



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

RODRIGO BORGES DA FONSECA BINS

**CONTRIBUIÇÕES PARA A PREVISÃO DE CHEIAS E FECHAMENTO DA
TRILHA DO RIO DO BOI – CÂNION DO ITAIMBEZINHO, RS.**

Porto Alegre

2018

RODRIGO BORGES DA FONSECA BINS

**CONTRIBUIÇÕES PARA A PREVISÃO DE CHEIAS E FECHAMENTO DA
TRILHA DO RIO DO BOI – CÂNION DO ITAIMBEZINHO, RS.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan

Coorientador: Msc Eng. Maurício Andrades Paixão

Porto Alegre

2018

**(Folha deixada em branco para
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação)**

RODRIGO BORGES DA FONSECA BINS

**CONTRIBUIÇÕES PARA A PREVISÃO DE CHEIAS E FECHAMENTO DA
TRILHA DO RIO DO BOI – CÂNION DO ITAIMBEZINHO, RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 12 de janeiro de 2018 pela comissão avaliadora constituída por:

Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan (Orientador)

Departamento de Obras Hidráulicas

IPH - UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Msc. Franco Turco Buffon

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial (GEHITE/SUREG-PA)

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Msc. Maurício Andrades Paixão (Coorientador)

Bolsista de Doutorado IPH - UFRGS

Msc. Vinicius Alencar Siqueira

Bolsista de Doutorado IPH - UFRGS

Conceito: _____

“Para meus pais”

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus sinceros e profundos agradecimentos:

Primeiramente, aos meus pais, Cláudio e Suzana, pelo apoio, incentivo e amor sempre incondicionais, pela educação e princípios ensinados, e por serem, desde sempre, os meus grandes exemplos na trajetória da vida, e grandes responsáveis por muito do que sou hoje;

À minha irmã, Raquel, pelos 25 anos de parceria de vida, que também tiveram papel muito importante no meu desenvolvimento e formação como pessoa;

Ao meu avô Carlos, (*in memoriam*), o “engenheiro Fonseca”, por ter me apresentado e me cativado com o mundo da engenharia desde criança, através dos seus relatos de vida como engenheiro civil, e por sempre ter sido, mesmo que inconscientemente, um exemplo de profissional de engenharia;

Ao amigo, professor e orientador Fernando Fan, pela sempre incansável paciência e disponibilidade, pelos momentos de *brainstormings*, orientações e risadas divididos ao longo dos últimos anos, e por sempre me incentivar e acreditar em mim;

Ao amigo e coorientador Maurício Paixão, pelo convite de trabalhar junto ao projeto desenvolvido no PNAS e pela consequente confiança, bem como pela grande parceria formada nesses últimos meses;

Aos grandes amigos e companheiros de graduação, com os quais dividi alguns dos melhores e mais inusitados momentos desse ciclo que se encerra, e cujas presenças foram, sem dúvida, essenciais para chegar até aqui e transformaram essa jornada em algo único;

À Mandala Empresa Junior, e a todos amigos que fiz na empresa, pelos momentos de amizade e de dificuldades compartilhados, e pelas vivências e experiências únicas de aprendizado profissional e pessoal proporcionadas ao longo de um ano e meio de empresa, que certamente me fizeram uma pessoa e um profissional muito mais completo;

À UFRGS, Escola de Engenharia e IPH, por fornecerem as condições mínimas para a graduação em Engenharia Ambiental, e, da mesma forma, à sociedade brasileira em geral que, mesmo que inconscientemente, possibilitaram financeiramente essa graduação (uma vez que a UFRGS é uma instituição de ensino pública), e a quem espero, de alguma forma, estar retribuindo com o papel social do trabalho desenvolvido e com as futuras ações como engenheiro ambiental;

Ao GPDEN e a todos seus integrantes, aqui representados pelo Prof. Dr. Masato Kobiyama, pelo acolhimento nesse semestre, pelas amizades geradas, e principalmente por terem viabilizado a maior parte deste trabalho;

Ao ICMBio, pela autorização dos trabalhos de pesquisa realizados dentro do PNAS;

Aos gestores e funcionários do PNAS, pelas amigáveis recepções durante os trabalhos de campo realizados no Parque, e pelo apoio sempre que possível;

À Prof. Dra. Nilza Maria dos Reis Castro, pelo gentil empréstimo do medidor ADCP utilizado neste trabalho;

Aos demais professores que tive na graduação, pelo papel fundamental que cada um exerceu, à sua maneira, durante a minha formação; e

A todos os outros amigos da caminhada da vida e familiares, cuja amizade e apoio sempre estiveram presentes.

“What counts in life is not the mere fact that we have lived. It is what difference we have made to the lives of others that will determine the significance of the life we lead.”

Nelson Mandela

RESUMO

BINS, R. B. F. Contribuições para a Previsão de Cheias e Fechamento da Trilha do Rio do Boi – Cânion do Itaimbezinho, RS. 2017. 144 p. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Resumo do Trabalho

A crescente inserção do ser humano em ambientes próximos a corpos hídricos, principalmente relacionado ao desenvolvimento urbano em áreas ribeirinhas e à realização de diversas outras atividades ao longo dos leitos dos rios resulta em uma grande e constante exposição dessas pessoas a episódios de cheias e de inundações decorrentes de variações hidrológicas rápidas e/ou extremas, e as suas respectivas consequências. Dentre as diversas medidas de prevenção existentes, os sistemas de previsão e alerta de cheias estão dentre as mais aplicadas no cenário nacional e internacional, devido à sua grande capacidade de atuação na mitigação de possíveis impactos decorrentes desses eventos, sejam eles materiais, sociais ou humanos. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou desenvolver uma série de contribuições iniciais que possibilitem o futuro desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta para a Trilha do rio do Boi, localizada no Parque Nacional de Aparados da Serra, na região sul do Brasil. A Trilha, que recebe uma grande quantidade de turistas durante o ano, apresenta alguns registros históricos de episódios de emergências relacionados a isolamento, resgate e inclusive mortes de turistas e guias decorrente de episódios de cheias. Inicialmente, equipamentos telemétricos de monitoramento hidro meteorológico foram instalados em locais de interesse no Parque, uma vez que os únicos dados disponíveis eram dados de níveis fluviométricos do arroio Perdizes e de precipitação com resolução temporal apenas diária. A partir das séries disponíveis desses registros, modelos matemáticos de correlação precipitação-nível foram desenvolvidos, para tentar se entender a resposta hidrológica local à eventos de precipitação. Para a avaliação dos resultados gerados pelos modelos desenvolvidos, foi escolhida a métrica de discriminação dos dados de saída, através da metodologia do diagrama ROC (*Relative Operative Characteristics*), afim de se verificar se os modelos apresentavam correlações suficientemente boas para discernir os eventos de ultrapassagem do limiar de nível existente para o fechamento da Trilha. Ainda, dados de previsão meteorológica (*Quantitative Precipitation Forecasts – QPF*) foram utilizados como dados de entrada para uma segunda avaliação dos modelos, para se verificar a possível utilização de previsões de precipitação na previsão de nível do arroio. Ao final, também foi aberta uma discussão entre as representatividades dos dados diários de nível e de precipitação em relação aos eventos hidrológicos e as respostas do arroio a eles *versus* a representatividade dos dados subdiários obtidos com os equipamentos instalados. A análise comparativa dos dados diários e subdiários comprovou a teoria esperada de que a utilização de dados com intervalo de tempo diário não é suficiente (ou adequada) para a aplicação de modelos de previsão no local. Dessa forma, avalia-se que os resultados obtidos com os modelos de precipitação-nível e com utilização de dados de previsão de precipitação atingiram as expectativas esperadas, uma vez que os modelos foram construídos a partir de dados diários. Ainda, acredita-se fortemente que uma nova calibração dos modelos, a partir de séries de registros subdiários obtidas com os equipamentos instalados, resultará em significativas melhorias na representatividade dos modelos gerados.

Palavras-chave: Excedência de Limiar de Cheia, Modelos de Previsão e Alerta, Monitoramento Hidro Meteorológico.

ABSTRACT

The increasing insertion of human beings in environments close to water bodies, mainly related to the urban development in riverside areas and the completion of several other activities along riverbeds results in a great and constant exposure of these people to episodes of floods and floods resulting from rapid and/or extreme hydrological variations, as well as their consequences. Among the several existing prevention measures, flood forecasting and warning systems are among the most applied in the national and international scenario, due to their great ability to mitigate the possible impacts resulting from these events, be it material, social or human. In this context, the present work aimed to develop a series of initial contributions that enable the future development of an early warning system for the Boi River Trail, located in the Aparados da Serra National Park, in southern Brazil. The Trail, which receives a large amount of tourists during the year, has some historical records of emergencies related to isolation, rescue and even deaths of tourists and guides due to flood episodes. Initially, telemetric hydro meteorological monitoring equipment was installed in places of interest in the Park, since the only data available was fluvimetric levels of the Perdizes creek and precipitation, both only with daily temporal resolution. From the available series of these records, mathematical models of precipitation-level correlation were developed, in the trial of predicting the local hydrological response to precipitation events. For the evaluation of the results generated by the developed models, the metric of discrimination of the output data was chosen through the ROC diagram (*Relative Operative Characteristics*) methodology, in order to verify if the models presented correlations good enough to discriminate the events of exceedance of the existing level threshold for closing the Track. In addition, quantitative precipitation forecasts (QPF) were used as input data for a second evaluation of the models, to verify the possibility of using precipitation forecasts in the stream-level forecast. At the end, a discussion about the representability of the daily level and precipitation data in relation to the hydrological events and the stream responses to them versus the representability of the subdaily data obtained with the installed equipment was also raised. The comparative analysis of daily and subdaily data confirmed the expected theory that the use of data with daily time interval is not sufficient (or adequate) for application in the on-site forecast models. Thus, it is estimated that the results obtained with the precipitation-level models and the use of precipitation forecast data reached the expectations, since the models were developed from daily data. It is also strongly believed that a new calibration of the models, from series of subdial records obtained with the equipment installed, will result in significant improvements in the representativeness of the models generated.

Keywords: Forecast and Alert Models, Full Threshold Exceedance, Meteorological Hydrological Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do SACE da bacia hidrográfica do rio Taquari	32
Figura 2 - Mapa de Localização da Área de Estudo.....	38
Figura 3 - Zoom de Localização do Cânion do Itaimbezinho.	39
Figura 4 - Tweets do Evento do dia 12 de Março de 2017.	42
Figura 5 - Seção do Rio onde Ocorreu Evento de Março de 2017, com Enfoque nos Resquícios das Cordas Utilizadas na Tirolesa.	43
Figura 6 - Zoom nos Resquícios de Cordas Utilizadas na Tirolesa no Evento.	43
Figura 7 - Montante do Local da Tirolesa de Março de 2017.....	44
Figura 8 - Jusante do Local da Tirolesa de Março de 2017.....	44
Figura 9 - Fluxograma da Metodologia Utilizada neste Trabalho.	46
Figura 10 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Boi.	47
Figura 11 - Altimetria da Bacia do Rio do Boi.	48
Figura 12 - Exemplo de Divulgação de Dados e Status da Trilha pelo Twitter do PNAS.....	51
Figura 13 - Régua de Nível 1, no Leito do Arroio Perdizes, junto à Ponte da Trilha do Cotovelo.	53
Figura 14 - Régua de Nível 2, na Parte Externa à Calha do Arroio Perdizes.....	53
Figura 15 - Sensor de Nível da Solar Instrumentação Utilizado no Monitoramento.	55
Figura 16 - Data Logger e Placa Solar Utilizados no Monitoramento.	55
Figura 17 - Printscreen do layout do software utilizado, o SL2000 PNVn Manager.....	55
Figura 18 - Vista Lateral do ADCP Modelo M9 da Sontek Inc., em Campanha de Medição.	60
Figura 19 - Vista Superior do ADCP Modelo M9 da Sontek Inc., em Campanha de Medição.	60
Figura 20 - Exemplo de Diferença de Feixe Vertical e Bottom-Track em Medição de Vazão com ADCP	61
Figura 21 - Exemplo de Diferença de Registro de Travessia por GPS e Bottom-Track.....	62
Figura 22 - Exemplo de Perfis de Velocidade em Medição de Vazão com ADCP	62
Figura 23 - Limites PNAS e Área de Zoom.....	66
Figura 24 - Zoom Inicial de Localização	66
Figura 25 - Zoom Área da Sede do PNAS	67
Figura 26 - Local das Medições de Vazão e da Instalação de Equipamentos, Vista em Planta..	68
Figura 27 - Localização Estações Hidroweb em Relação aos Parques.	71
Figura 28 - Localização Estações Hidroweb em Relação à Bacia do Rio do Boi.....	71
Figura 29 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2012.....	75
Figura 30 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2013.....	75
Figura 31 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2014.....	75
Figura 32 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2015.....	76
Figura 33 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2016.....	76
Figura 34 - Estação Meteorológica e Placa de Identificação Instaladas.	78
Figura 35 - Estação Meteorológica Instalada.....	78
Figura 36 - Placa de Identificação do Sistema de Monitoramento.....	78
Figura 37 - Exemplo de Página Resumo do Monitoramento Instantâneo da Estação Meteorológica	79
Figura 38 - Página de Visualização dos Dados Anuais de Precipitação.	80
Figura 39 - Página de Visualização dos Dados de Precipitação para um Mês.....	80
Figura 40 - Exemplo de tabela de contingência para um evento discreto.	81
Figura 41 - Exemplo Didático de Diagrama ROC	83
Figura 42 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2012.	92
Figura 43 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2013.	92
Figura 44 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2014.	93

