

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**

Rodrigo Schmitz Colpani

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE PREVISÃO DE ESTIAGEM
PARA RIOS DO RIO GRANDE DO SUL**

Porto Alegre

Maio 2021

RODRIGO SCHMITZ COLPANI

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE PREVISÃO DE ESTIAGEM
PARA RIOS DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Fernando Mainardi Fan

Porto Alegre

Maio 2021

RODRIGO SCHMITZ COLPANI

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE PREVISÃO DE ESTIAGEM
PARA RIOS DO RIO GRANDE DO SUL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, maio de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Mainardi Fan (IPH/UFRGS)

Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS

Prof. Alfonso Risso (IPH/UFRGS)

Dr. em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento IPH/UFRGS

Eng. Camila Bergmann Goulart

Msc. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS

Dedico este trabalho à minha família, pelo incentivo e apoio incessante para meu aprendizado e por estarem presentes nos momentos de dificuldade e de alegria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por terem provido de tudo aquilo que necessitei para atingir essa conquista. Além disso, passaram-me os mais preciosos valores e ensinamentos que levo todos os dias em minha vida.

Ao meu irmão, pelos momentos de descontração e companheirismo ao longo dos anos.

Ao Professor Fernando Mainardi Fan, por sua disponibilidade, dedicação e comprometimento. O compartilhamento incondicional de seu conhecimento, não somente neste trabalho, mas também em sala de aula, motiva-me a ser um engenheiro sempre em busca da excelência, com a devida responsabilidade e respeito para com o próximo.

Aos meus amigos, pelo suporte e parceria quando preciso e necessário. As amizades que fiz no colégio, cursinho e faculdade tiveram papel fundamental para que eu conseguisse realizar essa conquista.

Aos professores e colaboradores da UFRGS, cujas lições ao longo do curso forjaram o engenheiro que agora me torno e contribuem para que essa Universidade continue sendo destaque nacional e internacional.

Aos profissionais de saúde que combatem a pandemia da COVID-19 no Brasil.

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

RESUMO

O regime de vazão de rios é alvo contínuo de estudos. Seja para a determinação de secas ou inundações, seu entendimento e previsibilidade é fundamental para o funcionamento de atividades econômicas, desde a engenharia civil até a agricultura. Assim, o interesse para que se prevejam tais situações extremas, de escassez e de abundância, é justificado. O Rio Grande do Sul sofreu no ano de 2020 e 2021 com secas por diferentes justificativas, sendo em 2021 pelo conhecido efeito La Niña e 2020 por fatores distintos. O presente trabalho versa sobre a previsibilidade de estiagem para 5 diferentes rios do Rio Grande do Sul, com o objetivo de desenvolver e avaliar uma ferramenta que possa auxiliar autoridades competentes sobre decisões a serem tomadas para que a falta de água seja mitigada nas regiões adjacentes aos rios estudados. Os modelos desenvolvidos têm uso restrito para cada rio e cada estação estudada, já que os níveis são variáveis ao longo de seu curso. Foram utilizados para avaliação de resultados o erro relativo médio e erro relativo médio em módulo para diferentes horizontes. Para o rio dos Sinos, seus valores foram de aproximadamente -5% e 20% no horizonte do quinto dia, respectivamente. Para o rio Jacuí, os resultados dos erros foram cerca de -6% e 12% no horizonte do quinto dia, respectivamente. O rio Gravataí teve no horizonte do quinto dia resultados de aproximadamente -17,5% e 25%, respectivamente. Para o rio Taquari, os erros relativos médios foram cerca de -5% e erros relativos médios em módulo 7% para o horizonte do quinto dia. Por fim, o rio Uruguai teve como resultados de erros relativos médios de aproximadamente -22% e valor em módulo de cerca de 27% para o horizonte do quinto dia.

Palavras-Chaves: Modelo de previsão de estiagem. Rio Grande do Sul. Nível de Rios.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 RIOS EM ESTUDO: ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA AO RIO GRANDE DO SUL	12
3.1.1. Rio dos Sinos	12
3.1.2 Rio Jacuí	13
3.1.3 Rio Gravataí	14
3.1.4 Rio Taquari	15
3.1.5 Rio Uruguai	16
3.2 ESCOAMENTO DE BASE: REVISÃO E EXEMPLO DE MODELO	17
4 MÉTODOS	26
4.1 OBTENÇÃO DE DADOS DA PÁGINA DA ANA	26
4.2 ESCOLHA DE SECAS E DETERMINAÇÃO DE K MÉDIO, PERCENTIL 90 E PERCENTIL 10	28
4.3 TESTE DOS MODELOS DE PREVISÃO DE ESTIAGEM	33
4.4 CÁLCULO DOS ERROS ABSOLUTOS E MÉDIOS PARA DIFERENTES HORIZONTES	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6 CONCLUSÃO	44
7 REFERÊNCIAS	45
8 APÊNDICE A	47

1 INTRODUÇÃO

O regime de vazão de rios é de grande interesse da população. Desde o cumprimento de necessidades básicas, como abastecimento e saneamento básico, à importante participação na economia, como irrigação da agricultura e via marítima a embarcações, a necessidade de entendimento de seus extremos (secas e inundações) se mostra imperativa para o contínuo desenvolvimento da sociedade. Sendo assim, o estado do Rio Grande do Sul tem importantes rios que são expoentes suscetíveis a tais estudos, sobretudo no que diz respeito a secas.

A previsão de nível de rios em estiagens tem relevante importância para a atividade econômica gaúcha. Para a navegação, o nível de rios importa devido a necessidade de calado para que os barcos possam navegar. Destaca-se o rio Taquari dos rios navegáveis. A infraestrutura do transporte aquático também não se restringe somente a rios, tendo em vista os investimentos na última década sobre a nova ponte do Guaíba e o leilão do porto de Pelotas.

Há também outros setores econômicos dependentes do nível de água de rios. A mineração de areia, como no rio Jacuí, passa a ser restringida a partir de alturas menores de água. Da mesma maneira, a irrigação para culturas pode ser prejudicada por nível insuficiente de água nos corpos d'água em que são captadas. A geração de energia hidrelétrica também depende da altura dos rios em que há esse potencial, como Uruguai. Em caso de estiagens, pode ser necessário que se usem usinas termelétricas para suprir o déficit energético, que além de serem mais agressivas ao meio-ambiente, também têm custo maior, que é repassado ao consumidor final. Por fim, o abastecimento de populações em geral pode ser afetado, caso as bombas de alimentação do sistema estejam acima da altura do rio que está em um período de seca.

O Rio Grande do Sul é dividido em 3 grandes bacias hidrográficas: Bacia do Guaíba, Bacias Litorâneas e Bacia do Rio Uruguai. Dentro dessas bacias, são criadas subdivisões, chamadas regiões hidrográficas. A Bacia do Rio Uruguai compreende 57% do território, a do Guaíba 30% e as Litorâneas compreendem 13%, segundo *site* da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (2020). Por ter grande influência na atividade econômica do estado, seja pela pecuária, agricultura ou atividades industriais, além da já referida importância ao dia a dia da

sociedade, efeitos como o fenômeno *La Niña* podem trazer grandes prejuízos, tanto humanitário quanto financeiramente. Além disso, há ainda fatores que podem acarretar numa estação mais seca que o comum, como ventos e temperaturas acima do normal da média histórica.

Analisando os últimos 20 anos do estado do Rio Grande do Sul, nota-se que ocorreram um número significativo de secas, a se destacar as dos anos de 2005, 2008, 2012, 2020 e 2021. Dessa maneira, propõe-se o estudo de secas de 5 diferentes rios do estado. Para isso, utiliza-se um método chamado de Extrapolação Logarítmica de Vazão (em tradução livre de *Extrapolating Logarithmic Flow*). O escoamento de base de rios (a ser explorado nos capítulos subsequentes) é o fator de maior interesse para que sejam determinados os modelos de previsão de estiagem. Os rios foram escolhidos por se situarem em regiões metropolitanas e/ou sua importância econômica, além de terem grandes bacias hidrográficas.

Devido aos frequentes períodos de estiagem no estado do Rio Grande do Sul, é de grande interesse a previsibilidade de níveis de rios. Tal ferramenta pode permitir a autoridades tomadas de decisões mais acuradas quanto a futuras necessidades, seja quanto a economia, quanto o uso de água para necessidades básicas da população. Segundo reportagem do Jornal VS (2020), ocorreu no mesmo ano a pior seca dos últimos 35 anos, mesmo sem a presença do fenômeno tipicamente causador, *La Niña*. Conforme meteorologista da MetSul, Estael Sias, a estiagem ocorreu por causa da umidade da Amazônia, responsável por boa parte das chuvas do estado do RS, ter se concentrado na região central do Brasil.

Segundo a página CLIMATEMPO (2020), até o dia 24/01/2020, haviam sido relatadas 6719 perdas pela seca nos sistemas Proagro e Seguro Rural. A principal cultura afetada foi o milho, totalizando 3057 avisos, e em destaque também estavam a soja e a uva. Já o *site* UOL (2020), destacou à época que o cenário para o plantio de trigo era animador para o Brasil, entretanto, preocupante para o Rio Grande do Sul, devido à estiagem.

2 OBJETIVOS

O trabalho propõe modelos de previsão de estiagem para 5 diferentes rios do Rio Grande do Sul. Os rios a serem verificados pelo modelo serão os seguintes: rio dos Sinos, rio Jacuí, rio Gravataí, rio Taquari e rio Uruguai. Situam-se na Bacia Hidrográfica do Uruguai e na Bacia Hidrográfica do Guaíba. A questão de pesquisa é: é possível desenvolver modelos de previsão de estiagem para rios com adequada acurácia de resultados?

O objetivo principal do estudo é calcular e verificar a validade de modelos de previsão de secas para rios do estado do Rio Grande do Sul. O resultado da pesquisa é restrito aos rios e estações de medição utilizados, já que não são desenvolvidas equações generalizadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RIOS EM ESTUDO: ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA AO RIO GRANDE DO SUL

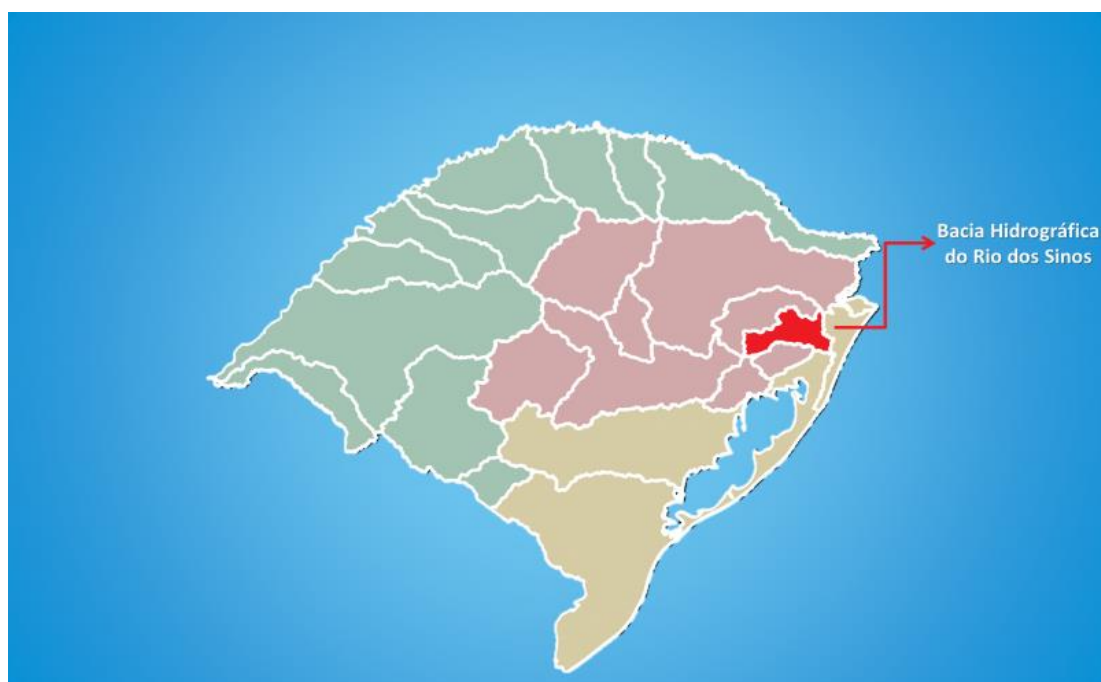
3.1.1. Rio dos Sinos

O rio dos Sinos nasce na cidade de Caraá, a cerca de 800 m de altitude em relação ao nível do mar, e tem uma bacia hidrográfica de 3694 km². Nela, estão inseridos 30 municípios, compondo uma população majoritariamente urbana, cerca de 1.375.288 habitantes, e 72.390 de habitantes no meio rural, conforme a página da SEMA (2020). O rio dos Sinos desemboca em Canoas, no delta do Jacuí.

Segundo o *site* COMITESINOS (2010), há uma rica e original fauna e flora no local. Lontra e jacaré-do-papo-amarelo são alguns dos animais da região, sendo estes ameaçados de extinção. O rio é considerado um dos mais poluídos do Brasil, sendo a mortandade de 90 toneladas de peixe em outubro de 2006 um dos expoentes dessa situação.

Segundo Figueiredo et al. (2010), a economia da região é diversa, incluindo pecuária e agricultura. O destaque, no entanto, é a indústria do couro e do calçado. Estima-se que a bacia hidrográfica do rio dos Sinos é responsável por 21% do PIB do Rio Grande do Sul.

Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos



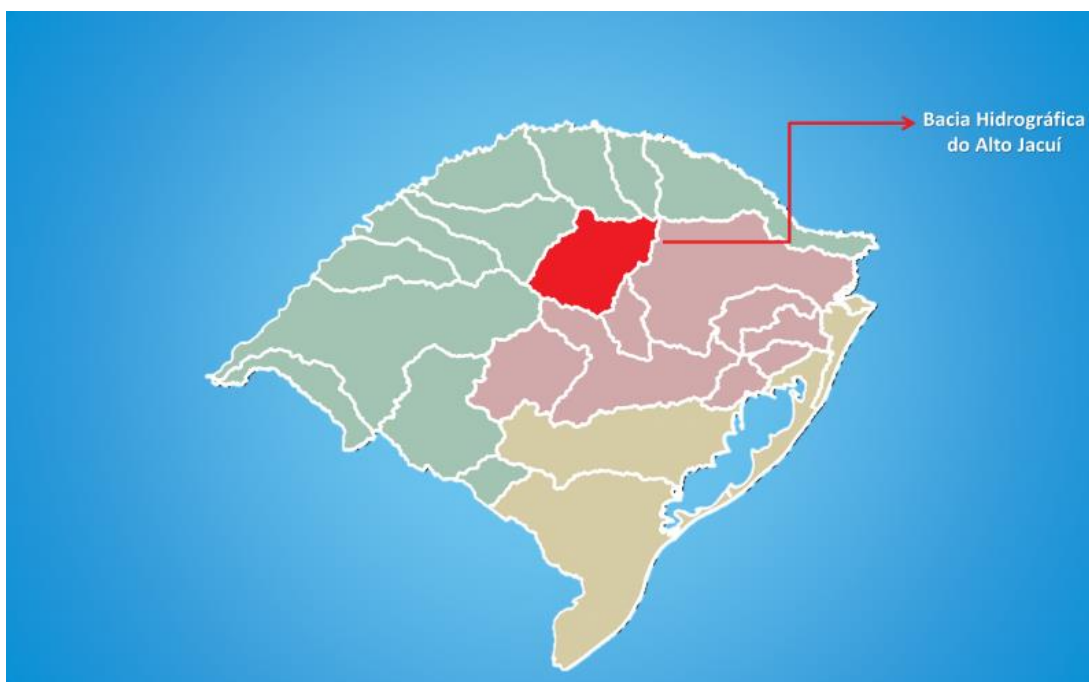
Fonte: SEMA, 2020.

3.1.2 Rio Jacuí

A nascente do rio Jacuí ocorre no limite dos municípios de Passo Fundo e Mato Castelhano. A área que abrange sua bacia hidrográfica é de 71.600 km², segundo a página da FEPAM (2020). O rio é um importante meio de navegação no estado do Rio Grande do Sul, tem comprimento total estimado em 710 km e significativa importância econômica ao longo de seu curso, além de receber águas de rios como Vacacaí, Taquari, entre outros. Por sua extensão, a bacia foi dividida entre Alto e Baixo Jacuí.

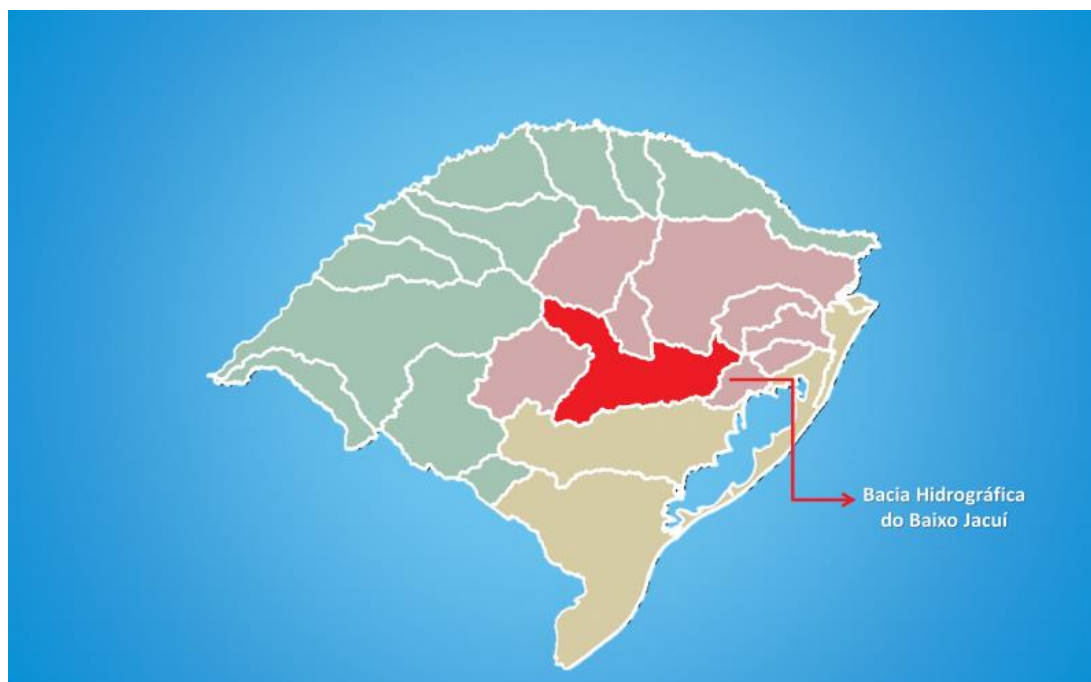
Conforme Ziani, Foletto e Wollmann (2017), o Alto Jacuí compreende a região do centro-norte do Rio Grande do Sul, com 42 municípios. A agricultura é a principal atividade econômica, além de grandes reservatórios para produção de energia hidrelétrica. A população divide-se 60% em áreas urbanas e 40% em áreas rurais.

Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí



Fonte: SEMA, 2020.

Segundo o *site* do MPRS (2020), o Baixo Jacuí abrange municípios do centro-leste do estado, como Triunfo. A bacia tem como principais atividades abastecimento para irrigações, atividades industriais (indústria química, siderúrgica, entre outras), extração de carvão e areia e uso da população.

Figura 3 – Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí

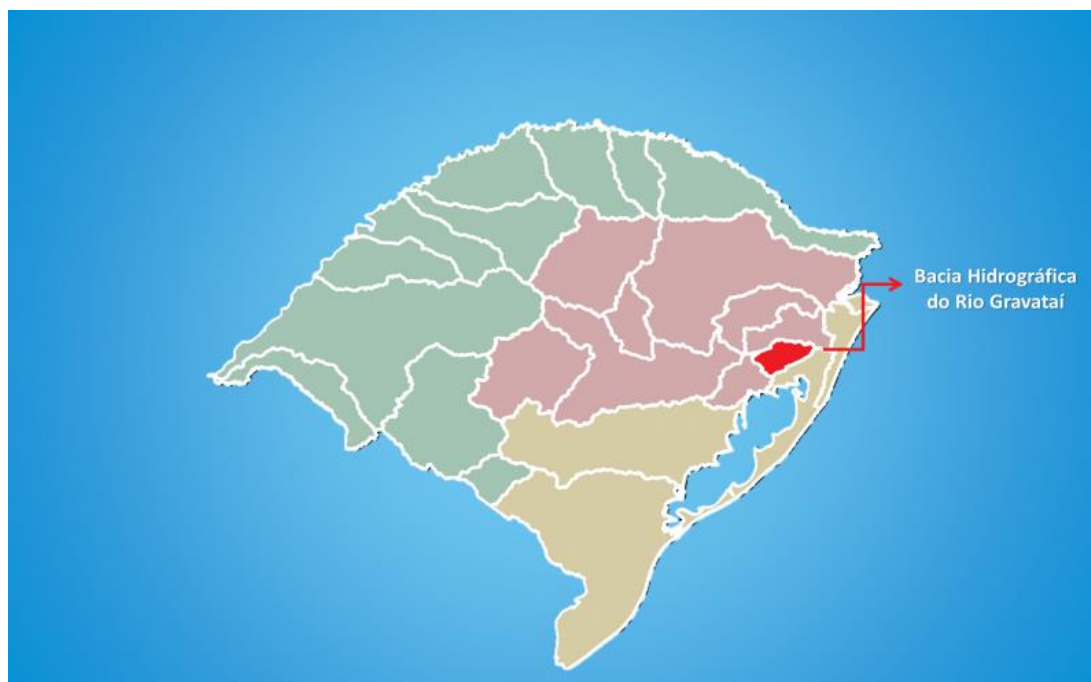
Fonte: SEMA, 2020.

3.1.3 Rio Gravataí

De acordo com Guasselli (2018), o rio Gravataí nasce nos Banhados Grande e dos Pachecos. Sua bacia hidrográfica é de aproximadamente de 2020 km² e percorre cerca de 61,4 km. Apesar de ser considerado pequeno, tem grande importância ao Rio Grande do Sul, sendo responsável pelo abastecimento de 1.255.730 habitantes, incluindo cidades como Porto Alegre, Canoas e Gravataí.

O Banhado Grande atua como regulador de vazão do rio, conforme *site* da FEPAM (2020) e sua bacia hidrográfica abriga espécies endêmicas. O Banhado Grande sofreu com grandes impactos ambientais pela exploração predatória, principalmente pela atividade agrícola.

A região superior da bacia tem atividade predominantemente agrícola, com irrigação de lavouras de arroz. Já a região inferior tem uso urbano-industrial. O rio recebe grande carga de despejos domésticos e industriais, terminando por desaguar no delta do Jacuí.

Figura 4 – Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí

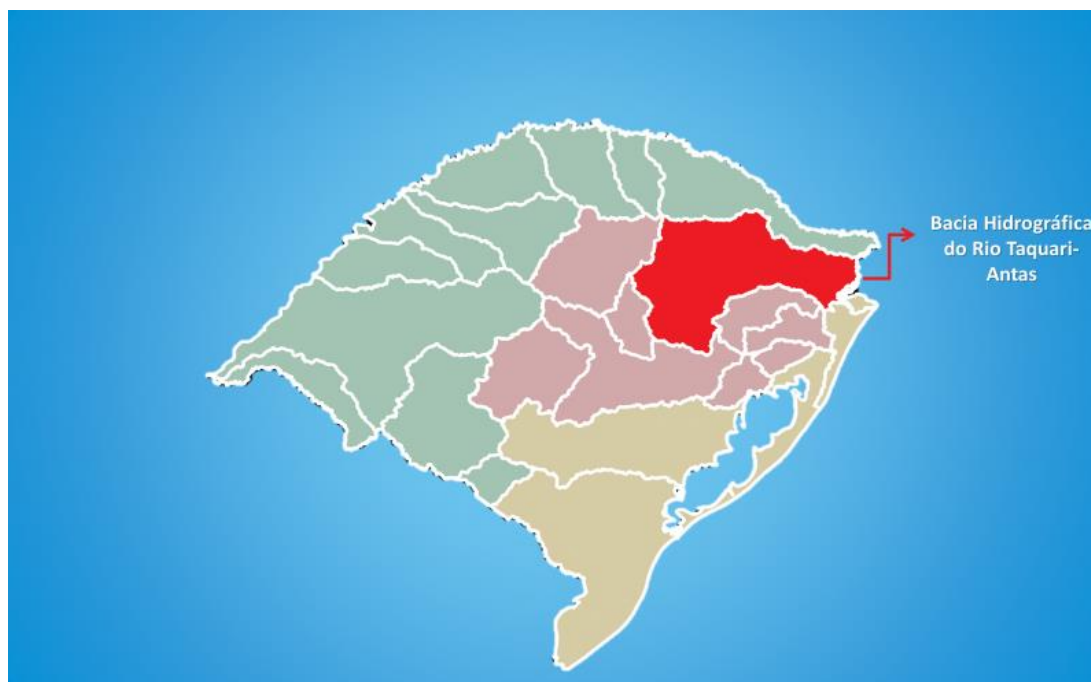
Fonte: SEMA, 2020.

3.1.4 Rio Taquari

O rio Taquari nasce em Planalto dos Campos Gerais, sendo chamado de rio das Antas até receber as águas do rio Guaporé, na cidade de Muçum, segundo a página da FEPAM (2020). Abrange 26.428 km² e 98 municípios, atendendo 1.383.442 habitantes, segundo a SEMA (2020).

A bacia hidrográfica do rio Taquari tem regiões íngremes, como a unidade de preservação do Parque Nacional dos Aparados da Serra, em Cambará do Sul. Essas regiões de encosta de vale têm áreas bem preservadas, devido à dificuldade de acesso para agricultura e outras atividades predatórias.

Os municípios banhados pela bacia do rio Taquari representam 20% do PIB gaúcho, a partir de dados de 2020. Destaca-se a navegabilidade do rio, e as atividades que se desenvolvem ao longo de seu curso como: vestuário, metalurgia, madeira, produtos alimentares.

Figura 5 – Bacia Hidrográfica Rio Taquari

Fonte: SEMA, 2020.

