecó Jusante (estação 74050000); Iraí (estação 74100000); Itapiranga (estação 74329000); e, Salto do Yucumã (sonda automática CTD de pressão

| | Dia da semana | Início (mínima) | | Ascensão | | | Pico (máxima) | | | Recessão | | | Término (mínima) | |
|-----------------|----------------|-----------------|------------|---------------|----------------|----------------------------------|---------------|------------|---------------|----------------|----------------------------------|---------|------------------|--|
| | | Horário | Nível (cm) | Tempo (horas) | Amplitude (cm) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Horário | Nível (cm) | Tempo (horas) | Amplitude (cm) | Velocidade (cm.h ⁻¹) | Horário | Nível (cm) | |
| Foz do Chapecó | Segunda- Feira | 07:40 | 220,00 | 09:00 | 147,67 | 16,95 | 16:40 | 367,67 | 13:00 | 148,67 | 11,96 | 05:40 | 219,00 | |
| | Terça-Feira | 08:00 | 219,00 | 08:20 | 144,33 | 17,75 | 16:20 | 363,33 | 14:00 | 138,00 | 9,94 | 06:20 | 225,33 | |
| | Quarta-Feira | 07:40 | 225,33 | 09:00 | 122,67 | 13,84 | 16:40 | 348,00 | 12:40 | 127,33 | 9,93 | 05:20 | 220,67 | |
| | Quinta-Feira | 08:40 | 220,33 | 08:00 | 125,00 | 16,21 | 16:40 | 345,33 | 10:20 | 112,00 | 11,47 | 03:00 | 233,33 | |
| | Sexta-Feira | 05:00 | 233,33 | 08:20 | 93,00 | 12,19 | 13:20 | 326,33 | 23:20 | 109,33 | 4,82 | 12:40 | 217,00 | |
| Iraí | Segunda- Feira | 09:20 | 153,67 | 08:45 | 131,33 | 15,57 | 18:05 | 285,00 | 14:05 | 129,67 | 10,11 | 08:10 | 155,33 | |
| | Terça-Feira | 10:20 | 155,00 | 09:50 | 125,67 | 13,46 | 20:10 | 280,67 | 14:40 | 121,33 | 8,48 | 10:50 | 159,33 | |
| | Quarta-Feira | 10:50 | 159,33 | 08:10 | 107,67 | 13,11 | 19:00 | 267,00 | 12:15 | 110,67 | 9,03 | 07:15 | 156,33 | |
| | Quinta-Feira | 10:35 | 154,00 | 07:55 | 114,33 | 14,45 | 18:30 | 268,33 | 11:45 | 101,67 | 9,01 | 06:15 | 166,67 | |
| | Sexta-Feira | 07:50 | 167,67 | 08:25 | 73,33 | 9,01 | 16:15 | 241,00 | 12:45 | 70,67 | 5,37 | 05:00 | 170,33 | |
| Itapiranga | Segunda- Feira | 19:55 | 56,33 | 08:30 | 99,00 | 11,90 | 04:25 | 155,33 | 18:15 | 92,67 | 5,09 | 22:40 | 62,67 | |
| | Terça-Feira | 22:40 | 62,67 | 08:25 | 94,00 | 11,35 | 07:05 | 156,67 | 15:30 | 87,33 | 5,66 | 22:35 | 69,33 | |
| | Quarta-Feira | 22:35 | 69,33 | 08:00 | 70,33 | 8,85 | 06:35 | 139,67 | 15:05 | 76,33 | 4,94 | 21:40 | 63,33 | |
| | Quinta-Feira | 22:50 | 63,33 | 08:10 | 78,67 | 10,09 | 07:00 | 142,00 | 13:10 | 66,67 | 5,28 | 20:10 | 75,33 | |
| | Sexta-Feira | 20:10 | 75,33 | 08:15 | 43,33 | 5,38 | 04:25 | 118,67 | 22:25 | 61,00 | 2,85 | 02:50 | 57,67 | |
| Salto do Yucumã | Terça-Feira | 01:05 | 53,29 | 06:25 | 293,04 | 45,50 | 07:30 | 346,33 | 19:10 | 284,21 | 14,86 | 02:40 | 62,12 | |
| | Quarta-Feira | 02:40 | 62,12 | 07:35 | 289,96 | 38,53 | 10:15 | 352,07 | 16:20 | 265,22 | 16,28 | 02:35 | 86,85 | |
| | Quinta-Feira | 02:35 | 86,85 | 07:55 | 213,35 | 26,81 | 10:30 | 300,20 | 15:30 | 225,37 | 14,29 | 02:00 | 74,83 | |
| | Sexta-Feira | 02:00 | 74,83 | 08:05 | 232,03 | 32,44 | 10:05 | 306,86 | 12:35 | 189,03 | 15,03 | 22:40 | 117,83 | |
| | Sábado | 22:40 | 117,83 | 09:30 | 123,23 | 14,69 | 08:10 | 241,06 | 23:25 | 187,20 | 8,72 | 07:35 | 53,86 | |