Figura 45 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2015.	93
Figura 46 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2016.	93
Figura 47 - Gráfico Cota-Vazão das Medições Realizadas no Arroio Perdizes.....	97
Figura 48 - Gráfico de Correlação MOD 1.	100
Figura 49 - Gráfico de Correlação MOD 2.	100
Figura 50 - Gráfico de correlação MOD 3.	100
Figura 51 - Gráfico de Correlação MOD 4.	100
Figura 52 - Gráfico de Correlação MOD 5.	101
Figura 53 - Gráfico de Correlação MOD 6.	101
Figura 54 - Gráfico de Correlação MOD 7.	101
Figura 55 - Gráfico de Correlação MOD 8.	101
Figura 56 - Gráfico de Correlação MOD 9.	102
Figura 57 - Gráfico de Correlação MOD 10.	102
Figura 58 - Gráfico de Correlação MOD 11.	102
Figura 59 - Gráfico de Correlação MOD 12.	102
Figura 60 - Gráfico de Correlação MOD 13.	103
Figura 61 - Gráfico de Correlação MOD 14.	103
Figura 62 - Gráfico de Correlação MOD 15.	103
Figura 63 - Gráfico de Correlação MOD 16.	103
Figura 64 - Gráfico de Correlação MOD 17.	104
Figura 65 - Gráfico de Correlação MOD 18.	104
Figura 66 - Diagrama ROC resultante dos modelos para o arroio Perdizes.....	105
Figura 67 - Diagrama ROC resultante dos modelos para o rio do Boi.....	105
Figura 68 - Diagrama ROC para Dados de Previsão Meteorológica da Estação “Mãe dos Homens”.....	109
Figura 69 - Diagrama ROC para Dados de Previsão Meteorológica da Estação “Praia Grande”.	110
Figura 70 - Diagrama ROC para Dados de Previsão Meteorológica da Estação “PNAS1”.	110
Figura 71 - Diagrama ROC dos Melhores Modelos Gerados.	112
Figura 72 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Mês de Outubro.....	113
Figura 73 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Mês de Novembro.	114
Figura 74 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Mês de Dezembro.	114
Figura 75 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível para o Período entre os Dias 08 e 13 de Outubro.	116
Figura 76 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 08 de Outubro.	117
Figura 77 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 09 de Outubro.	117
Figura 78 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 10 de Outubro.	117
Figura 79 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 11 de Outubro.	117
Figura 80 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 12 de Outubro.	118
Figura 81 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 13 de Outubro.	118
Figura 82 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 09 de Novembro. .	119
Figura 83 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 10 de Novembro. .	119
Figura 84 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 11 de Novembro. .	119
Figura 85 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 24 de Novembro. .	124
Figura 86 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 25 de Novembro. .	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados estações pluviométricas na região de trabalho.....	73
Tabela 2 - Dados estações pluviométricas de interesse.....	73
Tabela 3 - Dados de Localização Estações Pluviométricas.....	86
Tabela 4 - Exemplo de Datas, Respectivos Códigos e Antecedências Horárias Analisadas.....	87
Tabela 5 - Série Temporal dos Dados Utilizados na Análise de Previsão Meteorológica.	88
Tabela 6 - Tabela resumo dos anos de registro de níveis para o arroio Perdizes.	91
Tabela 7 - Tabela Resumo da Distribuição Temporal de Eventos de Fechamento da Trilha.	94
Tabela 8 - Dados Campanhas de Medição de Vazão com ADCP.....	96
Tabela 9: Dados de Vazão e de Nível do Arroio Perdizes para Proposição de Curva-Chave.....	97
Tabela 10 - Tabela resumo dos modelos matemáticos gerados.	99
Tabela 11 - Tabela Resumo das Modelagens com os Dados de Previsão Meteorológica.....	108
Tabela 12 - Valores de Interesse Resultantes do Monitoramento de Nível e Precipitação dos Dias Analisados.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica do Estado do Rio Grande do Sul
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
GPDEN	Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NWP	<i>Numerical Weather Prediction</i>
PNAS	Parque Nacional de Aparados da Serra
PNSG	Parque Nacional da Serra Geral
POD	<i>Probability of Detection</i>
POFD	<i>Probability of False Detection</i>
QPF	<i>Quantitative Precipitation Forecasts</i>
ROC	<i>Relative Operating Characteristic</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SACE	Sistema de Alerta de Eventos Críticos
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measurement Mission</i>
UC	Unidade de Conservação
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	17
1.2. OBJETIVOS	19
1.2.1. Objetivo Geral	19
1.2.2. Objetivos Específicos	19
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. CONTROLE DE INUNDAÇÕES E DE CHEIAS.....	22
2.2. SISTEMAS DE PREVISÃO E ALERTA	24
2.3. TÉCNICAS DE PREVISÃO DE HIDROLÓGICA	27
2.4. MÉTRICAS DE VERIFICAÇÃO	30
2.5. SISTEMAS DE PREVISÃO E ALERTA NO BRASIL	31
2.5.1. Bacia do rio Cai	33
2.5.2. Bacia do rio Taquari	34
2.5.3. Bacia do rio Acre	34
2.6. INSERÇÃO DO PRESENTE TRABALHO	35
3. ÁREA DE ESTUDO	37
3.1. PARQUE NACIONAL DE APARADOS DA SERRA (PNAS).....	37
3.1.1. Histórico	37
3.1.2. Caracterização da Área	37
3.1.3. Sistema de Monitoramento e Fechamento Existente	40
4. METODOLOGIA	45
4.1. BACIA HIDROGRÁFICA.....	46
4.2. BANCO DE DADOS EXISTENTE.....	48
4.2.1. Registros Escritos Internos do Parque	48
4.2.2. Twitter PNAS	49
4.3. INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO	51
4.4. MEDIÇÕES DE NÍVEL.....	52
4.4.1. Réguas de Nível	52
4.4.2. Sensor de Nível	54
4.5. MEDIÇÕES DE VAZÃO.....	56
4.5.1. ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)	57
4.5.2. Ponto de Medição de Vazão	63

4.6.	DADOS PLUVIOMÉTRICOS	69
4.6.1.	Estações Pluviométricas Hidroweb	70
4.6.2.	Estação Meteorológica Instalada	76
4.7.	DIAGRAMA ROC (<i>RELATIVE OPERATING CHARACTERISTIC</i>).....	81
4.8.	MODELOS DE PREVISÃO E ALERTA	84
4.8.1.	Precipitação-Nível	84
4.8.2.	Previsão Meteorológica	85
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	90
5.1.	HISTÓRICO DE FECHAMENTOS	90
5.2.	MEDIÇÕES DE VAZÃO	95
5.3.	MODELOS DE PREVISÃO E ALERTA	98
5.3.1.	Precipitação-Nível	98
5.3.2.	Previsão Meteorológica	107
5.4.	RESULTADOS PRÉVIOS DO MONITORAMENTO AUTOMATIZADO	113
6.	CONCLUSÕES	126
6.1.	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	126
6.2.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	127
6.3.	OPERACIONALIZAÇÃO DOS MODELOS DESENVOLVIDOS	129
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
8.	ANEXO A – RELATÓRIOS DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO REALIZADAS COM ADCP – <i>SOFTWARE RIVER SURVEYOR LIVE</i>	138
9.	APÊNDICE A – GRÁFICOS DE BARRAS DOS FECHAMENTOS DA TRILHA	143

1. INTRODUÇÃO

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A água é o mais importante dos recursos minerais existentes, sem o qual nenhuma vida seria possível. Devido a essa necessidade, os seres vivos sempre buscaram manter uma considerável proximidade com os corpos hídricos existentes, tanto para a obtenção da água em si, quanto para viverem e se desenvolverem. Com os seres humanos, isso não é diferente.

A nossa dependência da água remonta aos primeiros povos primitivos de que se tem registros, os quais já se estabeleciam, mesmo que de maneira nômade, próximo aos recursos hídricos existentes. As cidades mais antigas de que se têm registro, os chamados berços da civilização, surgiram ao lado dos grandes corpos hídricos da época. O mesmo comportamento pode ser observado em relação aos grandes impérios que se ergueram ao longo da história.

Com o passar do tempo, fomos desenvolvendo cada vez mais as sociedades em que vivemos, sempre trazendo novas tecnologias, ideias, e maneiras de viver, o que, invariavelmente, resultou em um aumento constante da nossa dependência de água. A agricultura, a pecuária, as grandes indústrias, a tecnologia de ponta, a sociedade e as próprias pessoas: todos somos e estamos fortemente dependentes de acesso à água.

O aumento constante dessa dependência, atrelado ao crescimento e à expansão não controlados em diversas regiões, bem como à desigualdade social existente, fez com que diversas cidades fossem desenvolvidas à beira de cursos d'água. Algumas delas, ou pelo menos partes delas, se desenvolveram desenfreadamente, resultando em ocupações de regiões de grande importância na dinâmica dos rios, chamadas de planícies de inundação, que são as regiões localizadas, normalmente, logo às margens dos rios.

À primeira vista, a ocupação dessas áreas pode parecer não causar grandes problemas, uma vez que, durante o decorrer de um ano ou mais, nada fora do normal pode ocorrer nessas áreas, fato que pode se estender por períodos ainda maiores. Entretanto, o grande perigo está na ocorrência de eventos de precipitação de magnitude tal que ocasionam extravasamentos da calha normal do rio, os quais, quando ocorrem, geram a inundação, total ou parcial, dessas planícies. Nesses casos, essas áreas são alagadas,

podendo causar enormes prejuízos, tanto materiais quanto de vidas, a tudo e a todos que estiverem localizados e estabelecidos nelas.

Como exemplo dessas questões problemáticas, podemos citar os constantes casos de alagamentos e inundações que ocorrem na bacia do rio Caí, principalmente na região dos municípios de São Sebastião do Caí e Montenegro, nos quais casos de ondas de cheias são muito recorrentes, causando fortes impactos negativos nos âmbitos material, social e humano (PEDROLLO *et al.*, 2011).

Apesar de esses serem os tipos mais conhecidos de casos de problemáticas envolvendo a proximidade do ser humano com cursos de água, com o passar do tempo o homem desenvolveu outras práticas que também se relacionam e/ou utilizam os corpos hídricos, como por exemplo a prática de turismo em regiões naturais, como por exemplo a realização de trilhas em zonas ainda pouco desbravadas pelo homem.

Em muitos casos, as trilhas mais bonitas, aquelas que levam aos lugares mais incríveis do ponto de vista paisagístico ou ainda as que proporcionam mais adrenalina durante a sua realização, se relacionam, de alguma forma, com algum corpo hídrico, seja localizando-se ao longo de rios, arroios e córregos, seja cruzando seus leitos. Dependendo das características da trilha, do local, e das condicionantes hidrológicas e meteorológicas da região, essa proximidade e essa relação com os cursos d'água podem gerar uma dependência muito grande entre a segurança na trilha e as variáveis hidrológicas e meteorológicas, podendo resultar em situações críticas e de emergência a partir da elevação brusca e/ou não prevista do nível do rio.

É nesse contexto de turismo em áreas naturais ainda preservadas, nas quais a possibilidade da prática de atividades turísticas depende de condições meteorológicas e hidrológicas, que o presente trabalho foi desenvolvido. A área de estudo do trabalho, como será apresentado mais à frente, é a região do Parque Nacional de Aparados da Serra (PNAS), localizado próximos aos municípios de Cambará do Sul (RS) e de Praia Grande (SC). No Parque existe a Trilha do rio do Boi, muito frequentada por diversos turistas da região sul do Brasil, e que se inicia na região de entrada do cânion do Itaimbezinho e tem seu trajeto acompanhando o crescimento e afunilamento do cânion.

O trajeto da Trilha é realizado em parte no próprio leito do rio do Boi e em parte colado à sua margem, o que estabelece uma inter-relação de dependência muito forte entre o nível do rio e a segurança na Trilha. Diversos casos emergenciais de isolamento de turistas na Trilha devido à elevação rápida do nível do rio do Boi já foram registrados no local, contando inclusive com casos fatais, de óbitos de turistas.

Nesse sentido, sistemas de alerta são importantes para a minimização de impactos relacionados a eventos hidro meteorológicos. Havendo um sistema em funcionamento gerando resultados concretos e operando em sintonia com a gestão do Parque, agências e guias de turismo e com a comunidade em geral, as probabilidades da prévia identificação da possível ocorrência desse tipo de evento, de elevação rápida do nível fluviométrico, e da tomada das conseqüentes medidas preventivas necessárias poderiam ser relativamente altas, elevando assim as chances de se evitar as conseqüências que esses eventos podem ocasionar, principalmente as situações de emergência.

Este Trabalho de Conclusão de Curso se insere neste cenário como um primeiro trabalho nesse sentido no local, iniciando um processo de levantamento de informações, de instalação de equipamentos, de implementação de sistema de monitoramento, de desenvolvimento de sistemas de disponibilização interna dos dados gerados e de desenvolvimento de proposições iniciais de modelos de previsão e alerta de cheias para a região dos Cânions do Itaimbezinho, em Cambará do Sul – RS, nos quais são apresentadas principalmente proposições de correlações entre nível fluviométrico, precipitação e previsão meteorológica.

1.2. OBJETIVOS

A seguir, são apresentados os objetivos – geral e específicos – do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

1.2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo trazer contribuições para o desenvolvimento de um sistema de alerta para o fechamento da Trilha do Rio do Boi, que possibilite uma realidade de maior segurança na prática do turismo na região do cânion do Itaimbezinho (RS).

1.2.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos do presente trabalho:

- Investigar aspectos acerca do histórico de fechamento da trilha do rio do Boi para diferentes períodos do ano, em relação à percepção dos gestores e funcionários do Parque;
- Ajustar e avaliar o desempenho de um modelo de regressão para previsão do fechamento da trilha, a partir de dados de precipitação observada e prevista; e
- Investigar potenciais benefícios de monitoramento sub-diário (automatizado) em relação a intervalo de tempo diário no que tange à captura de eventos hidrológicos;

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Para facilitar o acompanhamento e o entendimento do presente trabalho de conclusão de curso, a seguinte estrutura de apresentação e desenvolvimento foi utilizada:

- **Capítulo 2:** Consiste da revisão bibliográfica que embasou e orientou este trabalho, revisando principalmente técnicas de previsões hidrológicas e meteorológicas, metodologias de verificação dessas previsões, e, principalmente, sobre sistemas de previsão e alerta existentes e em funcionamento no mundo e no Brasil. Ao final, também é trazida a inserção desse trabalho dentro do atual contexto de sistemas de previsão atualmente em operação.

- **Capítulo 3:** Apresenta a área de estudo em questão do presente trabalho, consistindo em uma breve introdução histórica da criação do Parque Nacional de Aparados da Serra, sua formação geológica e instituição legal, e na sua localização e delimitação espacial. Ainda, é descrito o sistema de monitoramento existente no local quando do início do trabalho, bem como o processo de tomada de decisão sobre o fechamento ou não da Trilha do rio do Boi a ele relacionado.

- **Capítulo 4:** Descreve as metodologias que foram utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, tanto no que tange as atividades de campo realizadas, como por exemplo a instalação de equipamentos de monitoramento e as técnicas de medição de nível e vazão utilizadas, quanto no que tange o processamento dos diversos dados obtidos, e os processos e decisões que embasaram o desenvolvimento das proposições de modelos.

Além disso, também é apresentada a principal métrica utilizada para a verificação dos índices de acerto e de erro das proposições de modelos elaboradas.