3.1.5 Rio Uruguai

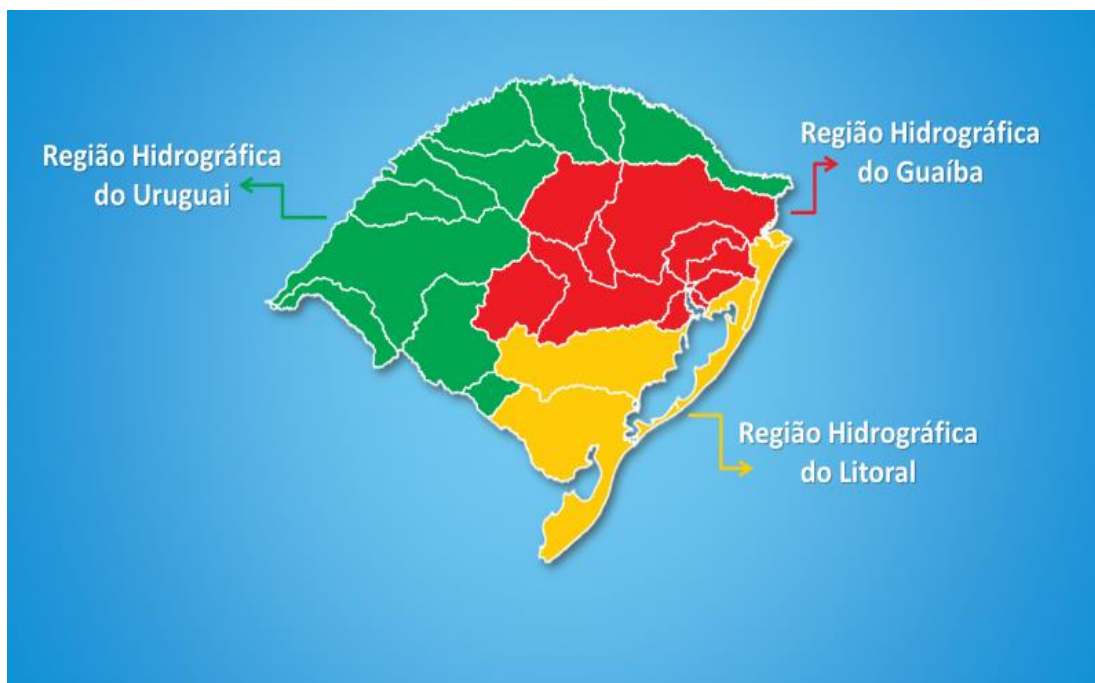
A bacia do rio Uruguai ocupa uma área aproximada total de 349.843 km², sendo 126.372 km² no estado do Rio Grande do Sul, segundo Marcuzzo (2017). Sua nascente é no município de Marcelino Ramos. Conforme a página da FEPAM (2020), a bacia do rio Uruguai atende 2.416.404 habitantes da região, abrangendo 286 municípios.

Por ser de grandes proporções, a bacia hidrográfica é subdividida em outras 10 regiões, que sofrem com diversos problemas ambientais. Desmatamento de matas ciliares, despejo de rejeitos sem tratamento, retirada de água significativa para irrigações.

Tem grande importância econômica para as atividades econômicas do estado. O rio Uruguai, pelas grandes vazões que apresenta, tem grande potencial hidrelétrico, como a Usina de Itá (divisa do estado do Rio Grande do Sul com Santa Catarina), que é a maior de todas instaladas no rio, sendo responsável por gerar metade da energia utilizada no Rio Grande do Sul, segundo G1 (2014). Outros exemplos de usinas hidrelétricas são a Foz do Chapecó e a Usinda de Machadinho.

A pecuária e as culturas de arroz, milho e soja são os outros usos principais que se tem na região da bacia do rio Uruguai.

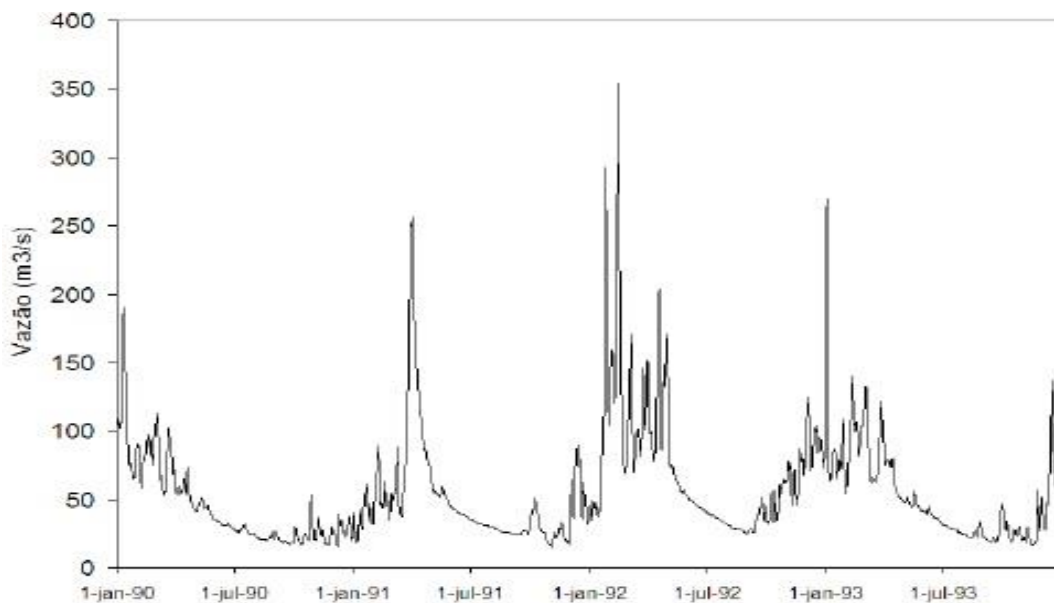
Figura 6 – Bacia Hidrográfica do Uruguai, em verde



Fonte: SEMA, 2020.

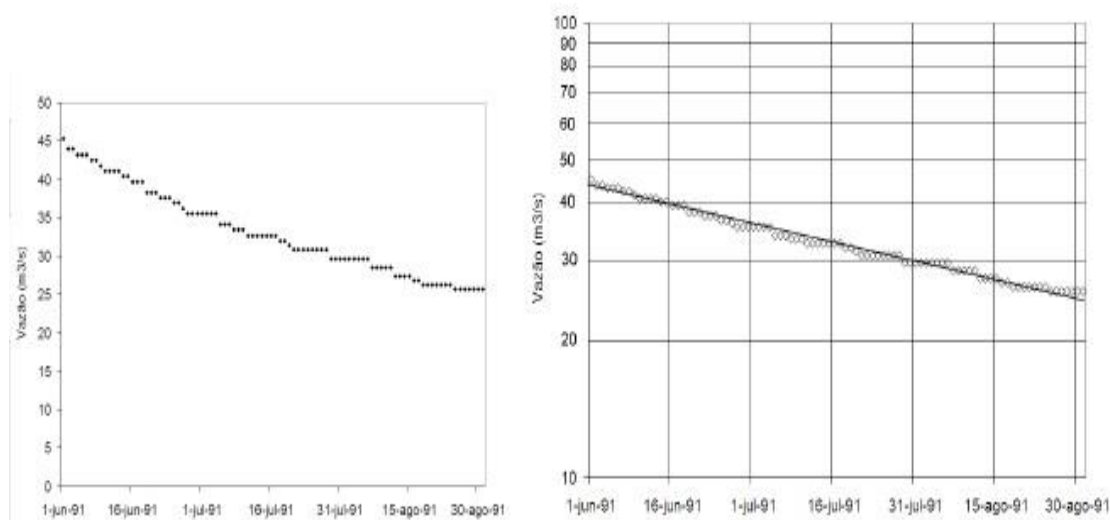
3.2 ESCOAMENTO DE BASE: REVISÃO E EXEMPLO DE MODELO

O escoamento de base é a primeira característica a ser definida para compreensão do método desenvolvido ao longo do trabalho. Conforme Collischonn e Tassi (2008, p. 130), o escoamento de base é a vazão do rio que é mantida pelo aquífero em períodos sem chuva. Assim, ao se analisar o hidrograma de rios em períodos de estiagem, verifica-se que a vazão decresce de maneira mais lenta, semelhante a uma exponencial. A recessão dos hidrogramas pode ser verificada com maior facilidade em rios com regime de chuvas sazonais. Abaixo, a Figura 7 apresenta um exemplo gráfico do rio dos Bois sobre o que se espera e o que se analisa para verificar um escoamento de base.

Figura 7 - Hidrograma do Rio dos Bois

Fonte: Collischonn, 2008.

É possível verificar 2 diferentes padrões de quedas de vazão. Logo no início, a esquerda, pode-se notar que há uma queda abrupta das vazões, já que o rio dos Bois, que está no estado de Goiás, tem médias de chuvas maiores para os meses de verão. Portanto, ocorrem simultaneamente vazões de escoamento devido a precipitações e escoamento de base. Já no inverno de 1991, período em que as chuvas são escassas na região do rio dos Bois, nota-se o decréscimo da curva da vazão de maneira mais suave, como descrito acima. A recessão do hidrograma, como já descrita acima, assemelha-se a uma exponencial decrescente. A Figura 8 mostra as vazões do hidrograma do rio dos Bois, uma descrita em valores aritméticos e outra em escala logarítmica.

Figura 8 - Vazão do rio dos Bois no inverno de 1991

Fonte: Collischonn, 2008.

O gráfico demonstrado na Figura 8 sugere que podemos escrever a vazão do rio dos Bois (e dos rios estudados nesse trabalho) para momentos de secas da seguinte maneira.

Equação 1 - Previsão de vazão para períodos de seca, com predomínio de escoamento de base

$$Q(t) = Q(0) * e^{\frac{-t}{k}}$$

Fonte: Collischonn, 2008.

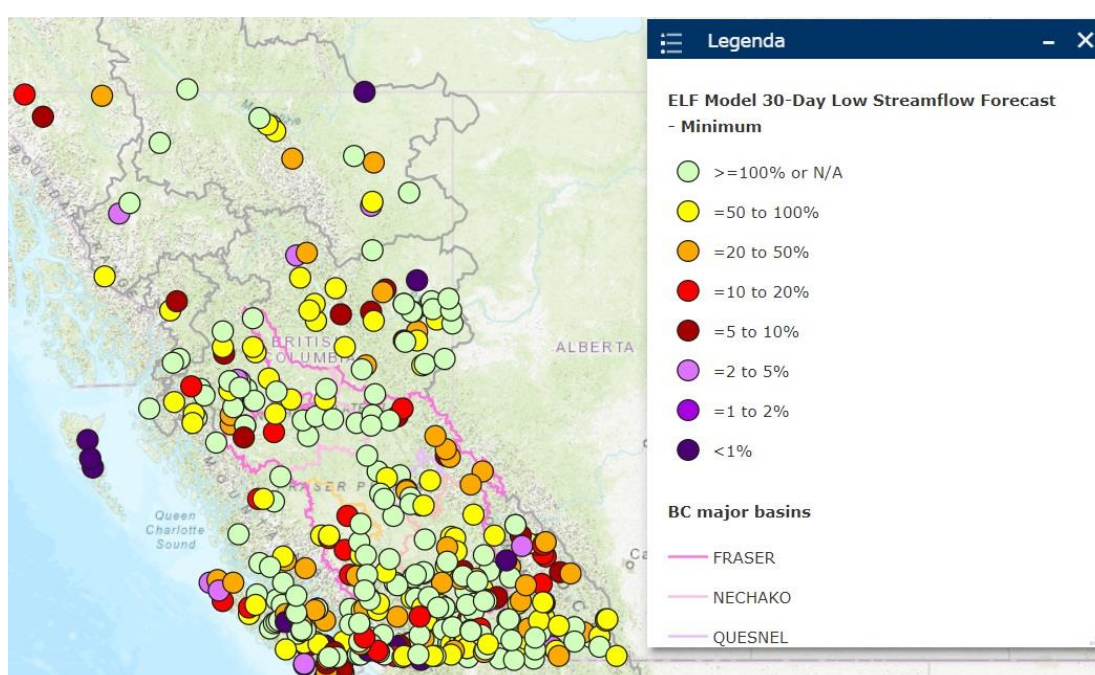
onde $Q(t)$ é a vazão num instante t ; $Q(0)$ é a vazão no instante t_0 ; e é a base dos logaritmos naturais; t é o tempo; e k é uma constante em unidades de t .

O fator principal de estudo e de interesse de determinação é a constante “ k ”. Para cada rio existirá um valor de “ k ”, devido a diferentes características, como regime de chuvas, velocidade com que o aquífero descarrega água no rio em períodos de recessão, entre outros. Sugere-se que o valor de “ k ” seja determinado a partir de uma média de valores calculados para secas já registradas, já que ocorrem variações dos fatores descritos para um mesmo tempo e uma mesma região.

Segundo Luo (2008, p.1), o modelo de extrapolação logarítmica de vazão (ELF, em inglês) tende a prever melhor a vazão em secas para períodos menores

que 30 dias. Na Colúmbia Britânica, província mais a oeste de Canadá, o modelo é utilizado como previsor de comportamento de vazão do rio, através do Centro de Previsão de Rio (em tradução livre). A Figura 9 apresenta o mapa com as estações instaladas, acompanhadas de sua legenda. O estado está delimitado pelas linhas cinzas fortes. A cor verde representa vazão igual ou maior a 100% da vazão média anual; a amarela, de 50 a 100%; a laranja, de 20 a 50%; a vermelha, de 10 a 20%; a bordô, de 5 a 10%; a rosa, de 2 a 5%; a roxa, de 1 a 2%; e a preta, valores menores que 1% da vazão média anual.

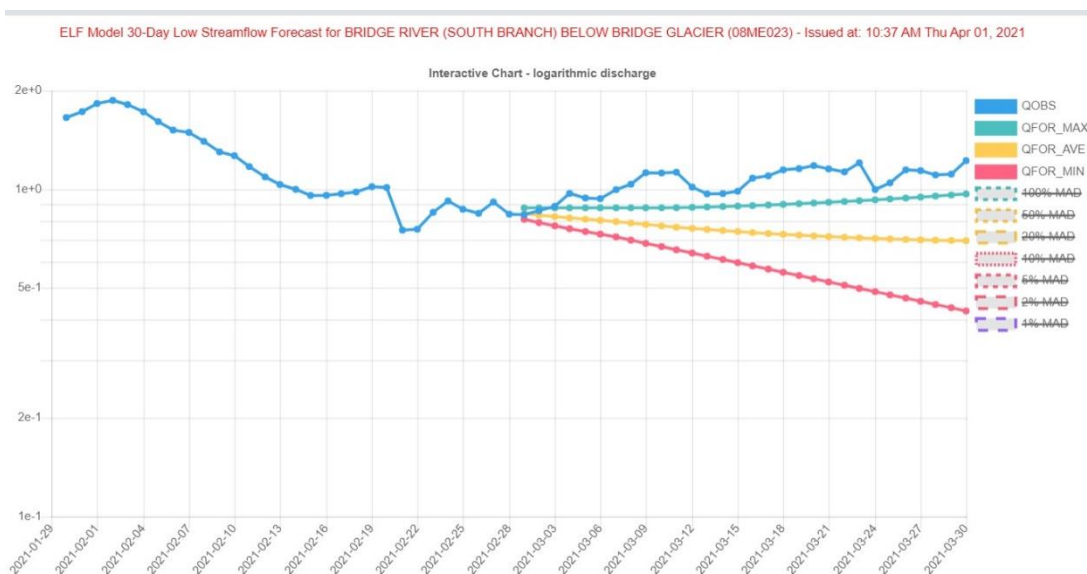
Figura 9 – Mapa com estações no estado da Colúmbia Britânica e legenda



Fonte: British Columbia River Forecast Centre, 2021.

No momento de consulta, é possível afirmar que o estado tinha boa parte de seus corpos hídricos em boas condições, sem que fossem preocupantes as possíveis secas. A Figura 10 traz um exemplo de uma dessas estações, com suas medições e previsões.

Figura 10 – Exemplo de previsão do modelo ELF para um rio canadense



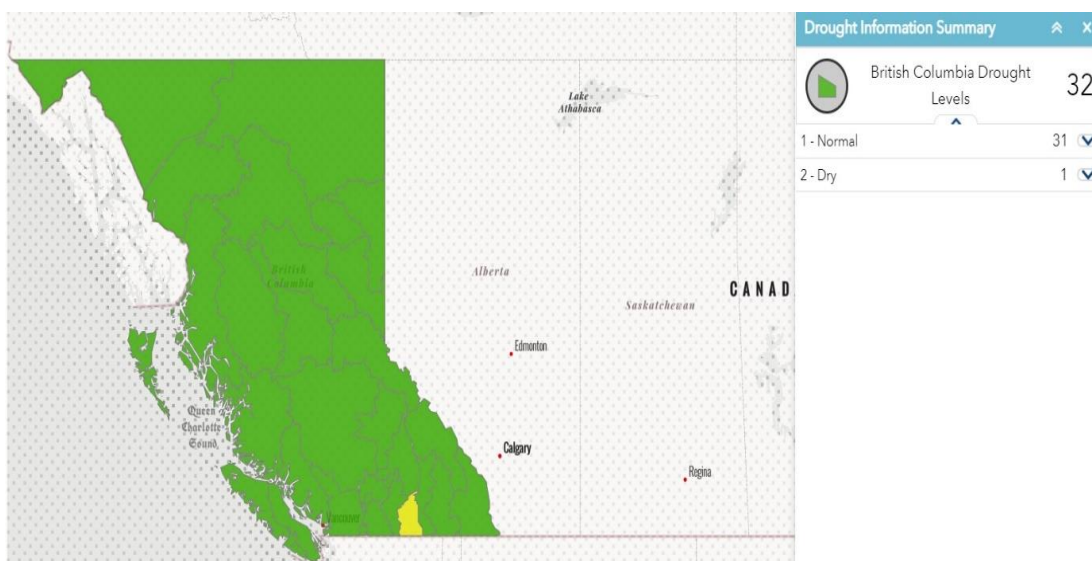
Fonte: página de British Columbia River Forecast Centre, 2021.

Na Figura 10, notam-se 4 principais vazões estudadas. A linha azul representa a vazão observada no posto de controle, ou seja, a que efetivamente ocorreu. A linha verde é a vazão máxima prevista para o período com tais condições, é uma linha ascendente. A linha amarela é vazão média esperada para as condições do momento em que estava sendo estimada. Por fim, a linha vermelha é a vazão mínima, que é decrescente pois estima um constante déficit de água ao longo dos dias, por falta de reabastecimento do rio por chuvas regulares. A análise para o rio da Figura 10 começa no dia 28/02/2021. As vazões estão na escala logarítmica.

É importante ressaltar que o estudo a ser apresentado na sequência desse trabalho versa somente sobre momentos de estiagem. Nota-se na Figura 10 que o sistema prevê diminuição e aumento de vazões, e que, para a situação apresentada, a vazão observada foi maior que a esperada.

Ainda sobre o modelo adotado na Colúmbia Britânica, pode-se consultar em seu *site* as condições atuais do estado, bem como históricos da situação de seca. Observa-se na Figura 11 a classificação das regiões para o dia 24/04/2021 e a Figura 12 apresenta um histórico para todas as 32 regiões do estado.

Figura 11 – Mapa do estado da Colúmbia Britânica para o dia 24/04/2021



Fonte: página British Columbia River Forecast Centre, 2021.

A convenção de cores utilizadas para classificação das regiões são: verde, para situações normais; amarelo, para condições de seca amena; laranja para seca forte e vermelha para seca extrema. Como se pode notar na Figura 11, o estado da Colúmbia Britânica se encontra quase todo em situação normal de vazões, a exceção de uma pequena região ao sul chamada Kettle. O período de seca ocorre tipicamente entre os meses de maio a outubro.

Figura 12 – Histórico das regiões da Colúmbia Britânica entre junho e outubro de 2020

2020 DROUGHT LEVELS AT A GLANCE												
Drought Levels:	1	Normal	2	Dry	3	Very Dry	4	Extremely Dry				
BASINS	24-Jun	13-Jul	22-Jul	05-Aug	19-Aug	02-Sep	10-Sep	16-Sep	23-Sep	28-Sep	30-Sep	14-Oct
Fort Nelson	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
East Peace	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
North Peace	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
South Peace	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Northwest	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Stikine	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Skeena-Nass	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bulkley-Lakes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Finlay	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parsnip	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Upper Fraser West	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Upper Fraser East	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Upper Columbia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lower Columbia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
West Kootenay	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
East Kootenay	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1
Kettle	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Middle Fraser	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
North Thompson	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
South Thompson	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-Salmon River	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nicola	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
-Coldwater River	1	1	1	1	3	3	4	4	4	4	4	1
Okanagan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Similkameen	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1
Skagit	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
Lower Fraser	1	1	1	1	1	2	2	3	3	1	1	1
South Coast	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Central Coast	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
West Vancouver Island	1	1	1	2	2	2	2	3	3	2	1	1
East Vancouver Island	1	1	2	2	2	2	3	3	3	2	2	1
Haida Gwaii	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Prepared By: Water Management Branch - Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development

Fonte: página da British Columbia River Forecast Centre, 2020.

Há histórico para o ano de 2015 e os seguintes disponíveis no portal de informação sobre seca da Colúmbia Britânica. Na Figura 12, notam-se regiões classificadas com as cores laranja e vermelho, as classificações de maior preocupação, no ano de 2020. Ao atingir a classificação laranja em setembro, a região de *East Vancouver Island* emitiu um boletim no dia 10/09/2020 com medidas a serem adotadas pela população da cidade de Victoria, que é a capital da Colúmbia Britânica e está inserida nessa região. O boletim original pode ser lido na Figura 13.

Figura 13 – Boletim informativo para a população de Victoria

General water conservation tips:

At home:

- Limit outdoor watering.
- Do not water during the heat of the day or when it is windy.
- Consider planting drought-tolerant vegetation.
- Take shorter showers.
- Do not leave taps running.
- Install water-efficient showerheads, taps and toilets.

On the farm:

- Implement an irrigation scheduling program using real-time weather data.
- Schedule irrigation to match crop needs and soil storage capacity.
- Improve water system efficiencies and check for leaks.
- Focus on high-value crops and livestock.

Industry:

- Reduce non-essential water use.
- Recycle water used in industrial operations.
- Use water-efficient methods and equipment.

Fonte: British Columbia River Forecast Centre, 2020.

As recomendações feitas a população da cidade se dividem sobre o tipo de uso de água dos rios. Foi pedido, a época, que as pessoas em casa evitassem deixar torneiras abertas, tomassem banhos mais curtos e que não utilizassem a água durante as horas mais quentes e ventosas do dia, por exemplo. Já no meio rural, foi recomendado a implementação de irrigação que se adequa as condições climáticas do momento, que se checassem possíveis vazamentos. Por fim, para a indústria a recomendação foi a redução do uso de água não essencial, o reaproveitamento dela nas operações e uso de equipamentos e métodos eficientes para redução de consumo. O boletim ainda reforça a importância da participação das pessoas na economia da água no momento de escassez, já que ela é necessidade para a sobrevivência do ecossistema, peixes e para o desenvolvimento econômico.

O *site* BC River Forecast Centre também alerta sobre as limitações da adoção do modelo de extrapolação logarítmica de vazões. Segundo ele, as previsões devem ser adotadas e servir de referência para medidas como estas relatadas no boletim

acima, mas não devem servir como base de dados para qualquer tipo de dimensionamento ou outro propósito.

As ações recomendadas nos boletins partem do Plano de Resposta a Seca da Colúmbia Britânica (*British Columbia Response Plan*, em inglês). Esse documento foi elaborado com a união de diversas fontes de dados de diferentes entes, como o Ministério da Agricultura da Colúmbia Britânica, Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática da Colúmbia Britânica, Ministério da Saúde da Colúmbia Britânica, entre outros.

O documento discorre sobre diferentes ferramentas e respostas sobre condições de estiagem. Algumas ferramentas descritas são a suspensão da distribuição da água que é desviada de seu curso natural, como para irrigações ou o desvio de outros corpos hídricos para proteger os peixes e contribuir que a atividade pesqueira continue funcionando.

Já as respostas se dividem nas 4 principais classificações já descritas. Para a classificação verde, a ênfase é sobre a preparação para a possível seca. Para a amarela, a ênfase é para o preparo de um possível agravamento da estiagem, sendo divulgados pedidos de economia de água e agricultores são aconselhados a terem seus reservatórios enchidos. Para a laranja, são adotadas medidas da fase amarela, além de serem requisitadas as empresas de grande uso de água a terem seu uso racionalizado, se possível. O governo pode tomar medidas restritivas. Por fim, na classificação vermelha, as informações e pedidos de racionalização de consumo são intensas, podem ocorrer desvios de água de cultura anuais para culturas perenes e de maior valor, além de ser providenciada assistência para a população que esteja vulnerável ao desabastecimento de água.

As recomendações pós seca são de revisão de dados, para recalibrar o sistema ELF e as futuras previsões, restaurar as condições de fornecimento de água e desfazer os possíveis desvios feitos nos cursos, reconhecimento público e registro de industriais e pessoas que demonstraram grande ética na administração da estiagem, entre outros.

Os modelos desenvolvidos e testados no presente trabalho poderiam ser acoplados no mesmo tipo destes apresentados. Assim, serviriam de ferramenta para a gestão durante estiagens no Rio Grande do Sul.

4 MÉTODOS

O método utilizado se divide em 4 etapas, representadas no fluxograma abaixo.

Figura 14 – Fluxograma para cálculo de modelo de previsão de estiagem

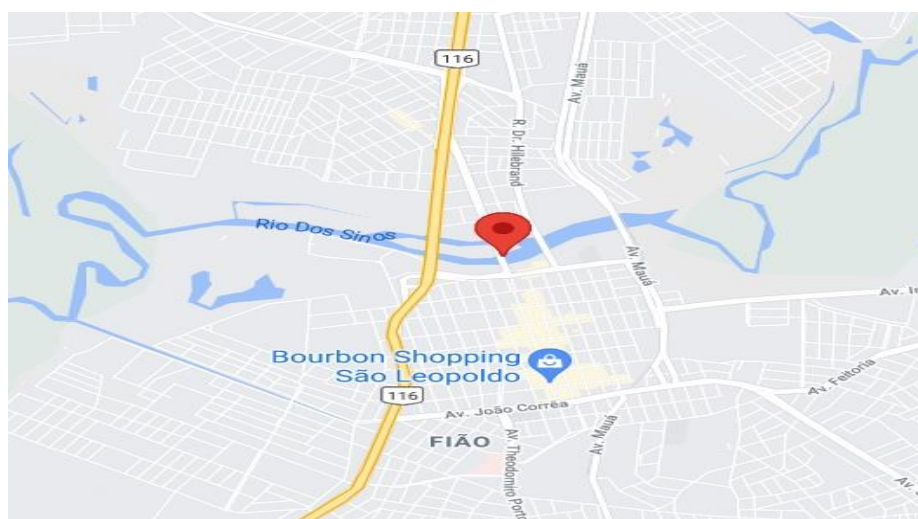


Fonte: própria do autor.