- **Capítulo 5:** Expõe os principais resultados obtidos com o desenvolver do trabalho: as correlações encontradas entre os níveis fluviométricos e os registros de chuva; as avaliações dos modelos gerados através dos dados de previsão meteorológica; e as proposições em si dos modelos desenvolvidos. Além disso, também são apresentados resultados prévios dos equipamentos de monitoramento automatizado que foram instalados durante a elaboração do trabalho. Por último, são trazidas algumas discussões acerca desses resultados, principalmente em comparação aos obtidos através dos processamentos e modelagens com os dados já existentes.

- **Capítulo 6:** Apresenta, por fim, as conclusões resultantes deste trabalho, divididas entre as principais contribuições geradas pelo mesmo e as principais sugestões de trabalhos futuros, objetivando a continuidade do estudo e do projeto ao qual este trabalho está inserido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica realizada durante o desenvolvimento do presente trabalho, a qual foi utilizada base teórica orientadora dos caminhos a serem seguidos.

Primeiramente, são trazidos conceitos de inundações, cheias e medidas de prevenção e de mitigação a esses eventos extremos, as chamadas medidas estruturais e não estruturais. Essa temática abre a discussão para o principal enfoque do trabalho e, conseqüentemente, também desse capítulo: os sistemas de monitoramento e alerta de cheias, seus papéis fundamentais na previsão de eventos extremos e na mitigação dos efeitos por eles causados, seus modelos conceituais e suas aplicações.

Em seguida, são trazidos estudos e questões referentes à temática de previsão de nível e de precipitação, principalmente a partir de funções determinísticas, essenciais para o desenvolvimento de modelos de previsão e alerta. Também são apresentados alguns atributos que podem e devem ser avaliados em dados resultantes de modelos de previsão, bem como as respectivas métricas utilizadas para essas verificações.

Ainda, são trazidos exemplos desse tipo de sistema, tanto de fora do Brasil, quanto nacionais, dando-se especial enfoque na rede existente atualmente no nosso país, da qual três exemplos de sistemas são brevemente apresentados.

Por fim, mas não menos importante, é debatida a inserção do presente trabalho no âmbito da atual realidade brasileira acerca de sistemas de previsão e monitoramento de cheias.

2.1. CONTROLE DE INUNDAÇÕES E DE CHEIAS

Episódios de intensa precipitação, dependendo das condições iniciais e das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica em questão, normalmente resultam em um grande aporte de águas nos corpos hídricos receptores. Essa chegada de grande quantidade de água resulta em um grande aumento da vazão e, conseqüentemente, dos níveis. Esse quadro normalmente causa o extravasamento da calha habitual do rio, resultando na inundação das áreas ribeirinhas (TUCCI, 2008).

Na ocorrência de um evento desses em um rio localizado em uma área isolada, as consequências desses episódios naturais de inundação provavelmente seriam pouco significantes para nós, humanos, e para a nossa sociedade.

O crescimento desordenado dos centros urbanos e o desenfreado aumento da população mundial, atrelados à necessidade de acesso à água, fez com que o ser humano, ao redor de todo o mundo, começasse a ocupar cada vez mais áreas ribeirinhas. As fortes desigualdades sociais, cada vez mais presentes na nossa sociedade, são um fator agravante da ocupação dessas áreas.

Muitas dessas áreas, entretanto, são o que se chama de planícies de inundação, as quais são inundadas, naturalmente, pelos rios quando dos seus extravasamentos períodos. A ocupação dessas áreas por parte da população humana coloca em grande risco quem lá se estabelece, uma vez que as áreas são, justamente, áreas que são inundadas pelos rios.

Segundo Tucci (2008), a não ocorrência de eventos de elevação dos níveis dos rios e as suas consequentes inundações ao longo de um grande período de tempo, faz com que a população residente dessas áreas ganhe cada vez mais confiança sobre a possibilidade de se estabelecer na área, resultando em um aporte maior de moradores e no adensamento dessas áreas alagáveis.

A contínua ocupação dessas áreas urbanas impróprias, somado ao desprezo e à despreocupação pelos riscos existentes tanto por parte dos moradores como por parte de diversos gestores públicos, traz consequências extremamente graves a essa população, uma vez que cedo ou tarde essas áreas serão inundadas.

Para tentar se combater e prevenir os possíveis efeitos catastróficos das inundações, é necessário se realizar o controle das mesmas, o qual pode ser realizado a partir de um conjunto de medidas estruturais e não-estruturais (TUCCI, 2008; PEDROLLO, 2011).

As chamadas medidas estruturais são aquelas que modificam, de maneira definitiva ou temporária, a estrutura física do rio, seja limitando, amortecendo, retardando ou acelerando o escoamento do corpo hídrico. Barreiras, diques, bacias e reservatórios de contenção, e canais auxiliares são alguns exemplos desse tipo de medida.

Ainda sobre as medidas estruturais, é importante ressaltar que elas podem, em um primeiro momento, transmitir a sensação de enorme segurança e tranquilidade à população da região afetada. Entretanto, apesar de elas apresentam um risco associado geralmente pequeno, em eventos de rompimento dessas estruturas, as ondas de cheia

geradas apresentam magnitudes muito maiores, e, conseqüentemente, impactos e efeitos muito piores do que no cenário de não intervenção (TUCCI, 2008).

Já as medidas não estruturais, são aquelas que não interferem na estrutura física do rio, estando relacionadas mais à mitigação dos possíveis impactos do que à prevenção de ocorrência dos eventos causadores. Dentro desse conjunto de ações, diversas podem ser as medidas adotadas em uma área, podendo ser únicas ou combinadas entre si. Tucci (2008) apresenta, ainda, dados de um estudo em Denver, Estados Unidos, no qual, com um mesmo investimento financeiro, as medidas não estruturais poderiam proteger uma área até três vezes maior do que o que seria protegido por medidas estruturais.

Dentre as medidas não estruturais mais conhecidas e utilizadas, destacam-se o mapa de vulnerabilidade e o zoneamento de risco, gerados principalmente através de análises de manchas de inundação de eventos precedentes, e o desenvolvimento de sistemas de previsão e alerta a ondas de cheias e a inundações.

2.2. SISTEMAS DE PREVISÃO E ALERTA

Nesse cenário, a elaboração e a aplicação de um sistema eficaz de previsão e alerta de cheias é de extrema importância, sendo considerado como uma das medidas mais efetivas de prevenção a eventos de inundação (ALFIERI *et al.*, 2012).

Sistemas de previsão hidrológica desempenham papel fundamental na composição dos sistemas de previsão e alertas, sendo capazes de fornecer, de forma antecipada, informações hidrológicas passíveis de reduzir a vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos, como por exemplo a possível magnitude ou o tempo de chegada do pico de vazão do evento (PAIVA *et al.*, 2012; PAGANO *et al.*, 2014; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

Uma vez que apresenta justamente a finalidade de antecipar um provável evento de inundação, permitindo a prévia tomada de decisão e execução de ações, tanto por parte da sociedade civil quanto pelos gestores públicos, os sistemas de previsão e alerta permitem mitigar os possíveis impactos que seriam causados pelas inundações, tanto em termos materiais, quanto sociais ou humanos (MOORE *et al.*, 2005; PEDROLLO *et al.*, 2011; DANTAS *et al.*, 2014; SILVESTRO *et al.*, 2014; ALFIERI *et al.*, 2012).

Pedrollo *et al.* (2011) e Pagano *et al.* (2014) enumeram as principais etapas previstas e desafios encontrados na implementação e no funcionamento de um sistema de previsão e alerta de cheias eficiente, podendo-se destacar:

- 1) A geração, coleta e transmissão do maior número de dados possíveis;
- 2) A análise dos dados coletados, seguida da consequente utilização deles nos modelos de previsão desenvolvidos e avaliação dos resultados gerados;
- 3) Transformação, quando necessário, das previsões hidro meteorológicas em efetivos alertas aos órgãos competentes; e
- 4) A operação e administração do sistema como um todo.

Os sistemas de previsão e alerta podem funcionar tanto através do recebimento de dados de vazão, quanto de precipitação, ou ainda de ambos (ANDREOLLI *et al.*, 2006; TUCCI, 2008). Para casos que não existem dados de vazão existentes ou disponíveis, dados de nível fluviométrico também podem ser utilizados em correlação com os dados de precipitação.

Segundo Siqueira *et al.* (2016), os principais fatores dos quais a escolha da abordagem de previsão depende são normalmente o intervalo de previsão desejado e as características encontradas na bacia de implementação do sistema de previsão e alerta, como por exemplo o tempo de passagem das ondas de cheia e a resposta da bacia à chuva.

Dantas *et al.* (2014), Silvestro *et al.* (2014), e Fan *et al.* (2017) indicam a importância, em especial, de sistemas de previsão e alerta de cheias para bacias de pequeno e médio porte e para bacias que apresentam altos valores de escoamento superficial, uma vez que ambas as características resultam na aceleração das respostas de elevação de nível e de vazão a eventos de precipitação. Condições iniciais de umidade do solo são responsáveis, também, por acelerar as respostas das bacias aos eventos de chuva (SIQUEIRA *et al.*, 2016).

As características acima descritas são muito encontradas na região sul do Brasil, região na qual grande parte das bacias apresentam características geológicas que também favorecem o escoamento superficial. Ainda, a ausência de uma ou mais estações específicas de chuvas dentro do ano na região, com chuvas bem espalhadas e presentes em todos os meses do ano, possibilita a ocorrência de eventos de rápida elevação de vazão nos rios em qualquer período do ano (FAN *et al.*, 2017).

Apesar de diversas bacias brasileiras, principalmente as da região sul do país, apresentarem diversos dos aspectos até aqui levantados, e apresentados como aceleradores de tempos de resposta à eventos de precipitação e, conseqüentemente, de maior risco a esses eventos, a realidade atual não é muito animadora.

Meller *et al.* (2014) afirmam que os sistemas de previsão e alerta ainda se apresentam em número escasso no Brasil, e que os poucos existentes normalmente apresentam desenvolvimento baseado em modelos simplificados de propagação de escoamento, não utilizando qualquer dado de precipitação, seja observada ou prevista.

Silvestro *et al.* (2014) alerta para o fato de que a utilização de dados que não representem muito bem as características do local de análise, bem como a realidade momentânea na qual o local se encontra (principalmente sobre as intensidades e localizações das chuvas e sobre as condições iniciais de umidade do solo), podem resultar em previsões pouco confiáveis e representativas. Por isso, ressaltam ainda que os controladores dos sistemas de previsão e alerta devem sempre analisar os resultados gerados com elevado senso crítico e buscar sempre o real entendimento de cada situação representada pelos sistemas e modelos.

No próximo subcapítulo é apresentada a realidade brasileira em relação aos sistemas de previsão e alerta de inundações. Antes disso, é apresentado, na sequência, um exemplo um sistema existente na Itália, na região de Piemonte. Após a apresentação dos sistemas existentes no Brasil, sugere-se um momento de reflexão sobre as diferenças apresentadas pelos diferentes sistemas.

Rabuffetti e Barbero (2005) apresentam, através do estudo de caso da enchente de outubro de 2000 que atingiu a região, o desenvolvimento e a implementação de um sistema de previsão de cheias na região, o qual apresenta previsão de 48 horas em avanço, e é composto pelas fases de vigilância, perigo, alarme e emergência. O sistema se chama *FloodWatch* e é baseado em um sistema geográfico de informações (SIG) de suporte à decisão, que funciona 24 horas por dia. Estrutural e conceitualmente falando, o sistema apresenta um funcionamento misto, combinando o uso de estações telemétricas hidrológicas e meteorológicas e de radares meteorológicos com previsões de tempo em escalas local e global e com modelagem hidrológica do principal rio da região monitorada.

2.3. TÉCNICAS DE PREVISÃO DE HIDROLÓGICA

Previsões hidrológicas representam uma estimativa gerada, com uma certa antecedência, sobre o comportamento de variáveis como vazão e nível dos rios. Ou seja, sobre o seu escoamento. A capacidade de se realizar previsões de vazão e nível resulta, conceitualmente, na também capacidade de se prever a ocorrência de eventos hidrológicos (TUCCI, 2015). Dessa forma, previsões hidrológicas ganham grande importância no cenário dos modelos e sistemas de previsão e alerta de inundações e de cheias, sendo apresentadas como um dos principais componentes desse tipo de sistema (ALFIRERI *et al.*, 2012).

Assim como qualquer previsão, as previsões de vazão podem ser divididas, basicamente, em previsões de curto, médio e longo prazo, dependendo da antecedência que as previsões resultam e também da qualidade dos dados de entrada utilizados.

Tucci e Collischonn (2003) dizem que as previsões de vazão podem ser geradas através de três metodologias principais, a de propagação de ondas de cheia, a de transformação chuva-vazão e a de transformação chuva-vazão com adição de dados de previsão quantitativa de precipitação (*Quantitative Precipitation Forecasts - QPF*).

A primeira metodologia trabalha basicamente relacionando diferentes medições de variáveis hidrológicas em diferentes seções de controle, ao longo do(s) corpo(s) hídrico(s) de interesse, as quais podem ser o nível fluviométrico ou a vazão. A partir dessas medições, são desenvolvidas regressões e correlações entre eles, de forma que obtenha, ao final, correlações matemáticas simples entre as variáveis nos diferentes pontos de controle. Devido à sua praticidade, esse sistema é amplamente utilizado em sistemas de previsão e alerta de cheias, inclusive em diversos sistemas integrantes da rede de monitoramento da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM.

Os modelos de previsão de vazão, por sua vez, levam em consideração dados observados de chuva, uma vez que os eventos de precipitação têm forte efeito nos níveis fluviométricos e nas vazões dos corpos hídricos. Para a elaboração de previsões a partir da união desses dados, são necessários modelos hidrológicos um pouco mais complexos do que os necessários para as previsões de propagação de ondas de cheia.

A terceira metodologia apresenta similaridades na sua base conceitual com a anteriormente citada, apresentando, entretanto, a grande diferença de utilização de dados de previsão de chuva, principalmente baseados em dados gerados por QPF. A utilização desses dados de previsão de precipitação permite um grande aumento quantitativo no

número de horas de antecedências de uma previsão de vazão, o que é uma grande vantagem em relação aos modelos baseados apenas nas observações.

Quando todos os dados de entrada utilizados nessas metodologias são dados determinísticos, ou seja, são apenas um valor, os resultados dessas previsões são também determinísticos. Dessa forma, previsões de chuva determinísticas não levam incertezas associadas, uma vez que é consideravelmente difícil se modelar todas as condições iniciais da atmosfera, no processo de geração dessas informações (FAN, 2015).