4.1 OBTENÇÃO DE DADOS DA PÁGINA DA ANA

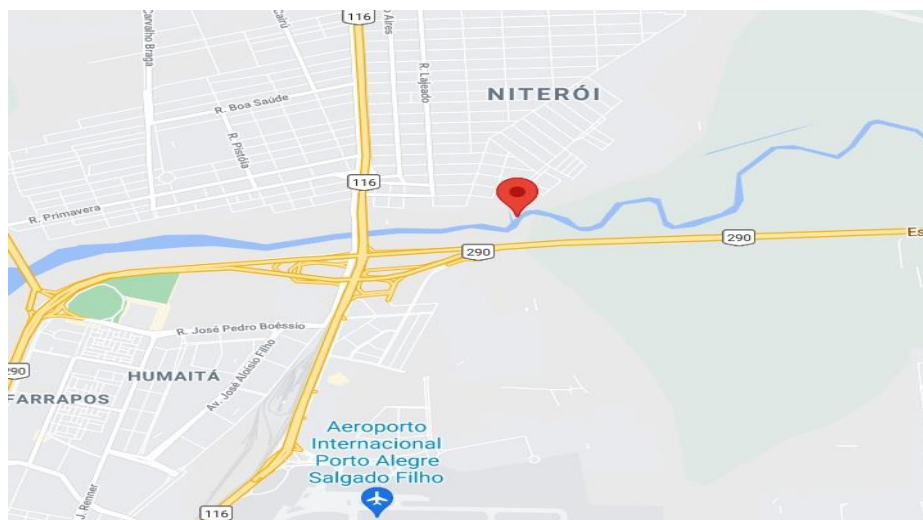
As estações fluviométricas foram escolhidas de acordo com a disponibilidade de dados referentes a leituras diárias de nível de rio. Assim, estações que apresentavam inconstância nas coletas diárias de alturas, foram excluídas. Os dados estão disponíveis no *site* da ANA. As estações estão indicadas com um ponto vermelho nas Figuras 15, 16, 17 18 e 19, que indicam as respectivas localizações.

Figura 15 - Rio dos Sinos: em São Leopoldo, latitude -29.7589 e longitude -51.1483



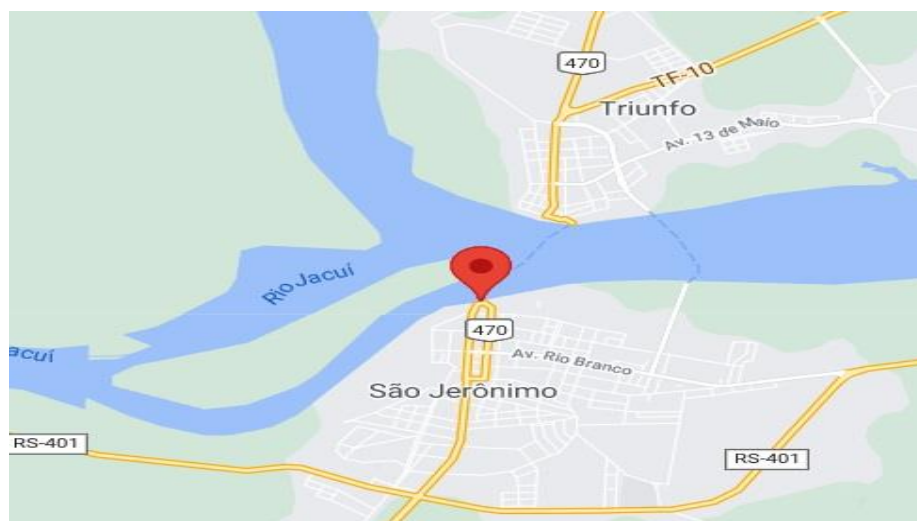
Fonte: Google Maps, 2021.

Figura 16 - Rio Gravataí: em Canoas, latitude -29.9658 e longitude -51.1656



Fonte: Google Maps, 2021.

Figura 17 - Rio Jacuí: em São Jerônimo, latitude -29.9533 e longitude -51.7239



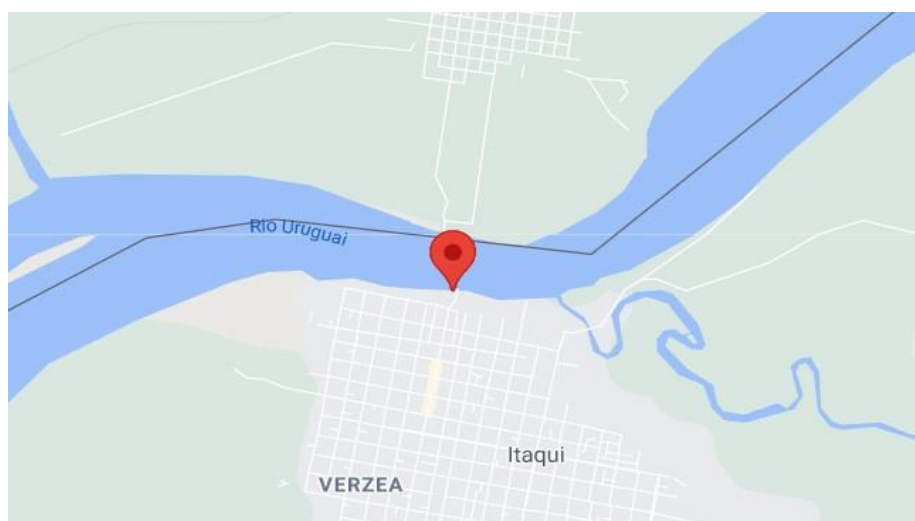
Fonte: Google Maps, 2021.

Figura 18 - Rio Taquari: em Taquari, latitude -29.8069 e longitude -51.8758



Fonte: Google Maps, 2021.

Figura 19 - Rio Uruguai: em Itaqui, latitude -29.1175 e longitude -56.5544



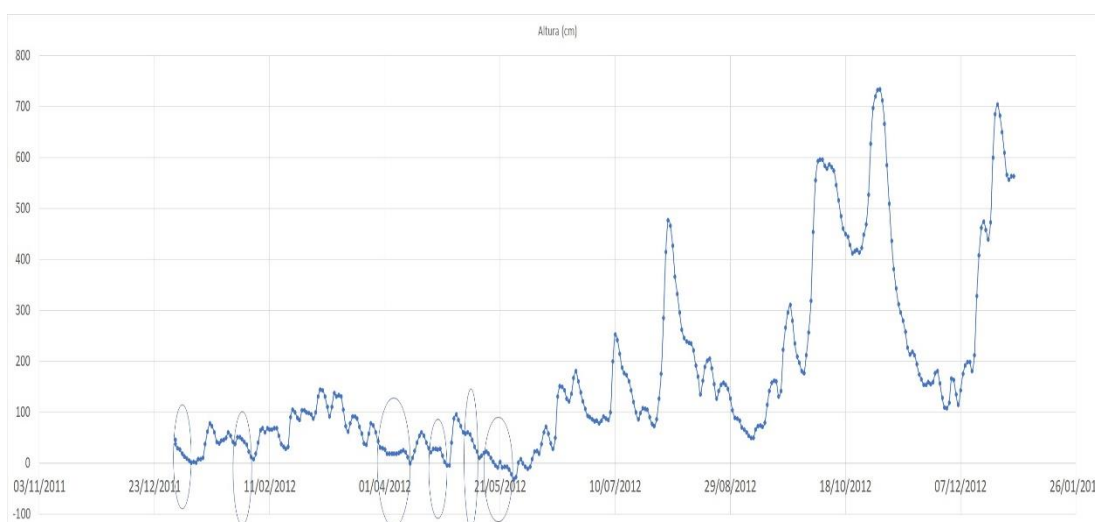
Fonte: Google Maps, 2021.

4.2 ESCOLHA DE SECAS E DETERMINAÇÃO DE K MÉDIO, PERCENTIL 90 E PERCENTIL 10

As secas foram escolhidas a partir da verificação da ocorrência de predominância de escoamento de base em seus hidrogramas. O ano escolhido para a criação dos modelos de estiagem foi o de 2012, por conveniência. O nível de rio escolhido para início de execução do modelo variou para cada um dos cinco casos

estudados, já que cada rio tem suas particularidades, como tamanho de leito. Esses níveis foram selecionados de maneira empírica, a partir da observação do hidrograma anual analisado. A Figura 20 demonstra um exemplo da seleção de secas, que estão circuladas.

Figura 20 – Alturas do Rio Uruguai em 2012 para seleção de secas



Fonte: própria do autor.

Como explorado na seção 3, o trabalho busca estimar vazões a partir do desenvolvimento de modelos de estiagem. Sendo assim, algumas adaptações são feitas, como a troca de análise de vazões por nível de rios, já que a leitura de réguas é de fácil execução, assim como a instalação destas à beira dos rios. Dessa maneira, a Equação 1 sofrerá alterações, sendo definida agora como a seguinte Equação 2 e reescrita como a Equação 3, já que o interesse do estudo é o cálculo dos valores de k .

Equação 2 - Adaptação da Equação 1 para previsibilidade de nível de rio

$$H(t) = H(0) * e^{\frac{-t}{k}}$$

onde $H(t)$ é a altura num instante t ; $H(0)$ é a altura no instante t_0 ; e é a base dos logaritmos naturais; t é o tempo; e k é uma constante em unidades de t .

Equação 3 – Cálculo de k

$$k = \frac{-\Delta t}{\ln \left(\frac{H(t)}{H(0)} \right)}$$

A partir dos dados obtidos conforme a seção 4.1, são determinados os valores de “k” médio para os rios do Sinos, Jacuí, Gravataí, Taquari e Uruguai com auxílio da equação 3. Ressalta-se o rio Uruguai, que apresenta dados negativos, ou seja, régua instalada não previa dados abaixo do “0” previsto. Como a operação matemática de logaritmo natural não permite números negativos, foi adicionada uma constante igual a 50 às alturas. Isso permitiu que o modelo de previsão pudesse ser normalmente calculado. Ao final, foi subtraída a mesma constante, para que os valores previstos pelo modelo de estiagem sejam equivalentes aos medidos na régua no local.

Para adicionar aspectos de incertezas, como possíveis chuvas pouco volumosas, que não evitam quedas do gráfico do hidrograma, mas o desaceleram, são criadas curvas de percentil 10 e percentil 90. O modelo desenvolvido para cada rio será confrontado com outras secas. Dessa maneira, pode-se conhecer o erro quanto ao “k” médio, percentil 10 e percentil 90 e avaliar se a equação estudada é eficaz ou não para a previsão da altura dos rios. Espera-se que na maioria dos casos a curva real fique entre as áreas delimitadas pela curva entre k médio e percentil 10, e k médio e percentil 90.

O cálculo dos k's está exposto nas tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 a seguir. As alturas para que se iniciasse o uso do modelo de previsão de estiagem variam para cada rio e cada estação de medição, já que cada rio tem seu regime de vazões, além dos níveis não serem os mesmos ao longo de seu curso, devido a recebimento de água e deságues, por exemplo. Portanto, as alturas consideradas para o estudo são:

- Rio dos Sinos: 142 cm;
- Rio Gravataí: 130 cm;
- Rio Jacuí: 195 cm;
- Rio Taquari: 250 cm;
- Rio Uruguai: 55 cm.

Tabela 1 – K's calculados para o Rio dos Sinos

	N de dias	Hinicial	Hfinal	K	Kmédio	Kperce ntil90	Kperce ntil10
Seca 1	9	140	33	6,228			
Seca 2	10	142	80	17,428			
Seca 3	7	134	76	12,343	16,02	24,047	9,128
Seca 4	10	108	67	20,945			
Seca 5	7	110	85	27,150			
Seca 6	7	102	57	12,029			

Fonte: própria do autor.

Tabela 2 – K's calculados para o Rio Gravataí

	N de dias	Hinicial	Hfinal	K	Kmédio	Kperce ntil90	Kperce ntil10
Seca 1	7	101	66	16,453			
Seca 2	8	117	64	13,261			
Seca 3	9	128	87	23,309	15,985	20,546	12,533
Seca 4	8	105	57	13,095			
Seca 5	7	126	85	17,783			
Seca 6	7	120	67	12,011			

Fonte: própria do autor.

Tabela 3 – K's calculados para o Rio Jacuí

	N de dias	Hinicial	Hfinal	K	Kmédio	Kperce ntil90	Kperce ntil10
Seca 1	6	190	143	21,113			
Seca 2	9	194	153	37,907			
Seca 3	6	175	148	35,805			
Seca 4	10	195	165	59,861	44,397	60,647	28,459
Seca 5	7	195	174	61,434			
Seca 6	10	194	159	50,263			

Fonte: própria do autor.

Tabela 4 – K's calculados para o Rio Taquari

	N de dias	Hinicial	Hfinal	K	Kmédio	Kperce ntil90	Kperce ntil10
Seca 1	9	228	188	46,655			
Seca 2	8	245	218	68,515			
Seca 3	8	240	185	30,736			
Seca 4	6	228	173	21,735	38,074	57,585	22,071
Seca 5	7	228	190	38,394			
Seca 6	5	250	200	22,407			

Fonte: própria do autor.

Tabela 5 – K's calculados para o Rio Uruguai

	N de dias	Hinicial	Hfinal	K	Kmédio	Kperce ntil90	Kperce ntil10
Seca 1	10	96	51	15,810			
Seca 2	7	101	58	12,620			
Seca 3	8	93	68	25,552			
Seca 4	11	104	46	13,485	13,784	20,681	7,918
Seca 5	5	72	42	9,276			
Seca 6	6	52	19	5,959			

Fonte: própria do autor.

Novamente, ressalta-se que a tabela 5 possui valores das alturas acrescidos da constante igual a 50. O nome das colunas das Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 representam:

N de dias: número de dias;

Hinicial: altura inicial que o rio se encontra para análise do modelo de estiagem, em cm;

Hfinal: altura final que o rio se encontra para análise do modelo de estiagem, em cm;

K: k calculado para cada uma das secas;

Kmédio: média aritmética dos k's calculados das 6 secas analisadas;

Kpercentil90: percentil 90 dos valores de k obtidos;

Kpercentil10: percentil 10 dos valores de k obtidos.

Os critérios de parada de cálculos para o modelo foram aumento de nível do rio estudado igual ou maior que 10 cm ou 2 dias seguidos ou mais com leituras crescentes.

4.3 TESTE DOS MODELOS DE PREVISÃO DE ESTIAGEM

O teste dos modelos de estiagem se dá de maneira simples. São escolhidas aleatoriamente secas dos mesmos rios estudados, em anos como 2020, 2018, 2009, 2008, 2005 e 1997. A partir do dado de altura inicial, calculam-se as alturas previstas para os dias seguintes a partir da previsão. Também são gerados diferentes horizontes, representando situações em que o operador do modelo recalcula a previsão do nível dos rios para os dias seguintes, para que a curva possa se ajustar de acordo com o que for medido ao longo dos dias de seca.

4.4 CÁLCULO DOS ERROS ABSOLUTOS E MÉDIOS PARA DIFERENTES HORIZONTES

O cálculo dos erros é realizado por meio do confronto entre os dados obtidos pelo modelo de previsão de seca de cada rio e os dados reais. Calcula-se a média dos erros e a média dos erros em módulo, chamado de erro absoluto. São analisados esses dois tipos de erros para que não ocorram estimativas equivocadas a partir do erro médio, já que erros positivos e negativos tendem a baixar o valor final a ser encontrado. É importante ressaltar, entretanto, que se deseja obter erros médios e em módulo para cada k médio, cada k percentil 90 e cada k percentil 10 iguais, pois isso indica que o erro tende ou a ser superior ao previsto, ou inferior. O erro relativo médio é definido conforme a equação 4, enquanto o erro relativo médio em módulo é definido conforme a equação 5.

Equação 4 – Erro relativo médio

$$\text{Erro médio} = \frac{\sum_{i=1}^T \frac{H_{lida} - H_{prevista}}{H_{prevista}}}{T}$$

Onde H_{lida} é a altura lida na estação de medição; $H_{prevista}$ é a altura calculada pelo modelo de previsão de estiagem; e T é o número de dias do horizonte analisado.

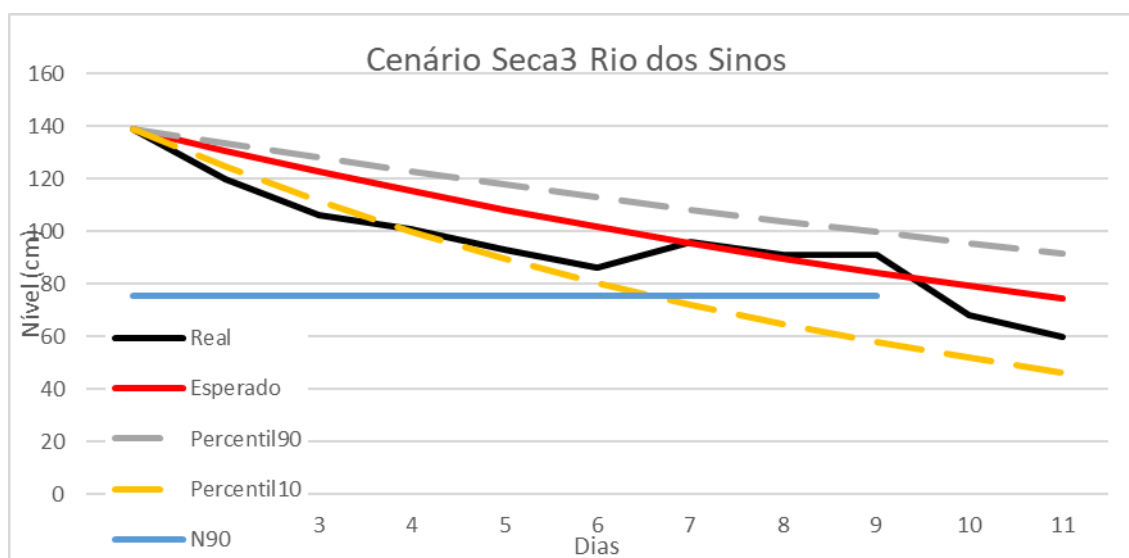
Equação 5 – Erro relativo médio em módulo

$$\text{Erro médio em módulo} = \frac{\sum_{i=1}^T \left| \frac{H_{lida} - H_{prevista}}{H_{prevista}} \right|}{T}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

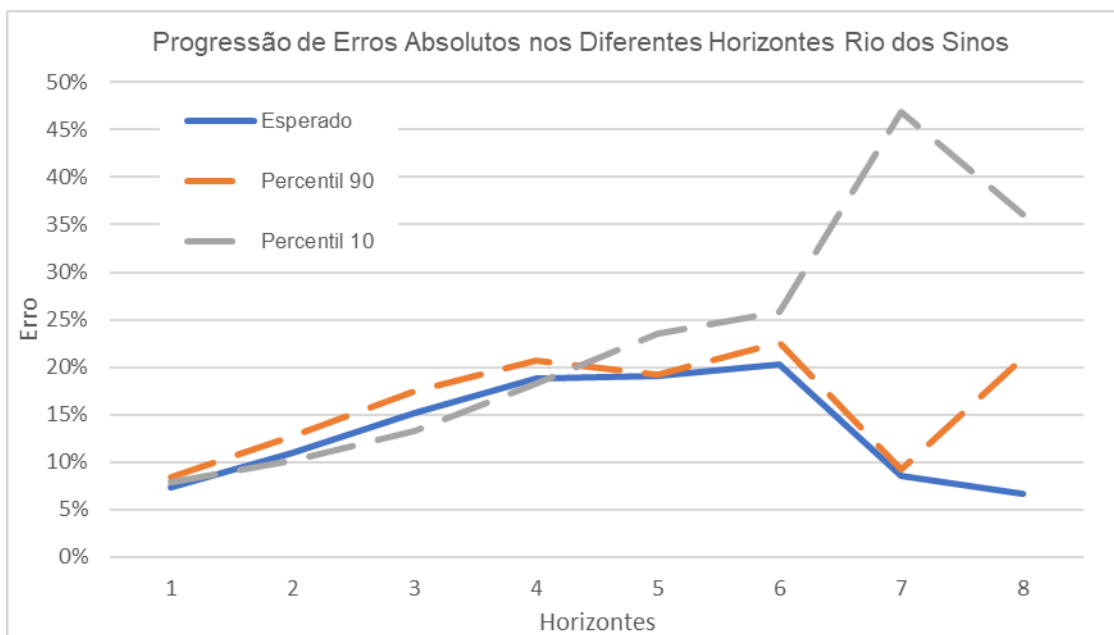
Para avaliar os resultados obtidos, a métrica a ser analisada será a dos erros médios e absolutos para os diferentes horizontes. Os resultados das médias dos erros e um exemplo de previsão das alturas estão expostos abaixo. Além das curvas já discutidas, representadas em preto para o nível real, vermelho para o nível esperado segundo modelo, amarelo e cinza tracejado para percentil 10 e percentil 90, respectivamente, é adicionada ao gráfico a reta horizontal azul, chamada N90. A reta N90 representa um nível em que o rio se mantém acima durante 90% do tempo do ano, sendo restritas nesse estudo para cada estação de medição. Os resultados para o rio dos Sinos podem ser vistos nos gráficos que estão expostos nas Figuras 21, 22 e 23; para o rio Jacuí nas Figuras 24, 25 e 26; para o rio Gravataí Figuras 27, 28 e 29; para o rio Taquari Figuras 30, 31 e 32; e rio Uruguai Figuras 33, 34 e 35. Os cálculos detalhados, junto das previsões e erros de cada um dos cenários de seca para cada um dos rios, estão no apêndice.

Figura 21 - Exemplo de previsão de alturas para o rio dos Sinos



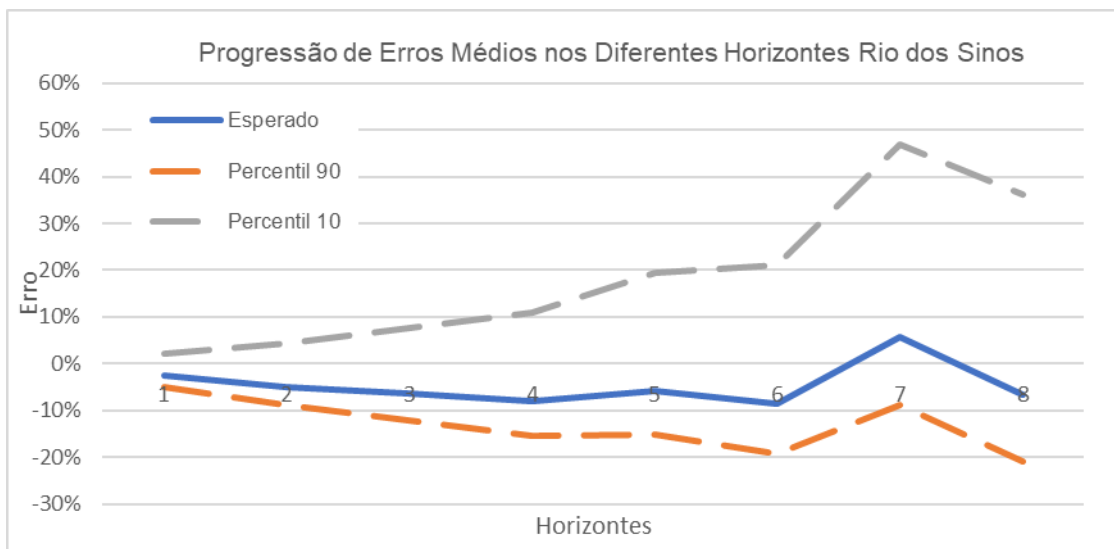
Fonte: própria do autor.

Figura 22 – Erros Absolutos para o rio dos Sinos



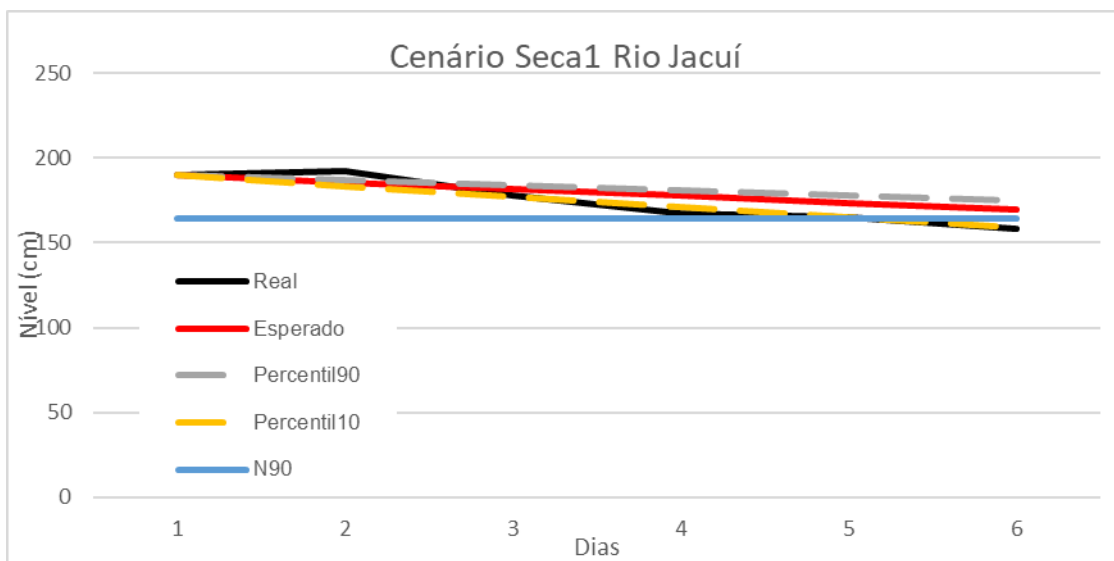
Fonte: própria do autor.

Figura 23 – Erros médios para o rio dos Sinos



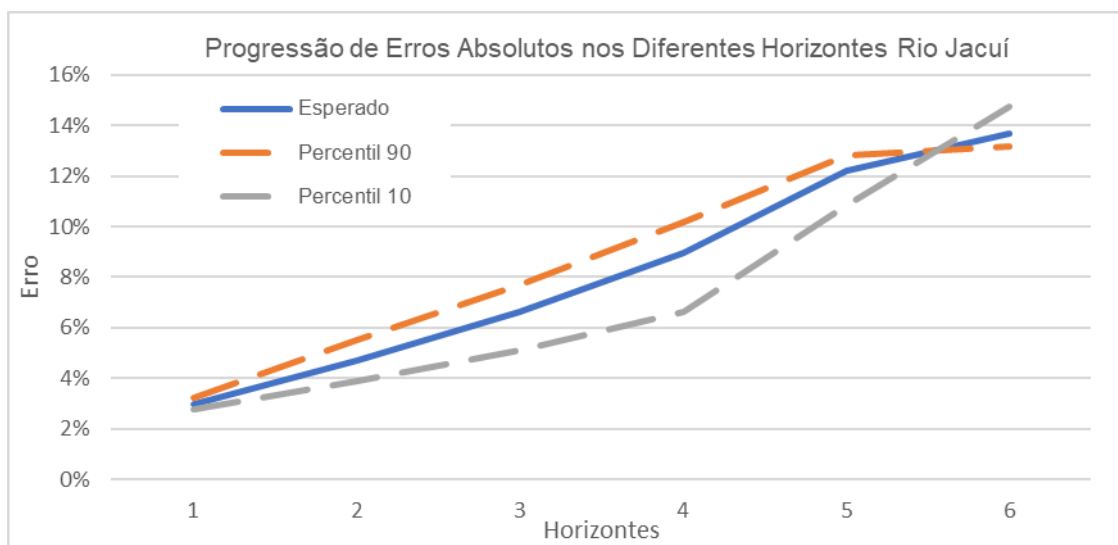
Fonte: própria do autor.