Como alternativa a isso, existe o conceito de previsões por conjunto, ou Ensemble, que nada mais é do que, em vez de se utilizar apenas um dado de previsão meteorológica de entrada, se insere um conjunto de dados no mesmo modelo (ou então o mesmo dado em um conjunto de modelos), o que resulta, conseqüentemente, em um conjunto de previsões (FAN, 2015). Para maiores informações sobre a técnica, diversos trabalhos atuais podem ser consultados, como por exemplo (FAN, 2015; FAN *et al.*, 2016a; FAN *et al.*, 2017; MELLER *et al.*, 2014; PAGANO *et al.*, 2014; SILVESTRO *et al.*, 2014; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

Dada a sua capacidade de previsão de eventos hidrológicos, bem como a possibilidade de acoplamento com previsões meteorológicas, as previsões de vazão são amplamente utilizadas em sistemas avançados de previsão e alerta de inundações.

Um dos principais dados de entrada em modelos de previsão de vazão e, conseqüentemente, também em sistemas de previsão e alerta de cheias, são justamente essas informações sobre os eventos de precipitação futuros, que ocorrerão dentro do período analisado pelo sistema. Segundo Fan *et al.* (2016a), os principais sistemas de previsão permitem o uso de três tipos de dados de entrada: previsão quantitativa de precipitação (*Quantitative Precipitation Forecasts* - QPF), chuva zero ou chuva futura manualmente estipulada.

Modelos de previsão numérica de tempo (do inglês, *Numerical Weather Prediction* - NWP), podem ser utilizados para gerar dados de QPF, aumentando a capacidade e o horizonte das previsões, o que faz com que cada vez mais a previsão quantitativa de chuva venha sendo utilizada em modelos e sistemas com esses fins (TUCCI *et al.*, 2008; CUO *et al.*, 2011; MELLER *et al.*, 2014, ANDREOLLI *et al.*, 2016).

A aplicabilidade dos dados gerados por modelos NWP dependem, basicamente, das escalas de tempo e espaço que são utilizadas, sendo que os dados de QPF podem apresentar melhores resultados principalmente em previsões de algumas horas até alguns dias (ANDREOLLI *et al.*, 2006; CUO *et al.*, 2011).

Ainda, dados de QPF podem ser acoplados a modelos hidrológicos de previsão em regiões nas quais eventos de precipitação resultam em rápidas elevações dos níveis fluviométricos, como por exemplo, regiões montanhosas e de alto declive, para que se possa realizar previsões desses eventos com um maior tempo de antecedência (SIQUEIRA *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

Nesse cenário, no Brasil, o CPTEC – INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) fornecia, até 2017, diariamente dados do modelo Eta-15km (CHOU, 1996; CHOU, NUNES, CAVALCANTI, 2000), os quais foram amplamente utilizados em diversos estudos, modelos e sistemas (FAN *et al.*, 2016a; FAN *et al.*, 2016b; FAN *et al.*, 2017; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

O modelo Eta-15km, que é considerado estado da arte em modelagem atmosférica regional (FAN *et al.*, 2016a), apresenta um *grid* de resolução de 15 km de previsão, que abrange espacialmente quase todo o território correspondente à América do Sul. Existem, ainda, outras versões do modelo Eta, que apresentam diferentes resoluções e abrangências espaciais, e usos indicados.

Essa versão do modelo gera dados duas vezes ao dia, nos horários 00 e 12 UTC, com resolução espacial de três horas, e horizonte de previsão de sete dias. Para a melhor utilização dos dados de previsão gerados, é indicada a desagregação temporal desses dados de previsão para dados horários de previsão (MELLER *et al.*, 2014; FAN *et al.*, 2014; FAN *et al.*, 2015; FAN *et al.*, 2016b; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

Fan *et al.* (2017) ressaltam que o modelo Eta-15km é um modelo determinístico, e que, com isso, as previsões de precipitação geradas podem ter atreladas a si incertezas referentes à localização exata, bem como às suas magnitudes e ocorrências em si. Apesar das incertezas atreladas, os dados gerados pelos modelos Eta são, observadas as condições de contorno, largamente utilizados em modelos hidrológicos e sistemas de previsão de cheias (ANDREOLLI *et al.*, 2006; CATALDI *et al.*, 2007; TUCCI *et al.*, 2008; MELLER *et al.*, 2014; FAN *et al.*, 2014; FAN *et al.*, 2015; FAN *et al.*, 2016b; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

Ainda relacionado a eventos de precipitação, uma das grandes dificuldades das redes de monitoramento hidrológico e meteorológico é a escassez e a irregularidade de obtenção de dados. Diversas regiões não apresentam nenhum tipo de monitoramento, enquanto que outras tantas apresentam pontos de controle extremamente afastados uns dos outros. Além disso, também é importante ressaltar os casos de descuido, abandono e

vandalismo que diversos desses pontos sofrem no país, prejudicando ainda mais a rede de monitoramento existente.

Como possível solução para se aumentar o número de informações geradas sobre eventos de precipitação, diversos autores apresentam o uso combinado das medições em campo com a tecnologia avançada das informações de satélite. Nesse sentido, diversos trabalhos já desenvolvidos apontam as estimativas de chuva obtidas pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) como as mais utilizadas e de ótimos resultados (JIMÉNEZ *et al.*, 2014; FAN *et al.*, 2016a; PAIVA *et al.*, 2012).

2.4. MÉTRICAS DE VERIFICAÇÃO

Independentemente de como a informação final foi gerada em um sistema de previsão, seja através de um modelo determinístico ou por um modelo de conjuntos, esse dado resultante pode estar carregando erros e incertezas, sejam elas operacionais, sistemáticas ou de fonte externa.

Dessa forma, a etapa seguinte à geração de previsões é a de verificação dos resultados obtidos com essas previsões, sejam elas de nível fluviométrico, de vazão, meteorológicas ou de modelos mais complexos. Essa verificação ocorre, usualmente, através de comparação com dados conhecidos, usados como referências. Normalmente, esses dados provêm de observações de campo e de séries históricas já conhecidas.

A verificação da qualidade dos dados gerados é de extrema importância para a validação do modelo de previsão desenvolvido, uma vez que permite testar se esses dados apresentam as características específicas mínimas requeridas pela concepção e finalidade do modelo (FAN, 2015).

Diversas são as características possíveis de serem avaliadas em uma verificação acerca da qualidade dos dados gerados por modelos de previsão. Nesse sentido, Wilks (2006) e Jolliffe e Stephenson (2012) apresentam, em seus trabalhos, diversos exemplos do tipo de atributos que podem ser avaliados.

Dentre as diversas características que apresenta em seu trabalho, Fan (2015) ressalta que para sistemas de proteção contra cheias, a capacidade de discriminação nos dados gerados pelos modelos é essencial para que esses possam ser considerados dados utilizáveis para o proposto fim.

Como um dos grandes objetivos de sistemas de proteção e alerta contra cheias é justamente conseguir prever a ocorrência ou a superação de um dado limiar máximo (seja de nível ou de vazão), é indispensável que esses modelos apresentem a capacidade de discriminação da ocorrência ou não de eventos discretos, como por exemplo inundações. Ou seja, a característica de maior interesse esperada para esses sistemas é a capacidade de previsão de eventos em que apenas dois resultados são possíveis e de interesse: a excedência ou a não excedência de um limiar. Esses eventos também são conhecidos como eventos dicótomos.

Para esse tipo de análise de capacidade, o *Relative Operating Characteristic Diagram* (ROC Diagram), em combinação com os índices *Probability of Detection* (POD) e *Probability of False Detection* (POFD) são utilizadas em inúmeros estudos de avaliação de dados gerados por modelos e sistemas de previsão e alerta de cheias, como pode ser visto em trabalhos como os de Fan *et al.* (2016b), Fan (2015), Meller *et al.* (2014) e Siqueira *et al.* (2016).

Em seu trabalho, Meller *et al.* (2014) indicam que o diagrama ROC pode ser utilizado para avaliar ambas previsões determinísticas e por *ensemble*. Para o caso das determinísticas, os dados gerados devem ser comparados com os dados de controle para a verificação dos respectivos índices POD e POFD, os quais representam a capacidade e efetividade do sistema em prever a detecção e a não detecção da excedência e da não excedência do limiar que gera a ocorrência do evento.

A análise dos próprios nomes das métricas POD e POFD, os quais significam, respectivamente, probabilidade de detecção e probabilidade de falsa detecção, já sugere que, em um sistema perfeito de previsão os dados resultantes apresentem valores iguais a um para POD e iguais a zero para POFD (FAN *et al.* 2016b; FAN, 2015). Ou seja, que o modelo sempre gere previsões corretas para a ocorrência do limiar e que ele também nunca emita falsos alarmes.

2.5. SISTEMAS DE PREVISÃO E ALERTA NO BRASIL

Hoje em dia, os principais sistemas de previsão e alerta de cheias em funcionamento no Brasil são monitorados e operados pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM), através do seu Sistema de Alerta de Cheias (SACE), que compreende a maior rede desse tipo de sistema no país. Segundo dados disponibilizados

no *website* da CPRM, o SACE apresenta operação com geração de boletins de previsões hidrológicas em 11 bacias espalhadas pelo país, sendo elas as bacias dos rios Amazonas, Paraguai (região do Pantanal), Doce, Caí, Muriaé, Acre, Madeira, Parnaíba, Taquari, Branco e Xingu.

Ainda segundo informações disponibilizadas pela própria Companhia, três novos sistemas encontram-se em etapa de avaliação técnica de viabilidade e/ou em fase de implementação, nas bacias dos rios Mundaú, Uruguai e das Velhas, os quais devem estar, até o final de 2018, em operação.

O desenvolvimento de sistemas de previsão e alerta sólidos para regiões brasileiras que apresentem alta instabilidade hidrológica são essenciais no controle, prevenção e mitigação de possíveis impactos causados por eventos extremos. Siqueira *et al.* (2015), cita a importância da integração dos SACE com entidades públicas como a Defesa Civil, para otimização dos possíveis resultados oriundos da prevenção e da mitigação.

A Figura 1 apresenta o fluxograma do SACE implementado para a abacia do rio Taquari. Apesar de representar o funcionamento desse sistema em específico, o fluxograma serve para exemplificar os demais sistemas existentes na rede da CPRM, os quais apresentam estrutura semelhante em sua grande maioria.



Figura 1 - Fluxograma do SACE da bacia hidrográfica do rio Taquari

Fonte: CPRM, 2017

A seguir, são apresentadas algumas características principais de funcionamento de três sistemas de previsão e alerta integrantes da rede SACE, de forma a exemplificar a existência, a estrutura implementada e o funcionamento base desses sistemas atualmente no Brasil. Para tanto, os sistemas escolhidos foram os das bacias do rio Caí (RS), do rio Taquari (RS) e do rio Acre (AC).

2.5.1. Bacia do rio Caí

Em seu trabalho, Pedrollo *et al.* (2011) descrevem detalhadamente o sistema de previsão e alerta da bacia do rio Caí, seus principais objetivos e componentes, bem como as dificuldades e limitações encontradas ao início da implementação e operação do sistema, que conta com sete pontos de monitoramento e conseguem gerar previsões com até dez horas de antecedência. Os municípios que mais sofrem com os casos de inundações nessa região são Montenegro e São Sebastião do Caí.

As principais fases da implementação do sistema contaram com a definição dos pontos de interesse de monitoramento, a aquisição e instalação dos equipamentos de monitoramento, a elaboração de um modelo matemático de previsão de níveis e o acompanhamento e avaliação das respostas geradas.

Pedrollo *et al.* (2011) relatam uma dificuldade na obtenção de dados representativos dos modelos desenvolvidos pela combinação do fato de a bacia do rio Caí ser pequena e apresentar respostas muito rápidas a eventos de precipitação, com o fato de os dados existentes, ao início da concepção, desenvolvimento e operação do sistema, serem dados diários acumulados de chuva e dados de nível fluviométrico registrados duas vezes ao dia.

A utilização dos dados gerados a cada 15 minutos pelas estações telemétricas instaladas resulta em dados finais de previsão muito mais representativos, uma vez que esses dados representam muito melhor as dinâmicas e relações entre os eventos de precipitação. Segundo Pedrollo *et al.* (2011), análises e modelagens prévias foram realizadas com os dados obtidos por essas estações, mesmo que para um curto período de tempo, e já apresentaram aprimoramentos significativos nas previsões geradas, o que confirma a teoria da representatividade substancialmente mais elevada quando se utiliza dados sub-diários nesse tipo de modelo.

2.5.2. Bacia do rio Taquari

Outra região fortemente afetada por eventos de inundação é a região do Vale do Taquari, localizada na bacia hidrográfica Taquari Antas, com ênfase nos efeitos causados nos municípios de Muçum, Encantado, Lajeado e Estrela.

O monitoramento nessa região se iniciou no ano de 2003, em uma parceria entre a Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES) e a Administração das Hidrovias do Sul (AHSUL), que se estendeu até o ano de 2007.

Segundo Both *et al.* (2008), o sistema é baseado em relações cota-cota entre os diferentes pontos de monitoramento, localizados nos diferentes municípios abrangidos e em localizações intermediárias. A partir da verificação de cota em um dos pontos, é possível se obter as correlações de nível nos pontos subsequentes.

Para a elaboração do modelo de relação entre os níveis fluviométricos, foram utilizadas séries cronológicas de cotas máximas, através das quais foi possível analisar as melhores correlações existentes entre os diferentes pontos, o que possibilitou, finalmente, as regressões lineares e a geração dos modelos (BOTH *et al.*, 2008).

Em 2013 o sistema foi reativado, dessa vez pela CPRM, passando a integrar a rede SACE. Atualmente, a região conta com dez pontos de monitoramento de nível fluviométrico e de precipitação, os quais transmitem em tempo real os dados. Como resultado do sistema de previsão, alertas conseguem ser gerados com períodos de antecedência de oito e doze horas, tempo hábil para disseminação da informação às autoridades competentes e consequente tomada de medidas preventivas e mitigadoras necessárias.

2.5.3. Bacia do rio Acre

Por fim, outro rio brasileiro que é monitorado pelo sistema SACE, da CPRM, é o rio Acre, localizado no município de Rio Branco – AC. Como principal característica, o rio Acre apresenta uma taxa de resposta a eventos pluviométricos extremamente alta, resultando em rápidas elevações dos rios após as chuvas intensas, indicando a necessidade de estações telemétricas de monitoramento (BUFFON *et al.*, 2015a).