Figura 24 - Exemplo de previsão de alturas para o rio Jacuí



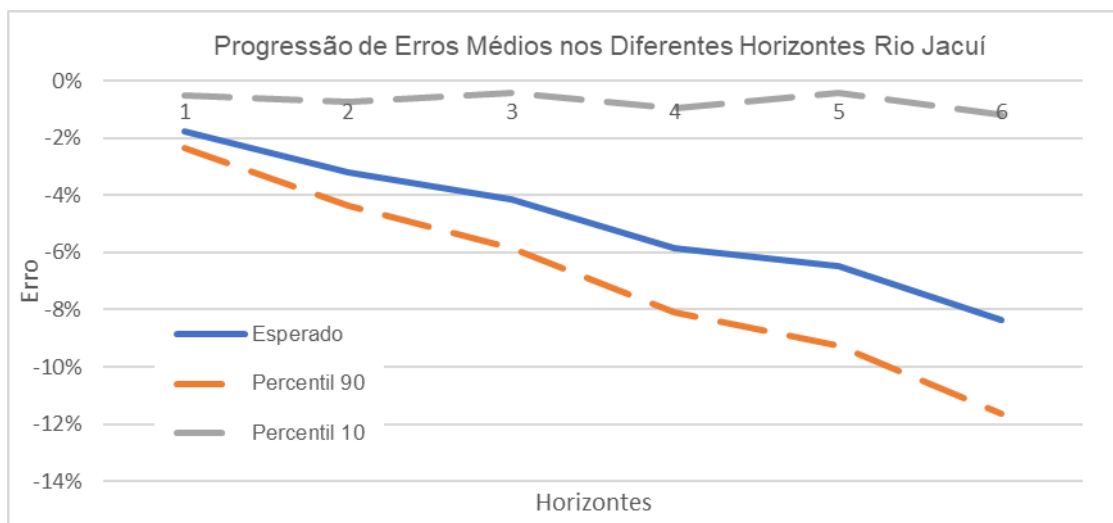
Fonte: própria do autor.

Figura 25 – Erros absolutos para o rio Jacuí



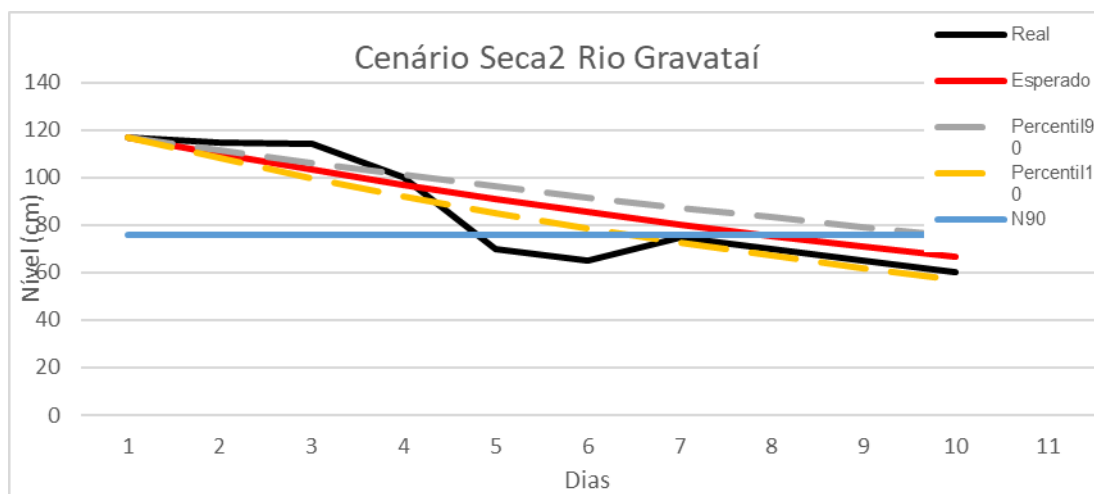
Fonte: própria do autor.

Figura 26 – Erros médios para o rio Jacuí

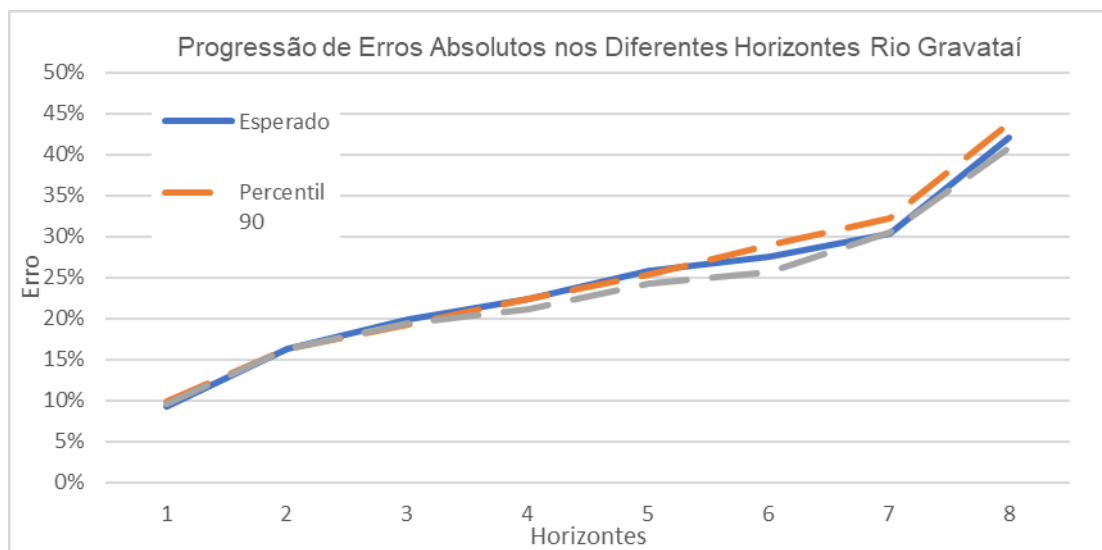


Fonte: própria do autor.

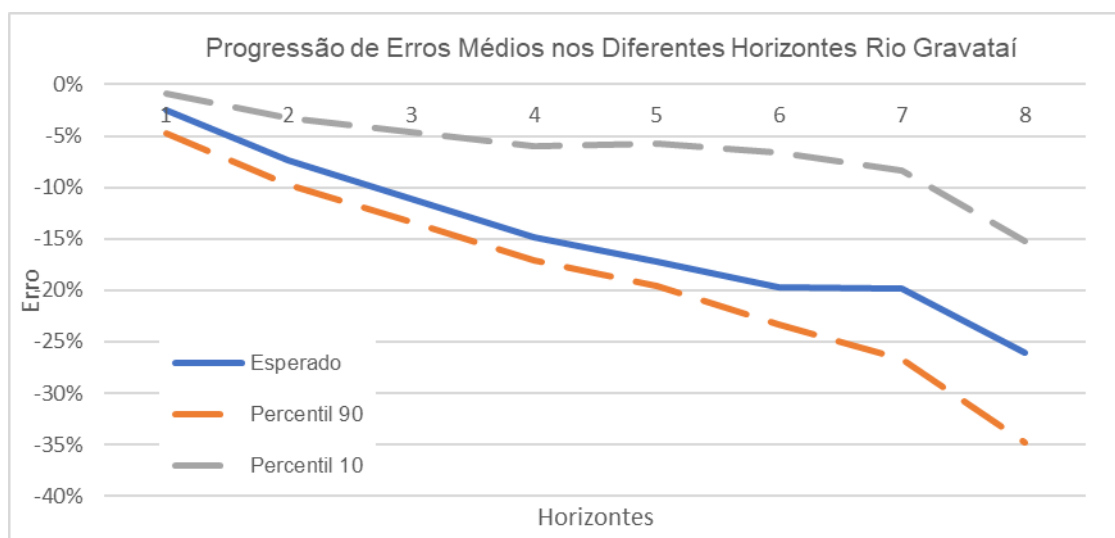
Figura 27 - Exemplo de previsão de alturas para o rio Gravataí



Fonte: própria do autor.

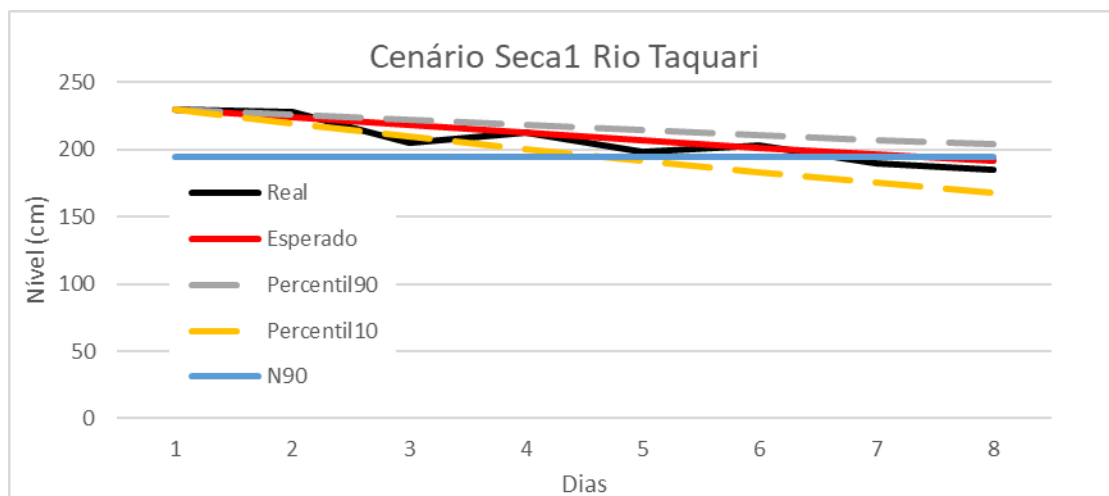
Figura 28 – Erros absolutos para o rio Gravataí

Fonte: própria do autor.

Figura 29 – Erros médios para o rio Gravataí

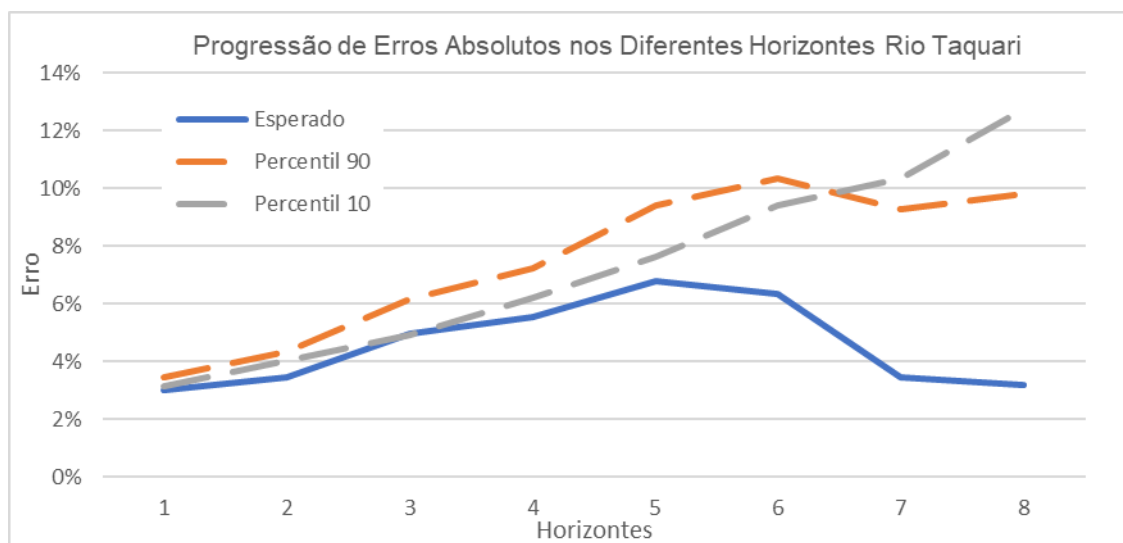
Fonte: própria do autor.

Figura 30 – Exemplo de previsão de alturas para o rio Taquari



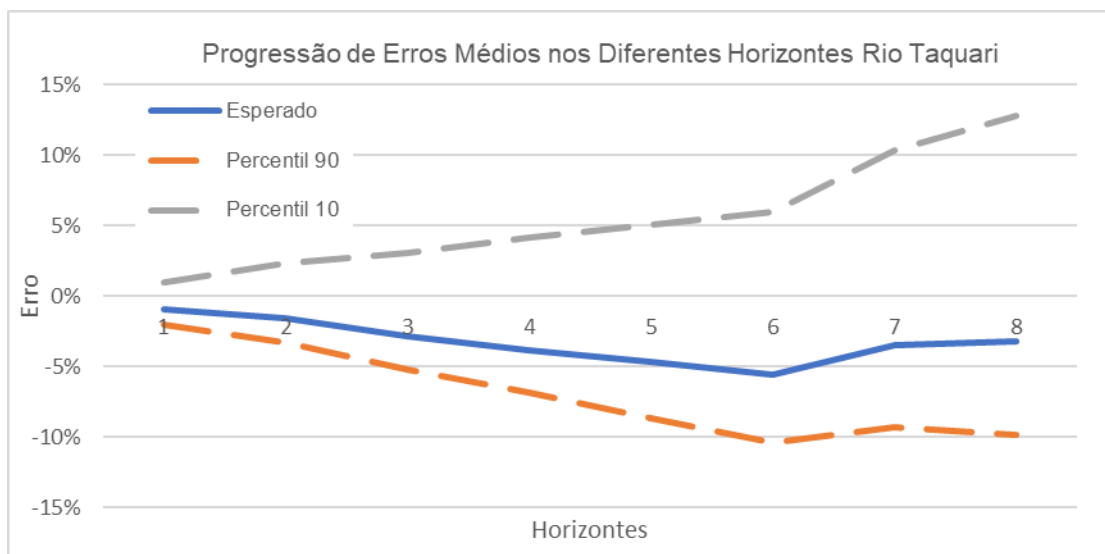
Fonte: própria do autor.

Figura 31 – Erros absolutos para o rio Taquari



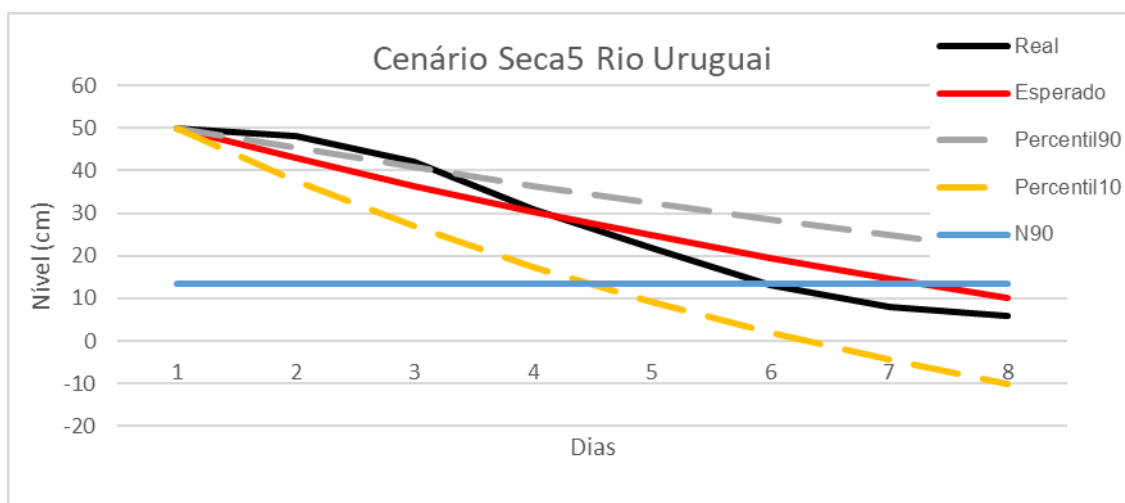
Fonte: própria do autor.

Figura 32 – Erros médios para o rio Taquari

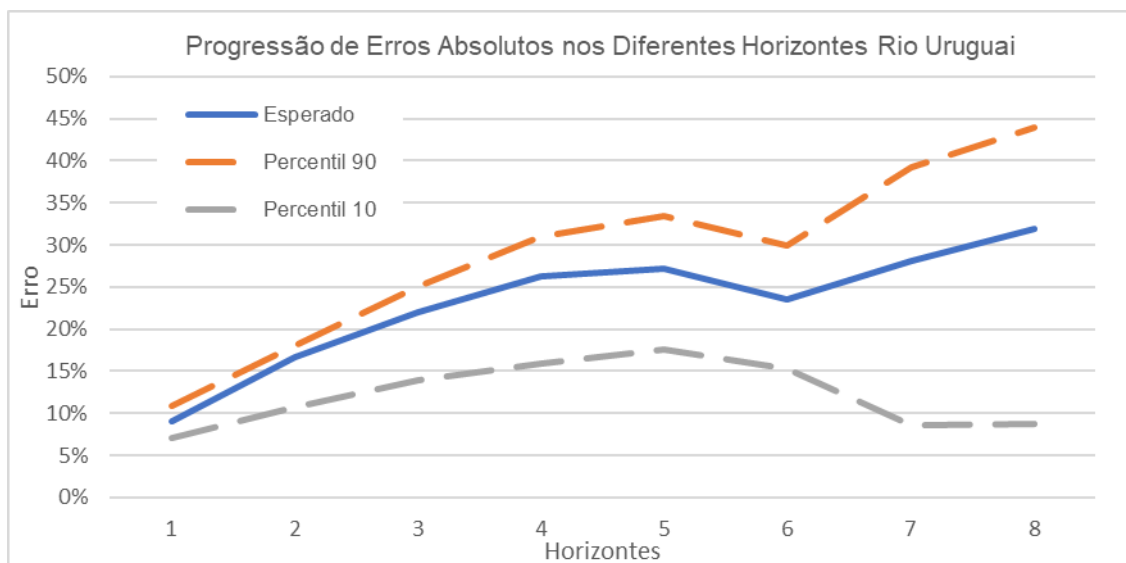


Fonte: própria do autor.

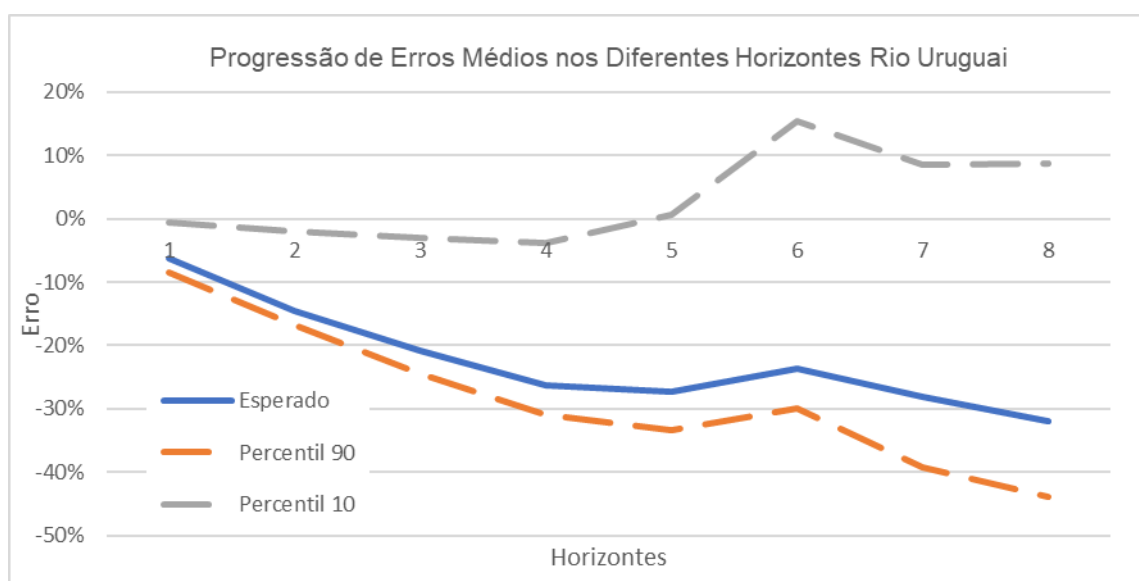
Figura 33 – Exemplo de previsão de alturas para o rio Uruguai



Fonte: própria do autor.

Figura 34 – Erros absolutos para o rio Uruguai

Fonte: própria do autor.

Figura 35 – Erros médios para o rio Uruguai

Fonte: própria do autor.

Nota-se pelas Figuras que o erro varia conforme o tempo passa pelos horizontes. Os resultados divergem de maneira mais acentuada ao passar dos dias, o que era esperado, já que quanto maior o intervalo de tempo, maior a imprevisibilidade de chuvas e outros fatores climáticos que também podem influenciar a altura dos rios. Os erros médios para a curva de k médio para todos os

rios esteve mais perto dos valores de 0, o que indica que o k médio se ajusta de maneira adequada a realidade.

Pode-se verificar na Figura 34 que o erro percentil 90 do rio Uruguai no final de sua curva alcança quase 50%. Isso se deve ao perfil do rio, que mede menores alturas de escoamento. Dessa maneira, os erros ficam proporcionalmente maiores, já que são relativos, mas isso não ocorre necessariamente com seus valores aritméticos. Para corroborar essa situação, pode-se analisar os rios Jacuí e Taquari, que tem maiores níveis. Os valores de erros foram menores, já que proporcionalmente as alturas variam menos.

Portanto, analisando os resultados, um usuário destas previsões pode tomar suas decisões com base nos erros apresentados para as previsões dos níveis dos rios em estiagem, reafirmando a exclusividade para cada estação analisada. É importante ressaltar que por ser um modelo matemático, fatores climáticos e de origem de ação humana influenciam nas medições reais e não são considerados para essa estimativa.

6 CONCLUSÃO

Como definido na seção 2, o objetivo deste trabalho era o desenvolvimento de modelos de previsão de estiagem para 5 rios do Rio Grande do Sul. Os modelos foram desenvolvidos e os resultados apresentados permitem entender o erro na previsibilidade. A maioria dos níveis observados se manteve entre os níveis previstos (para k médio, k percentil 90 e k percentil 10). As equações determinadas representam somente a seção do rio estudada na estação em que se buscaram os dados, pois, como já ressaltado anteriormente, o nível do rio será variável ao longo de seu curso.

Relembra-se que quedas abruptas, como registradas em alguns hidrogramas, por quaisquer motivos, não estão previstas (por exemplo, mudança na régua). Para trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de modelos semelhantes para outros diferentes rios, além da criação de sistema de classificação como adotado na Colúmbia Britânica, o que permite unificar e padronizar ações para que os efeitos de estiagem sejam mitigados.

7 REFERÊNCIAS

- BRITISH COLUMBIA RIVER FORECAST CENTRE. Disponível em: http://bcrfc.env.gov.bc.ca/lowflow/map_elf.html. Acesso em: 30 mar. 2021.
- _____. Disponível em: http://bcrfc.env.gov.bc.ca/lowflow/elf_lm/fig_08ME023.htm. Acesso em: 20 abr. 2021.
- _____. Disponível em: <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/drought-flooding-dikes-dams/river-forecast-centre>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- BRITISH COLUMBIA, Ministro do Meio Ambiente e Mudança Climática. **British Columbia Drought Response Plan**. Victoria, 2018.
- CLIMATEMPO. **Seca no RS: 6.719 comunicados de perdas**. Disponível em: <https://agroclima.climatempo.com.br/noticia/2020/01/30/seca-no-rs-6-719-comunicados-de-perdas-1587>. Acesso em: 31 jan. 2021.
- COLLAZIOL, Adi. **Transporte Hidroviário no Rio Grande do Sul**. Monografia – Especialização em Gestão Pública, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 81, 2003.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: IPH UFRGS, 2008.
- COMITESINOS. **Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. Disponível em: <http://www.comitesinos.com.br/bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>. Acesso em: 17 abr. 2021.
- FEPAM. **Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí**. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp. Acesso em: 18 abr. 2021.
- FEPAM. **Qualidade Ambiental**. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_gravatai/gravatai.asp. Acesso em: 18 abr. 2021.
- _____. **Região Hidrográfica do Guaíba**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/taquariantas.asp>. Acesso em 20 abr. 2021.
- _____. **Região Hidrográfica do Uruguai**. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/regiao_uruguai.asp. Acesso em: 22 abr. 2021.
- FIGUEIREDO, JAS; DRUMM, E; RODRIGUES, MAS; SPILKI, FR. **A bacia hidrográfica do Rio dos Sinos: um espaço econômico e social e sua interferência na situação ambiental**. Brazilian Journal of Biology, v. 70, no. 4, dez., 2010.
- G1. **Maior do RS, Rio Uruguai abastece três hidrelétricas e atrai turistas**. Disponível em: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/nossa-terra/2013/noticia/2014/02/maior-do-rs-rio-uruguai-abastece-tres-hidreletricas-e-atrai-turistas.html>. Acesso em: 23 mai. 2021
- GOVERNO DA COLÚMBIA BRITÂNICA. Disponível em: <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/drought-flooding-dikes-dams/drought-information>. Acesso em: 24 abr. 2021.

Disponível em: <https://news.gov.bc.ca/releases/2020FLNR0056-001701>. Acesso em: 24 abr. 2021.

Disponível em: <https://governmentofbc.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=838d533d8062411c820eef50b08f7ebc>. Acesso em: 24 abr. 2021.

Disponível em: https://www.arcgis.com/sharing/rest/content/items/838d533d8062411c820eef50b08f7ebc/resources/BC%20Drought%20Levels%20-%20October%2014%202020__1602711900263__w928.png. Acesso em: 24 abr. 2021.

GUASSELLI, Laurindo Antonio. **Áreas úmidas: questões ambientais**. Porto Alegre: UFRGS/Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2018, p. 113-138.

JORNAL VS. **Entenda por que o Rio Grande do Sul vive a pior seca dos últimos 35 anos**. Disponível em:

<https://www.jornalvs.com.br/noticias/regiao/2020/04/23/entenda-porque-o-rio-grande-do-sul-vive-a-pior-seca-dos-ultimos-35-anos.html>. Acesso em: 31 jan. 2021.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha. **Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai: altimetria e áreas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, nº 22, 2017, Florianópolis. Resumos. Florianópolis: 2020, p. 1-8.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Rede Ambiental Baixo Jacuí**. Disponível em: <https://www.mprs.mp.br/ambiente/paginas/3649/>. Acesso em: 18 abr. 2021.

PROCERGS. **Nove Bacias e suas características**. Disponível em: <http://www.proguaiba.rs.gov.br/bacias.htm>. Acesso em: 18 abr. 2021.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO . **Bacias e sub-bacias hidrográficas**. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/bacias-e-sub-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 11 abr. 2021.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **G020- Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g020-bh-sinos>. Acesso em: 17 abr. 2021.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **G040- Bacia Hidrográfica do Rio Taquari- Antas**. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g040-bh-taquari-antas>. Acesso em: 15 abr. 2021.

UOL. **Análise-Seca no RS pode comprometer plantio de trigo apesar de cenário promissor no Brasil**. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2020/04/09/analise-seca-no-rs-pode-comprometer-plantio-de-trigo-apesar-de-cenario-promissor-no-brasil.htm>. Acesso em: 22 fev. 2021.

ZIANI, Patrícia; FOLETO, Eliane Maria; WOLLMANN, Cássio Arthur. Análise e Caracterização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí/RS. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM**, Santa Maria, n. 39, p. 58 – 74, 2017.

8 APÊNDICE A

Os cálculos complementares para os resultados do trabalho podem ser acessados na seguinte página:

<https://drive.google.com/drive/folders/1EP4Y-APXKXdsB7JHTfqPy3pCEJxnJDWZ>.