Durante o período chuvoso da Amazônia, os solos encontram-se completamente saturados, o que faz com que as respostas de nível do rio sejam ainda maiores. Tais características, expõem a necessidade de um sistema de previsão e alerta de cheias para a

região, baseada em uma rede hidrométrica estrategicamente localizada e densa (BUFFON *et al.*, 2015b).

O sistema lá instalado conta com dez estações telemétricas de medição de chuva e de níveis fluviométricos, automatizadas. Previsões hidrológicas de curto prazo (de três, seis e doze horas de antecedências) são realizadas através de modelos empíricos baseados em regressões lineares a partir dos dados gerados pelo monitoramento em tempo real. Esses modelos empíricos são comumente utilizados nesse tipo de previsão, uma vez que necessitam de poucas variáveis hidrológicas, de fácil obtenção (BUFFON *et al.*, 2015b).

2.6. INSERÇÃO DO PRESENTE TRABALHO

Dentro desse cenário de sistemas de previsão e alerta atualmente existente no nosso país, o presente trabalho se insere como um conjunto de contribuições iniciais para o desenvolvimento de um sistema de alerta e previsão de cheias para o fechamento da Trilha do rio do Boi, localizada no cânion do Itaimbezinho, nos municípios de Cambará do Sul (RS) e Praia Grande (SC).

Os cânions da região dos Aparados da Serra e da Serra Geral são muito conhecidos, principalmente na região sul do Brasil, fato que atrai diversos turistas para visitação do local, e, conseqüentemente, para realização da Trilha.

A Trilha do rio do Boi apresenta registro histórico de diversos eventos de emergência relacionados   rápida eleva o do nível do rio, os quais resultaram em necessidades de fechamento e evacua o da trilha, causando isolamento e até falecimento de turistas e guias.

Os dois fatores acima apresentados, somados, configuram uma forte necessidade de controle desses eventos de cheia, principalmente devido   grande vulnerabilidade e risco humanos envolvidos. Essa situa o foi uma das grandes motiva es para o desenvolvimento do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

Conforme discorrido, informa es relativas às condi es hidrológicas dos rios, sejam níveis fluviométricos ou vazões,   precipita o e   meteorologia são os principais dados necessários para o desenvolvimento de modelos de previsão e obten o de resultados consistentes de previsão de cheias, cujas antecedências podem variar entre períodos de algumas horas até de alguns dias.

Além disso, para que possa ser considerado realmente eficiente, um sistema de previsão não deve atender não só à necessidade de prever corretamente eventos de cheia, como também realizar a disseminação dessas informações às autoridades e entidades competentes, para que esses alertas sejam realmente emitidos e causem possibilidades de prevenções e mitigações efetivas para a sociedade.

Ainda, julga-se muito importante ressaltar o pioneirismo do presente trabalho em buscar contribuições para o desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta para uma trilha turística, algo que, dentro dos limites de conhecimentos do autor, é inovador no Brasil. Diversos sistemas são desenvolvidos para usinas hidrelétricas, outros para municípios e regiões urbanas, mas não se obteve conhecimento de desenvolvimento desse tipo de sistema para regiões como trilhas turísticas, o que traz uma inovação importante para o estudo desenvolvido.

Dessa forma, acredita-se que as atividades desenvolvidas no presente trabalho, bem como as contribuições iniciais entregues ao final deste, inseridas nas realidades do local de estudo e norteadas pelos objetivos propostos pelo mesmo, inserem-se no contexto daquilo que existe de melhor hoje em dia no país no que diz respeito à prática de previsão e alerta de cheias.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. PARQUE NACIONAL DE APARADOS DA SERRA (PNAS)

3.1.1. Histórico

O Parque Nacional de Aparados da Serra (PNAS) é uma Unidade de Conservação (UC) localizada nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, abrangendo áreas pertencentes aos municípios de Cambará do Sul (RS) e Praia Grande (SC), conforme apresentado na Figura 2.

Teve sua criação estabelecida pelo Decreto Nº 47.446, de 17 de dezembro de 1959, publicado no Diário Oficial da União (DOU), na mesma data. Aproximadamente 15 anos depois, o Decreto Nº 47.446, de 17 de março de 1972, publicado no DOU de 20 de março do mesmo ano, trouxe algumas alterações em relação ao Parque, principalmente no que tange a sua área;

Quando da sua criação, o PNAS apresentava uma área superficial estimada em 13.000 hectares (130 km²), segundo o seu decreto de origem. Com as alterações propostas no Decreto de 1972, a área do Parque sofreu uma redução de aproximadamente 21,5% da sua área inicial, a qual passou a ser estimada em 10.250 hectares, representando cerca de 102 km².

3.1.2. Caracterização da Área

Localizado na parte leste da divisa dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, na borda da Formação Serra Geral, em uma das regiões de maiores altitudes do Sul do País, o Parque Nacional de Aparados da Serra tem o privilégio de abrigar os maiores cânions do Brasil.

Essas feições geológicas fazem parte da Província Paraná-Etendeka, que ocorre na porção centro-leste da América do Sul e no noroeste da Namíbia, no continente africano (UMANN *et al.*, 2001). As características e composições químicas e geológicas dessas duas regiões indicam que essa província teve origem em eventos de vulcanismo ocorridos predominantemente durante o intervalo de 130-135 milhões de anos, e está fortemente relacionada à separação do oeste do Gondwana e à abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo Inferior (HAWKESWORTH *et al.*, 1992; UMANN *et al.*, 2001).

Sem dúvidas um dos mais famosos da região, o cânion do Itaimbezinho tem cerca de 5,8 km de extensão e 900 metros de profundidade. Ainda, conta com duas quedas

principais, a Veu de Noiva e a das Andorinhas, que desaguam no fundo do cânion, encontrando as águas do rio do Boi. A Figura 3 apresenta um zoom da região do cânion do Itaimbezinho.

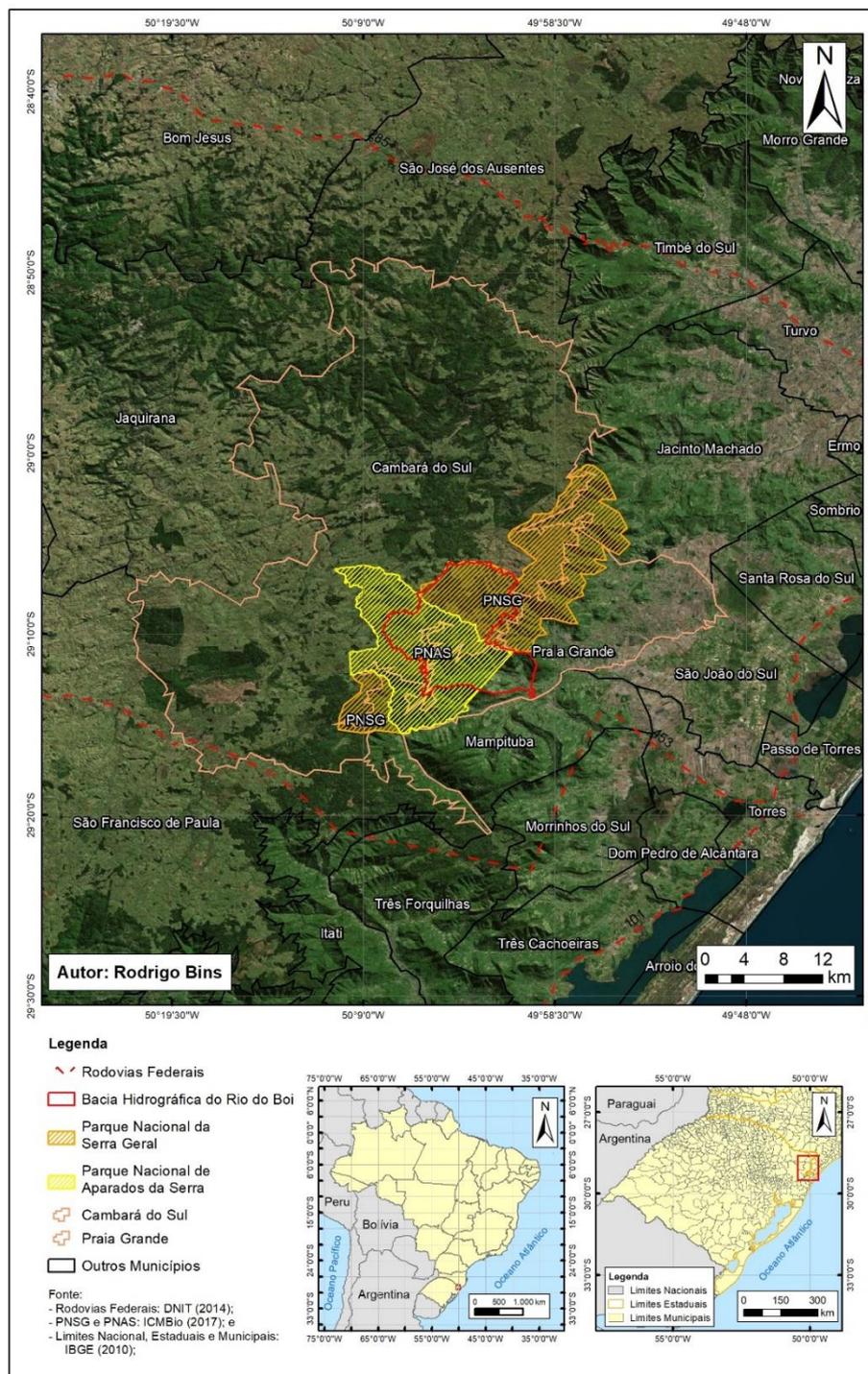


Figura 2 - Mapa de Localização da Área de Estudo

Fonte: Elaboração Própria

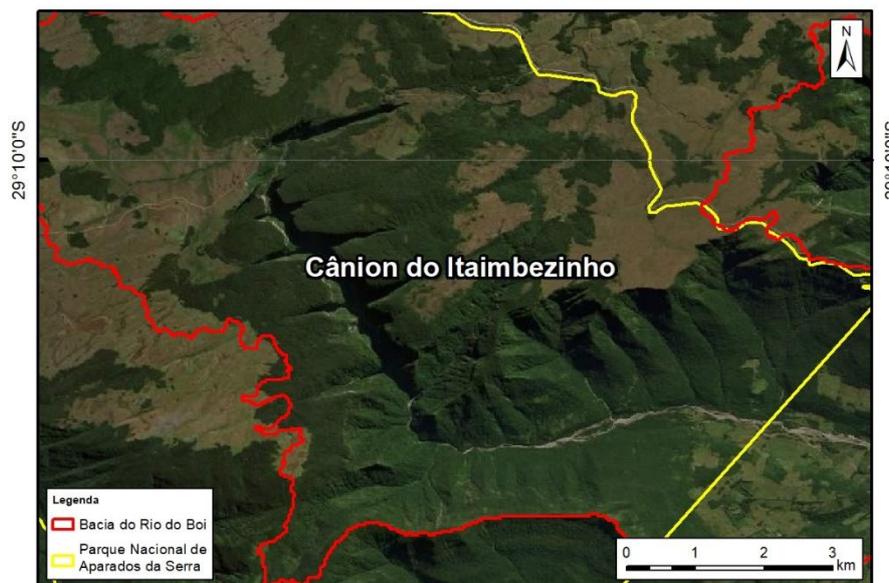


Figura 3 - Zoom de Localização do Cânion do Itaimbezinho.

Fonte: Elaboração Própria

O Parque Nacional de Aparados da Serra, que tem por missão “Preservar a fauna e a flora, bem como promover o bom relacionamento do homem com o meio ambiente”, é um refúgio de grande biodiversidade, além de também ser muito famoso por suas belezas naturais resultantes da sua formação geomorfológica. Além de estar inserido no bioma Mata Atlântica, a região é uma importante transição entre as florestas mais costeiras e os campos de planalto do Estado, sendo considerada uma zona de tensão ecológica, e assim resultando na existência de uma vasta heterogeneidade de ecossistemas.

Atualmente, o Parque conta com 3 trilhas: a do Vértice, que tem por volta de 500 metros de percurso e que possibilita uma bela vista da cachoeira das Andorinhas; a do Cotovelo, que tem cerca de 6 km de percurso (ida e volta) e que desvenda belíssimos pontos de observação dos paredões existentes; e a do rio do Boi, a única que é na parte inferior do cânion, provavelmente a mais famosa e com certeza a mais desafiadora das trilhas do local. Além disso, também é a trilha de interesse para o presente trabalho.

A Trilha do rio do Boi se inicia em um acampamento de apoio, à jusante da queda principal, ainda fora do cânion. A partir de lá, ela adentra o cânion por cerca de 4 km, com seu percurso principal sendo feito lado a lado com o leito do rio do Boi. Somadas ida e volta, a trilha completa 8 km, que são completados em cerca de exaustivas 8 horas.

Alternando cenários de quedas d'água com momentos de mata fechada, durante a trilha é necessário se cruzar o leito do rio diversas vezes. O número exato dos cruzamentos realizados é sempre incerto, pois varia muito de acordo com a dinâmica hidrossedimentológica do rio no momento, mas, segundo relatos de guias e guardas-parque, normalmente se realizam no mínimo de 10 a 12 cruzamentos ao longo da trilha (ao longo de um sentido).

Apesar da grandeza e da beleza existentes durante a aventura de completar a Trilha do rio do Boi, atividade que atrai diversos turistas ao PNAS, existem diversos riscos atrelados a ela. As próprias características do meio, ser um cânion e só existir uma mesma maneira de se entrar e de se sair da trilha, já é um fator de risco, e o fato de se cruzar o leito do rio diversas vezes também acrescenta ao cenário de riscos.

Além disso, o Parque está localizado em uma bacia hidrográfica relativamente pequena, que responde de maneira rápida às variantes climatológicas e hidrológicas que ocorrem. Essa característica pode resultar, por exemplo, em rápidos aumentos dos níveis dos arroios da parte superior do cânion quando de um evento de chuva, e, conseqüentemente, em elevações do nível do rio do Boi também, mesmo que na parte inferior do cânion não esteja ocorrendo o fenômeno.

Dessa forma, é essencial que se tenha um monitoramento e um controle do eficaz das variáveis mínimas de interesse para o conhecimento do comportamento da bacia hidrográfica e do corpo hídrico principal, a fim de se prever os comportamentos em um horizonte futuro de curto e médio prazo, evitando situações de risco aos turistas que estão na trilha.

3.1.3. Sistema de Monitoramento e Fechamento Existente

Ao início do presente trabalho, o PNAS contava com apenas uma régua de nível fluviométrico instalada na parte superior do cânion, à montante da queda principal, localizada ao lado da ponte próxima à entrada da Trilha do Cotovelo, no arroio Perdizes, e uma outra régua instalada no rio do Boi, a jusante da queda, próxima ao posto de controle da Trilha.

Diariamente, pela manhã, os funcionários do Parque observavam e registravam em uma planilha de controle interno o nível que a régua marcava no arroio Perdizes. Tal controle possibilitou a existência de um banco de dados de níveis do arroio desde o início do ano de 2012 para o arroio.

O monitoramento da parte inferior do cânion, referente à régua instalada no rio do Boi, foi iniciado mais tarde, na metade do ano de 2014, havendo, dessa forma, uma série histórica disponível bem menor para o rio.

Conforme informações repassadas em conversas com os gestores e guardas do Parque, há algum tempo foi estabelecido, por decisão interna, que o fechamento da Trilha do rio do Boi deveria ocorrer quando a régua fluviométrica instalada no arroio Perdizes (parte superior do cânion) ultrapassasse o limiar máximo de 15 cm. Desde então, quando as medições do turno da manhã indicam níveis iguais ou maiores a esse valor, a Trilha é fechada.

Esse método, entretanto, não leva em consideração diversos fatores espaciais, temporais, físicos, hidrológicos e meteorológicos que deveriam ser analisados para a elaboração de um sistema de monitoramento e alerta consistente e eficiente. Principalmente, não é levado em consideração o conceito básico de bacia hidrográfica, bem como nenhuma das outras condicionantes com ele correlacionadas, como, por exemplo, o tempo de concentração da bacia, as condições de resposta da bacia às condições meteorológicas, os históricos pluviométricos, os regimes de vazões, as umidades dos solos, os coeficientes de rugosidade, entre outros.

Por exemplo, não é levado em consideração se a régua está registrando 14 cm de nível em um dia em que na última semana inteira não ocorreram eventos de precipitação e assim o solo se apresenta completamente não saturado, ou então se a régua está registrando os mesmos 14 cm de nível em um dia em que, na semana anterior, ocorreram eventos de precipitação todos os dias, a capacidade de armazenamento do solo já atingiu seus valores máximos, e praticamente toda a precipitação que ocorrer irá gerar escoamento superficial e conseqüentemente rápido aumento do nível do rio.

Outro exemplo de fragilidade do sistema existente é o fato de ele não levar em consideração nenhuma variante meteorológica. O não conhecimento das taxas de respostas dos níveis dos corpos hídricos a eventos de precipitação, ou seja, a velocidade e a maneira com que o nível do curso varia de acordo com a quantidade e a intensidade de chuva que ocorre, é outra questão que deveria ser de conhecimento quando do desenvolvimento e aplicação de um sistema de monitoramento e alerta de cheias.

Ainda, tanto o conhecimento das correlações entre os níveis fluviométricos dos cursos d'água com as suas próprias vazões, quanto o conhecimento dos efeitos que as variações de níveis e de vazões dos córregos de montante causam no corpo hídrico de jusante são extremamente importantes para o correto entendimento da dinâmica

hidrológica local e, conseqüentemente, para a correta modelagem e aplicação de modelos de previsão e alerta.

Como contextualização local dessa problemática, exemplificando a necessidade prática da existência de uma rede eficaz e representativa de monitoramento de condicionantes ambientais, hidrológicas e meteorológicas, bem como a importância da existência de um sistema de previsão e alerta de cheias, o presente trabalho traz o último caso de emergência relacionado a turistas na Trilha do rio do Boi, ocorrido em 12 de março de 2017.

Nesse evento, 45 turistas ficaram completamente ilhados em uma das travessias da Trilha do rio do Boi, devido à elevação do nível do Rio, sem conseguir continuar ou retornar na Trilha. Com o contínuo aumento do nível do Rio e a impossibilidade de saída, uma operação de resgate emergencial foi rapidamente montada para possibilitar a retirada segura dos turistas do local, em uma parceria dos vigias do Parque, guias da Trilha e do Corpo de Bombeiros de Cambará do Sul. A Figura 4 apresenta a divulgação e o acompanhamento do evento pela página oficial do PNAS no *Twitter*.



Figura 4 - Tweets do Evento do dia 12 de Março de 2017.

Fonte: *Twitter do PNAS*

Para possibilitar a passagem dos turistas pelo rio no ponto de travessia e assim assegurar a retirada dos mesmos da Trilha, foi necessária a elaboração de uma tirolesa de cordas, suspensa nas árvores das duas margens. A Figura 5 e a Figura 6 apresentam fotos dos resquícios das cordas que foram utilizadas na tirolesa, os quais foram deixados no local para marcação do ponto de salvamento.



Figura 5 - Seção do Rio onde Ocorreu Evento de Março de 2017, com Enfoque nos Resquícios das Cordas Utilizadas na Tirolesa.

Fonte: Arquivo Próprio



Figura 6 - Zoom nos Resquícios de Cordas Utilizadas na Tirolesa no Evento.

Fonte: Arquivo Próprio

A Figura 7 e a Figura 8 mostram, respectivamente, as seções à montante e à jusante do local do resgate do evento de março de 2017, e também servem como exemplos das feições e realidades existentes ao longo de toda a extensão da Trilha. Como é possível observar através das imagens, a Trilha, que em grande parte de sua extensão é realizada ao longo do leito do Rio, naturalmente já apresenta elevada dificuldade de locomoção para quem a realiza, uma vez que os turistas precisam se equilibrar e caminhar sobre e entre os sedimentos rochosos existentes.

Uma situação de emergência, na qual a evacuação da Trilha e a consequente retirada de todos os presentes deva ser realizada da maneira mais rápida possível, é extremamente complicada, visto o grau natural de dificuldade que o percurso já apresenta em situações normais de nível fluviométrico e meteorologia.

Além disso, pelo fato de o Rio correr dentro dos Cânions, ambos os lados da Trilha são limitados justamente pelas paredes rochosas dos mesmos, quase que impossibilitando todo e qualquer tipo de resgate aéreo, já que a entrada de um helicóptero de resgate poderia resultar em grande número de quedas de blocos rochosos das paredes. Ainda, os paredões dos cânions literalmente isolam a região da Trilha, fazendo com que, até que se chegue no ponto de acesso à trilha de emergência (localizada mais ou menos na metade da Trilha do rio do Boi), a única opção de saída seja percorrer o caminho de volta da Trilha.



Figura 7 - Montante do Local da Tirolesa de Março de 2017.

Fonte: Arquivo Próprio



Figura 8 - Jusante do Local da Tirolesa de Março de 2017.

Fonte: Arquivo Próprio

As características e realidades locais acima descritas exemplificam algumas das razões pelas quais julga-se de extrema importância a existência de um sistema de monitoramento de variáveis hidrológicas e meteorológicas na região, bem como o desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta de cheias e de fechamento para a Trilha do rio do Boi.

Todas essas questões, que expõem um pouco a fragilidade do sistema de monitoramento e alerta existentes no Parque quando do início do estudo, somadas ao conhecimento dos possíveis riscos e efeitos que eventos extremos ou eventos não monitorados podem causar às vidas dos turistas que frequentam a região, foram os grandes pontos motivadores do desenvolvimento do presente trabalho.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no desenvolvimento do presente trabalho constituiu-se, basicamente, de 7 macro estágios. Primeiramente, foi realizada a instalação dos equipamentos de monitoramento hidrológico e meteorológico dentro do Parque Nacional de Aparados da Serra.

A segunda etapa envolveu a obtenção de diversos dados hidrológicos e meteorológicos, tanto de sistemas de monitoramento já existentes, quanto dos sistemas instalados. Esta etapa também contou com a geração de dados de vazão através de campanhas de medição no local de estudo.

Na etapa de desenvolvimento, calibração e validação dos modelos estatísticos, foram utilizados dados de precipitação e de nível fluviométrico obtidos na etapa anterior de obtenção e processamento de dados das estações de monitoramento já existentes. Além disso, foram selecionadas algumas rodadas de previsão meteorológicas retrospectivas para alguns meses existentes entre os anos de 2012 e 2016, a partir do Modelo Eta 15km, para então se avaliar a capacidade do modelo estatístico operar utilizando dados de previsão meteorológica. Dessa forma, foram ajustados modelos estatísticos do tipo precipitação-nível para ambos os casos (chuva observada e chuva prevista).

Já para a realização da etapa de contribuições para o desenvolvimento futuro da curva-chave do arroio Perdizes, foram utilizados principalmente os dados gerados nas campanhas de medição de vazão, além de dados de níveis.

A próxima etapa consistiu de análises quantitativas e qualitativas das séries de dados de nível e de precipitação gerados pelos instrumentos instalados, observando-se principalmente a variação temporal dos resultados obtidos.

A partir disso, foi possível realizar a etapa de comparação e discussão sobre as frequências temporais de geração de dados entre os sistemas de monitoramento já existentes e os equipamentos de monitoramento instalados, principalmente sobre a representatividade desses dados em relação ao registro de eventos hidrológicos e meteorológicos.

Ao final, todos os resultados obtidos foram discutidos e avaliados em relação aos objetivos propostos pelo presente trabalho, principalmente no que tange as respectivas contribuições para o desenvolvimento de sistema de previsão e alerta de cheias.

A execução das atividades acima citadas não seguiu, necessariamente, um padrão linear, uma vez que diversas delas, como a instalação dos equipamentos de

monitoramento e as campanhas de medição de vazão, estavam diretamente relacionadas a diversas idas a campo, as quais nem sempre são de fácil organização e marcação. Dessa forma, o fluxograma das macro etapas realizadas, apresentado na Figura 9, não representa necessariamente a sequência temporal de execução das mesmas.

As seções subsequentes apresentam e descrevem os materiais e métodos utilizados na execução de cada atividade e nos seus consequentes desenvolvimentos.

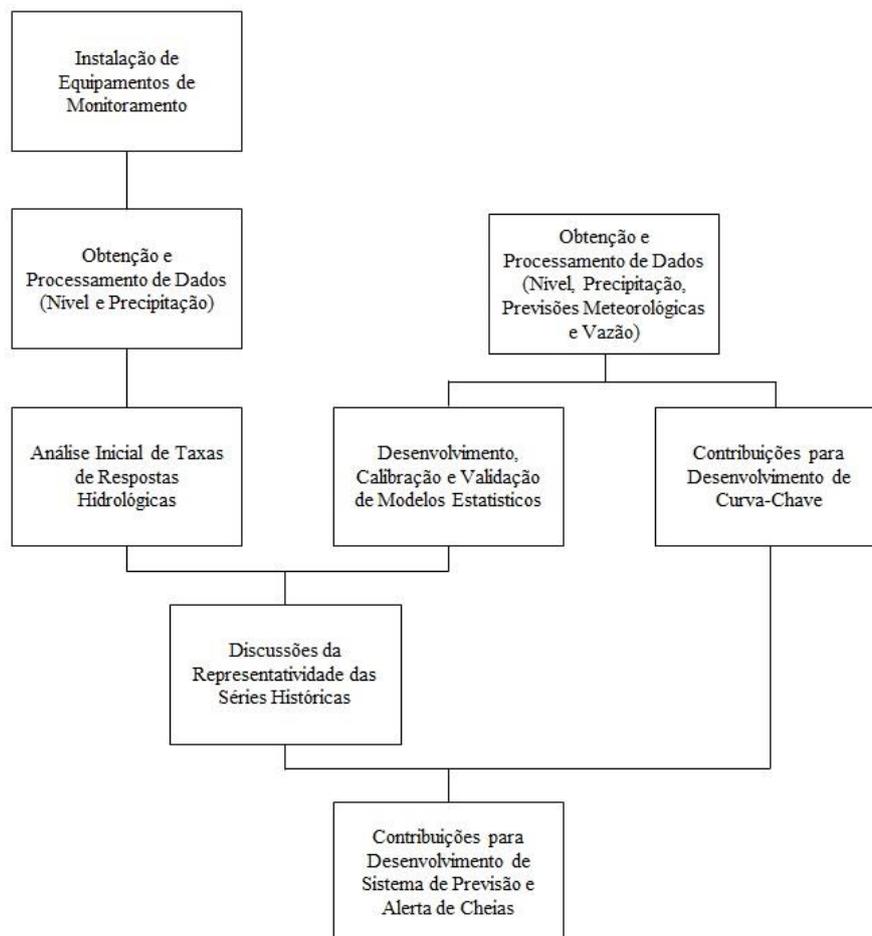


Figura 9 - Fluxograma da Metodologia Utilizada neste Trabalho.

Fonte: Elaboração Própria

4.1. BACIA HIDROGRÁFICA

Bacias Hidrográficas são elementos fundamentais nas análises hidrológicas, uma vez que representam os limites de área dentro dos quais, toda e qualquer precipitação que

ocorrer irá convergir, através da rede de drenagem existente na bacia, até o mesmo ponto de saída da bacia, o exutório.

Em um evento de precipitação, a água que atinge o solo primeiramente infiltra-se, até que a capacidade de infiltração do mesmo atinja o seu ponto de saturação. A partir desse momento, a água passa a escoar através da bacia, encontrando os caminhos preferenciais existentes e, conseqüentemente, entrando na rede de drenagem natural.

As redes de drenagem apresentam, como principais elementos, os córregos, arroios e rios, os quais podem ser entendidos como os grandes receptores dos produtos dos escoamentos, bem como os grandes condutores de água de uma bacia.

A delimitação da Bacia Hidrográfica do local de estudo foi realizada através de ferramentas de geo e hidro processamento do *software Quantum GIS (QGIS)*, *software* livre de processamento de imagens. Para o geoprocessamento, foram utilizadas imagens do SRTM30 do USGS, obtidas através do Earth Explorer, também do USGS.

A área obtida para a Bacia de estudo foi de aproximadamente 148,5 km², estimada a partir da projeção em WGS 84 / Pseudo Mercator (código EGPS: 3857). A Figura 10 mostra a localização da bacia do rio do Boi no contexto de localização do PNAS e do PNSG e dos municípios de Cambará do Sul e de Praia Grande, enquanto que a Figura 11 apresenta as diferentes altimetrias existentes na Bacia.

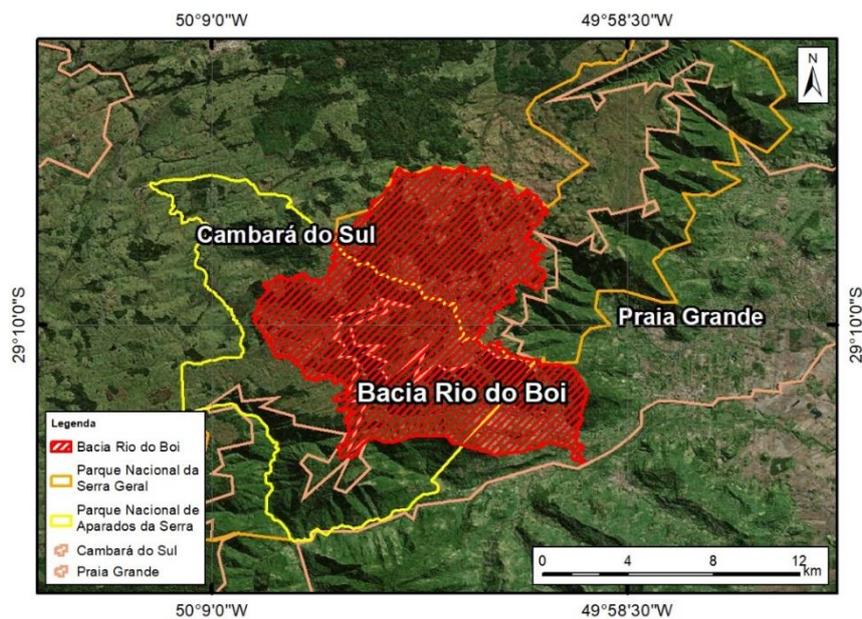


Figura 10 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Boi.

Fonte: Elaboração Própria

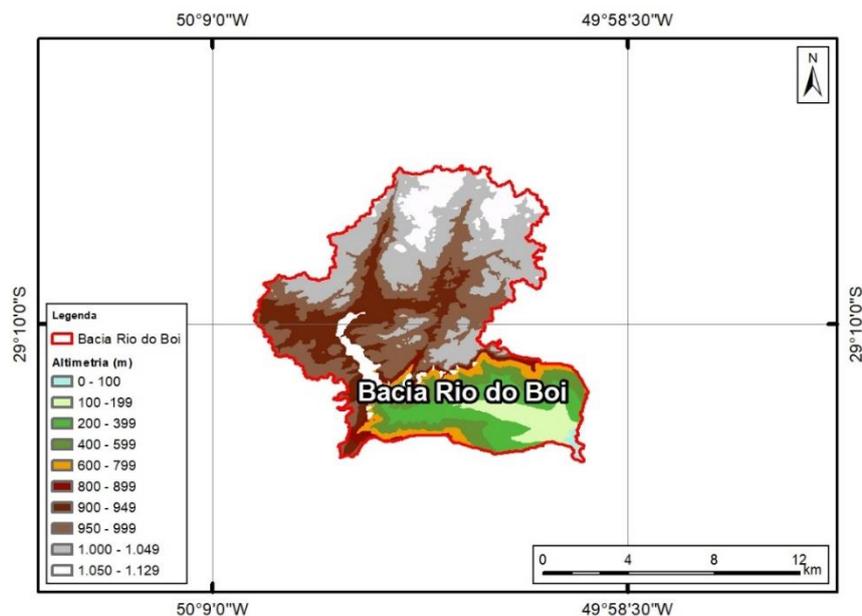


Figura 11 - Altimetria da Bacia do Rio do Boi.

Fonte: Elaboração Própria

4.2. BANCO DE DADOS EXISTENTE

A Bacia Hidrográfica em questão não apresenta um sistema integrado de monitoramento, nem dados históricos de vazão, o que torna bem mais complexo o desafio de se desenvolver modelos hidrológicos consistentes e representativos.

Conforme citado no item 3.1.3, *Sistema de Monitoramento e Fechamento Existente*, o PNAS conta, há alguns anos, com uma régua de nível, que é utilizada para controle diário do nível do arroio Perdizes. Além de realizar as medições de nível, a régua é o único instrumento de auxílio à tomada de decisão referente à abertura ou ao fechamento da Trilha do rio do Boi atualmente existente.

Dessa forma, o primeiro e principal parâmetro utilizado para o desenvolvimento do presente trabalho é o nível do arroio Perdizes, uma vez que é único parâmetro que se tem um mínimo histórico de registro de medições no local.

4.2.1. Registros Escritos Internos do Parque

A série histórica de níveis existente conta com valores diários de nível fluviométrico do arroio Perdizes desde o início do ano de 2012, finalizando em outubro de 2016. Além disso, a partir de abril de 2014, foi iniciado o registro de informações

referente aos níveis observados no rio do Boi, o que também se manteve até o final do ano de 2016.

Infelizmente, os registros realizados foram apenas dos níveis diários do arroio, não apresentando também o *status* (abertura ou fechamento) da Trilha do rio do Boi. Dessa forma, toda a análise de dias e percentuais de fechamento, e consequentes análises hidrológicas e estatísticas, foram realizadas baseadas no nível de alerta informado pelos gestores do Parque: 15 cm de lâmina de água no arroio Perdizes. Ou seja, a análise retroativa dos dias que ocorreram fechamento da Trilha foi baseada exclusivamente no ultrapassar do limiar de 15 cm de nível fluviométrico.

A partir desses dados, foram desenvolvidas séries históricas de fechamento da Trilha, buscadas correlações com dados pluviométricos de estações de monitoramento já existentes, e posteriormente com dados de previsão meteorológicas. Além disso, também foram discutidos os principais problemas de se trabalhar apenas com dados diários em projetos de monitoramento e previsão hidrológica e as vantagens de se trabalhar com dados sub-diários.

4.2.2. *Twitter* PNAS

No final do ano de 2016, os gestores do Parque Nacional de Aparados da Serra e do Parque Nacional da Serra Geral criaram uma conta conjunta para o Parque em uma rede social, o *Twitter*, para facilitar o fluxo de informações relativas ao PNAS e ao PNSG para a sociedade.

O *Twitter* é baseado “*tweets*”, que são pequenas postagens, de até 280 caracteres, através dos quais os usuários podem transmitir basicamente toda e qualquer informação que desejarem. Nessa rede social existem ainda as chamadas “*hashtags*”, que são marcações de palavras específicas que podem ser feitas nas publicações, para enfatizar, classificar ou referenciar algo que se deseje. Qualquer usuário pode realizar uma busca por *hashtags* existentes, que retornarão como resultando todos os *tweets* que contêm essas marcações.

Desde que foi criada, a página no *Twitter* é o principal meio de comunicação da administração do PNAS com a sociedade e com os turistas que visitam o Parque. É através dela que são divulgadas informações referentes às condições meteorológicas (como por exemplo visibilidade, temperatura e chuva) no local, ao nível do arroio Perdizes, ao *status* da Trilha do rio do Boi, e a qualquer outra informação que se julguem necessária.

Dessa forma, essa ferramenta de mídias sociais, tão importante e latente como é nos dias de hoje, foi utilizada, em um primeiro momento, como uma continuação do banco de dados previamente elaborado pelos gestores do Parque, para o desenvolvimento do trabalho.

Inicialmente foi realizada uma busca em todos os *tweets* publicados pelo usuário @PNAS_PNSG que contivessem informações referentes ao nível do arroio Perdizes, desde o primeiro, quando da criação da conta na rede, até o meio de 2017, quando do início do presente trabalho. Posteriormente, foi criado um banco de dados com essas informações, para análise futura dos históricos de fechamento da Trilha do rio do Boi, e consequente utilização dentro do modelo de previsão.

Infelizmente, ao longo da análise dos *tweets* da página e da coleta dessas informações, foi constatado que a frequência dessas publicações foi, nesse primeiro ano de utilização da ferramenta, muito baixa, quando comparado com a frequência de registro dos níveis quando o mesmo era realizado apenas de maneira interna pelos funcionários do Parque.

Com isso, a utilização desses dados como dados de calibração e de aferição do modelo desenvolvido não pôde, infelizmente, ser utilizada, pois resultaria em um *input* com percentual muito elevado de incertezas. Apesar disso, reitera-se a extrema importância dessa ferramenta de comunicação rápida e fácil da administração do Parque com a sociedade, e que ela deve ser cada vez mais incentivada e desenvolvida, dado a sua importância e capacidade de abrangência social e de disseminação de informações.

Visando esse benefício social, o presente trabalho foi desenvolvido de maneira que permita que todas as informações geradas pelas análises e modelos possam ser facilmente manejadas pelos gestores do Parque, no seu local de trabalho, sem necessitar de *softwares* complexos ou de conhecimentos avançados. Acredita-se que, dessa forma, as informações possam ser facilmente disseminadas para a sociedade, trazendo consigo um benefício social muito importante. Os pontos aqui rapidamente citados serão trazidos novamente à luz e melhor elucidados mais à frente.

Para maiores buscas e informações relacionadas a isso, a página do Parque pode ser acessada através do site: https://twitter.com/PNAS_PNSG, ou também pode ser buscada através do usuário criado, o @PNAS_PNSG. As principais *hashtags* utilizadas tanto pelos gestores quanto pelos turistas que visitam o parque em seus *tweets* são: #TrilhaDoRiodoBoi, #Riodoboi, #TRB, #ArroioPerdizes, #PNAS, #PNSG, e

#Itaimbezinho. A Figura 12 exemplifica uma publicação do PNAS na sua página do *Twitter*.



Figura 12 - Exemplo de Divulgação de Dados e Status da Trilha pelo *Twitter* do PNAS

Fonte: *Twitter PNAS*

4.3. INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO

Devido ao cenário de escassez de dados da Bacia Hidrográfica de estudo e à importância e necessidade de se ter dados confiáveis e para o desenvolvimento de ferramentas e modelos mais consistentes, foram realizados trabalhos de campo para a instalação de equipamentos de monitoramento de variáveis de interesse na Bacia. Aqui, ressalta-se o papel fundamental do Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), da UFRGS, o qual viabilizou a utilização e instalação de todos os equipamentos utilizados no presente trabalho.

Os equipamentos que compõem o sistema de monitoramento instalado são:

- 2 Réguas de Nível (Medição Manual de Nível);
- 2 Sensores de Nível (Medição Automática de Nível); e
- 1 Estação Meteorológica (Medição Automática de Precipitação, Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Intensidade e Direção do Vento, Pressão Barométrica e Radiação Solar).

As páginas a seguir, descrevem, sucintamente, alguns passos da instalação dos equipamentos, assim como as características e a funcionalidade de cada um deles. A instalação desses equipamentos tem objetivo exclusivo de pesquisa, ensino e de geração e disseminação de informação. Todos os dados obtidos a partir dos equipamentos instalados são obtidos e processados para serem utilizados neste e em outros presente e

futuros projetos de pesquisa, além de serem inteiramente disponibilizados para os gestores do Parque utilizarem para controle e gestão interna, bem como para divulgarem para a sociedade.

Na sequência, são descritos os equipamentos utilizados para as medições dos parâmetros necessários para o desenvolvimento do presente trabalho, bem como as metodologias auxiliares utilizadas para obtenção final desses dados.

4.4. MEDIÇÕES DE NÍVEL

4.4.1. Régua de Nível

Ao início do desenvolvimento do presente trabalho, o sistema de monitoramento e de tomada de decisão existente, bem como todos os dados de nível registrados no banco de dados interno do Parque, era baseado no nível lido em uma régua de nível fluviométrico instalada em uma seção de controle específica no arroio Perdizes. Foi verificado em campo, entretanto, que tanto a seção de controle escolhida para instalação da régua, quanto o próprio local de instalação da régua não eram os melhores possíveis.

Dada essa demanda, se realizou a verificação e escolha de uma nova seção de controle, mais adequada para se realizar as medições de nível e de vazão para o desenvolvimento do trabalho, na qual posteriormente foi instalado um sensor de nível automático, conforme descrito no item 4.4.2. *Sensor de Nível*.

Além disso, como os registros históricos de nível existentes são todos referentes a essa seção e régua iniciais, foram também instaladas duas novas régua de nível na seção em que se encontrava a régua do Parque, sendo uma localizada no meio do leito do arroio e a outra na parte externa à calha do mesmo, conforme mostram a Figura 13 e a Figura 14.



Figura 13 - Régua de Nível 1, no Leito do Arroio Perdizes, junto à Ponte da Trilha do Cotovelo.

Fonte: Arquivo Próprio



Figura 14 - Régua de Nível 2, na Parte Externa à Calha do Arroio Perdizes.

Fonte: Arquivo Próprio

A partir da instalação das novas réguas, os colaboradores do Parque, que eram os responsáveis pelos registros diários dos níveis do arroio, passaram a registrar tanto os níveis da régua antiga quanto os níveis das novas réguas, para início de busca por uma correlação entre o nível medido na régua antiga e o nível medido na nova régua

Um dos principais objetivos da instalação dessas novas réguas foi o de se ter equipamentos medidores de nível instalados corretamente na seção de controle já utilizada pelo Parque em suas medições realizadas desde 2012. Uma vez tendo uma régua medindo e registrando corretamente os níveis no local, é possível se encontrar uma correlação matemática entre os valores de nível medidos pelas duas réguas, e assim se descobrir quais são os respectivos níveis na nova régua relativos aos registros na régua antiga. Ou seja, quais teriam sido os níveis registrados na nova régua, caso ela existisse quando do início do controle de nível realizado pelos gestores, desde 2012.

Também seria possível se relacionar, através de correlações matemáticas, os níveis medidos na nova régua com os níveis medidos pelo sensor de nível automatizado instalado à montante da régua. De posse dessa correlação entre níveis da nova régua e níveis do sensor de nível, seria possível saber a quais níveis no sensor correspondem os níveis registrados em régua durante os cinco anos de monitoramento fluviométrico existentes do local.

Finalmente, uma vez obtidos esses valores e uma vez desenvolvida a curva-chave para o arroio Perdizes, seria possível se descobrir quais teriam sido as respectivas

prováveis vazões para os registros históricos de níveis feito pela régua antiga. Dessa forma, poderia ser iniciado um estudo sobre as vazões que geraram fechamentos da Trilha do rio do Boi, bem como se tais vazões realmente eram vazões que apresentavam perigo iminente aos turistas ou se talvez estivessem sendo sub ou superestimadas.

4.4.2. Sensor de Nível

A existência de dados quantitativa e qualitativamente representativos são essenciais para a eficiência e eficácia de sistemas de monitoramento hidro meteorológicos, bem como extremamente necessários para o consequente desenvolvimento de concepções e modelos de previsão e alerta de cheias.

Dada essa necessidade, somada à grande escassez de dados a isso relacionados na região de estudo, foi realizada a instalação de um sensor de nível fluviométrico em uma nova seção de controle, localizada à montante da ponte, na qual as novas régua de nível foram instaladas.

O sensor instalado, mostrado na Figura 15, é um transdutor piezo-resistido da Solar Instrumentação, o qual foi programado para realizar medições de nível automatizadas a cada dez minutos. Complementando o sistema do sensor, também foram instalados um *data logger* e uma placa solar, ambos essenciais para a funcionalidade do aparelho como instrumento integrante do sistema de monitoramento.

O *data logger* permite o armazenamento dos dados de medição de nível por até 45 dias, necessitando que os dados sejam retirados dele após esse período máximo para que os registros das novas medições possam ser armazenados. A placa solar, por sua vez, tem o papel fundamental de recarregar constantemente a bateria do sistema, para que ambos o sensor e o *data logger* possam funcionar perfeitamente. A Figura 16 apresenta o *data logger* (de frente) e a placa solar (de costas) instalados no campo.



Figura 15 - Sensor de Nível da Solar Instrumentação Utilizado no Monitoramento.

Fonte: Arquivo Próprio



Figura 16 - Data Logger e Placa Solar Utilizados no Monitoramento.

Fonte: Arquivo Próprio

A Figura 26, mostrada mais à frente na página 68, apresenta uma vista superior da seção de controle principal de montante, na qual foram realizadas as medições de vazão e que foram instalados o sensor de nível fluviométrico, o *data logger* e placa solar.

A obtenção dos dados medidos com o sensor de nível foi realizada através do *software* de obtenção de dados da própria Solar Instrumentação, o SL2000 PNVn Manager. O *layout* da página inicial do *software* e a configuração utilizada nas medições são apresentados na Figura 17.

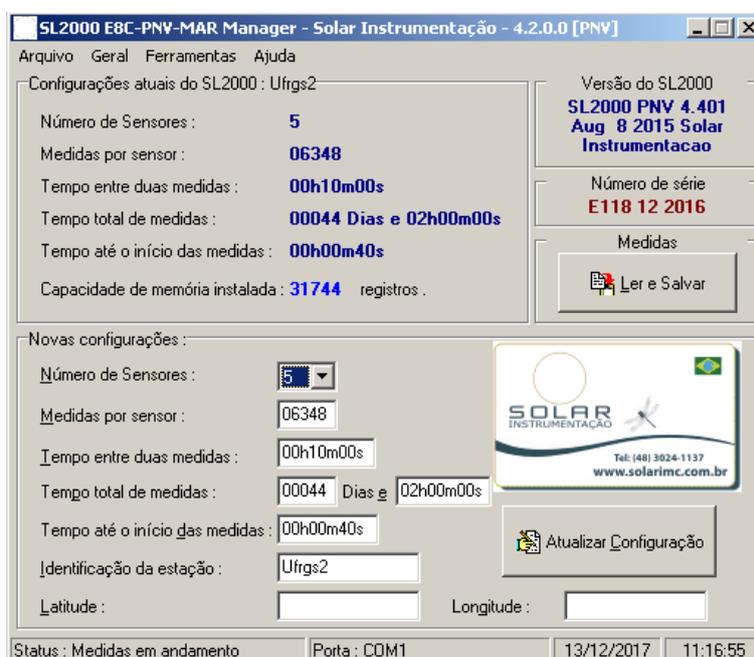


Figura 17 - Printscreen do layout do software utilizado, o SL2000 PNVn Manager.

Fonte: Elaborada com o software SL2000 PNVn Manager

Os dados de nível obtidos através dos registros do sensor foram utilizados, principalmente, em combinação com os dados de precipitação obtidos pela estação meteorológica instalada, para uma análise inicial de sensibilidade e resposta do nível do arroio Perdizes aos eventos de precipitação registrados após a instalação dos equipamentos.

Para tanto, foram observadas as pequenas séries geradas a partir dos dois meses e meio de monitoramento dos equipamentos instalados, e delas foram selecionados alguns eventos de chuva que ocorreram. De posse desses dados, foram analisados os respectivos dados de nível em períodos de tempo antes, durante e após os episódios de precipitação, buscando-se então obter, em um primeiro momento, os tempos de resposta do nível do arroio Perdizes a esses eventos.

Ainda, ao final do trabalho, foi realizada a instalação de mais um sensor de nível, do mesmo modelo e aos mesmos moldes das descrições acima, mas desta vez localizado à jusante da queda, bem próximo à entrada da Trilha do rio do Boi. Os dados provenientes desse equipamento permitirão, no futuro, o desenvolvimento de correlações entre os níveis de montante, do sensor instalado no arroio Perdizes, com os níveis de jusante, do sensor instalado no rio do Boi, correlações essas que são essenciais para o melhor entendimento das influências hidrológicas do arroio Perdizes no rio do Boi, e, conseqüentemente, na Trilha.

A apresentação dos resultados obtidos a partir dessas análises estatísticas comparativas entre os níveis e as precipitações é realizada no subcapítulo 5.4. *Resultados Prévios do Monitoramento Automatizado*, no qual também é discutida a importância dos dados sub-diários em sistemas de monitoramento hidrológico e meteorológico, bem como o efeito negativo da falta desses dados em modelos matemáticos de previsão.

4.5. MEDIÇÕES DE VAZÃO

Atualmente, existem diversos métodos para a determinação de vazão em cursos de águas naturais. Cada corpo hídrico apresenta características morfológicas e hidrodinâmicas específicas, tendo assim, normalmente, uma metodologia de medição mais indicada para cada caso.

Conforme Poletto (2014), córregos e canais apresentam características que facilitam a medição de vazão por métodos de calhas e vertedores, enquanto que rios rasos, com leitos de pedra e que apresentam elevados níveis de turbulência são mais propícios a medições através de métodos químicos e de diluição.

A técnica do *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) é uma técnica que alia facilidade de medição com alta precisão dos resultados, uma vez que trabalha com medições de vazão a partir de emissão e retorno de ondas acústicas durante uma travessia pela seção de controle analisada, podendo ser realizada com corda ou acoplado a barco. Segundo Gamaro (2003), essa metodologia de medição de velocidades e de vazões é a melhor e a mais eficiente dentre as existentes. Entretanto, no Brasil, essa ainda é uma metodologia que tem sua utilização e disseminação limitada, principalmente pelo elevado custo de aquisição do equipamento (POLETO, 2014).

Dentre as técnicas de medição, a mais utilizada, universalmente e também no Brasil, ainda é a do Molinete Hidrométrico ou Micromolinete, técnicas fundamentalmente semelhantes que se diferenciam apenas em relação ao tamanho do medidor, e as suas consequentes faixas de velocidades indicadas (SANTOS *et al.*, 2001; POLETO, 2014).

A seguir, são apresentados os métodos e instrumentos utilizados nas campanhas de medição de vazão realizados no decorrer do presente trabalho, bem a localização e descrição da seção de controle utilizada para as medições.

4.5.1. ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

Os ADCP's são medidores de vazão que se baseiam, como o próprio nome já indica, na medição de vazão através do efeito Doppler. Da física, se sabe que a mudança de frequência de uma onda (de som ou de luz) para um dado observador é proporcional à velocidade de alteração da distância entre o emissor e o observador.

Esse mesmo princípio é o que orienta o funcionamento dos Medidores ADCP, os quais apresentam um transdutor que emite uma onda sonora, a qual, por sua vez, é refletida por partículas carregadas na água de maneira proporcional à velocidade de alteração da distância entre o transdutor e essas partículas. Através disso, o medidor obtém valores de velocidades médias das partículas em suspensão existentes na água, e assume que esses valores sejam iguais aos valores médios da velocidade da água nas células analisadas.

Em uma medição com micromolinete, obtêm-se a vazão através da medição de velocidade em planos verticais imaginários, sempre perpendiculares à corrente, em um número de verticais que seja representativo para a seção de controle de interesse). Após, são calculadas as áreas das respectivas seções verticais e, assim, é calculada a vazão de cada seção. A vazão total é então obtida pelo somatório das vazões verticais.

Para o melhor entendimento do cálculo da vazão de um corpo hídrico a partir de um ADCP, é possível imaginar que cada vertical de interesse é medida não por um micromolinete, mas por um conjunto deles, se obtendo uma medição para cada “célula”. A velocidade retornada no computador, durante a medição do ADCP, será a média de cada uma dessas células, cujas áreas serão o tamanho do *bin*, que é determinado pelo operador, multiplicado pela distância percorrida no tempo de processamento do *ensemble*. Ou seja, a largura de cada célula das verticais de análise pelo ADCP é função da velocidade de trânsito e de processamento do medidor.

Dessa forma, pode-se dizer que a medição de vazão por ADCP não se difere muito da uma medição convencional com micromolinete. A grande diferença é a quantidade de informações geradas e o nível de detalhe dessas informações, uma vez que, como a medição é feita com o equipamento em movimento, o número de células e de verticais das quais se obtém informações, é muito maior.

Enquanto realiza as medições de velocidades das partículas presentes na água, o ADCP também realiza a batimetria da seção analisada, uma vez que lê a profundidade do leito. A partir das velocidades medidas e dos resultados da batimetria, o instrumento vai automaticamente calculando as vazões médias de cada seção, e somando-as, retornando assim, ao final da travessia, o valor de vazão média medido.

Algumas restrições de medição ocorrem quando se utiliza um ADCP, devido ao princípio de funcionamento do medidor e também às características da seção analisada, resultando em algumas áreas não medidas. Essas áreas são:

- A superfície, devido à própria imersão do equipamento e também à restrição de nível mínimo de água para que os transdutores parem de vibrar e possam começar a medir o retorno das ondas (efeito *Blank*);
- As proximidades às margens, regiões que normalmente não apresentam a profundidade mínima exigida para que o aparelho faça as medições (aproximadamente 20cm); e

- O fundo, devido ao eco e sobreposição dos sinais que chegam ao leito do corpo hídrico.

Para essas regiões em que o ADCP não consegue realizar medições efetivas de vazão, os *softwares* de aquisição e processamento de dados realizam, automaticamente, extrapolações para a obtenção de valores de vazão. Para a superfície, os métodos de extrapolação são: constante, exponencial e três pontos. Para o fundo: constante, exponencial e *no slip* (GAMARO, 2012).

Além disso, como a medição de vazão é realizada em movimento, alguns erros podem acontecer durante a passagem do medidor pela seção de controle, resultando em dados não confiáveis para o cálculo de vazão ou então não resultando em dados.

O primeiro caso é o *Lost Ensemble*, quando o computador perde, momentaneamente, o contato com o ADCP, resultando em *ensembles* consideravelmente longos nos gráficos finais de velocidades, uma vez que apresentam dados não confiáveis de tempo de passagem.

Quando ocorrem situações em que certas células não apresentam dados suficientemente confiáveis para o cálculo de vazão, ocorre o erro chamado de *Bad Bins*. Esse caso pode ocorrer em qualquer ponto da medição, e retorna células em branco no gráfico de velocidades.

Por último, o terceiro caso de erro é o *Bad Ensemble*, que ocorre quando um *ensemble* inteiro não apresenta confiabilidade suficiente dos dados, retornando assim verticais em branco no gráfico de velocidades. Segundo Gamaro (2012), esse erro pode ser resultante de perda de contato com o fundo, da descorrelação do sinal acústico ou de um baixo nível de retorno do eco.

Assim como ocorre com o cálculo das vazões de superfície, margens e fundo, o *software* de aquisição e processamento dos dados do ADCP realiza, a extrapolação dessas regiões que apresentaram erros, para que a contribuição dessas regiões também seja considerada no somatório final da vazão da seção.

Apesar de apresentar um funcionamento relativamente simples, alguns cuidados devem ser tomados quando da utilização de um medidor ADCP, para que algumas influências negativas sejam evitadas. A má calibração de *pitch* ou *roll* (sensibilidade da prancha às variações longitudinais e verticais devido às ondas do rio), a existência de plantas ou de dunas no fundo, a existência de fundo móvel, falha na calibração da profundidade da prancha, profundidades de leito maiores que o máximo alcançado pelo

equipamento, e travessias muito rápidas são algumas das possíveis fontes geradoras de erros em medições de vazão com ADCP (GAMARO, 2012).

No presente trabalho, foi utilizado o medidor acústico de modelo M9, da empresa YSI – *Sontek Inc.*, mostrado na Figura 18 e na Figura 19. O aparelho é dotado de 9 transdutores, que trabalham em 3 frequências distintas. Desses, oito são utilizados para realizar o perfilamento da água, dos quais dois pares trabalham em uma frequência de 3.000 kHz, enquanto que os outros dois pares trabalham em uma frequência de 1.000 kHz. O nono transdutor, que trabalha em 500 kHz, é utilizado especificamente para a medição da profundidade do corpo hídrico, basicamente funcionando como um ecobatímetro.



Figura 18 - Vista Lateral do ADCP Modelo M9 da *Sontek Inc.*, em Campanha de Medição.

Fonte: Arquivo Próprio



Figura 19 - Vista Superior do ADCP Modelo M9 da *Sontek Inc.*, em Campanha de Medição.

Fonte: Arquivo Próprio

Um dos grandes diferenciais do modelo M9 da *Sontek Inc* é o fato de os cálculos de vazão acontecerem diretamente no equipamento, não sendo necessário a utilização de um *software* para processar os dados. Nesse caso, o computador é utilizado para enviar comandos e controlar ações durante as medições, bem como para visualização dos resultados e pós processamentos.

Para o equipamento em questão, o *software* utilizado foi o *River Surveyor Live*, também produzido e disponibilizado pela *Sontek Inc*. Nele, é possível acompanhar em

tempo real as medições realizadas, analisando seus desempenhos e seus resultados parciais e finais. No que tange o pós-processamento, o programa apresenta ferramentas importantes de análise da qualidade das medições realizadas, como número de células medidas e os percentuais medidos e extrapolados da vazão final.

A Figura 20, a Figura 21, e a Figura 22, apresentadas na sequência, exemplificam os resultados gráficos obtidos no *software* de obtenção e pós-processamento dos dados de medição de vazão utilizando-se um ADCP.

O gráfico apresentado na Figura 20 mostra as diferenças dos resultados finais de medição de profundidade do leito do rio obtido por cada método: a linha azul representa o perfil medido pelo feixe vertical, enquanto que a linha verde representa o perfil resultante da medição pelo *Bottom-Track*.

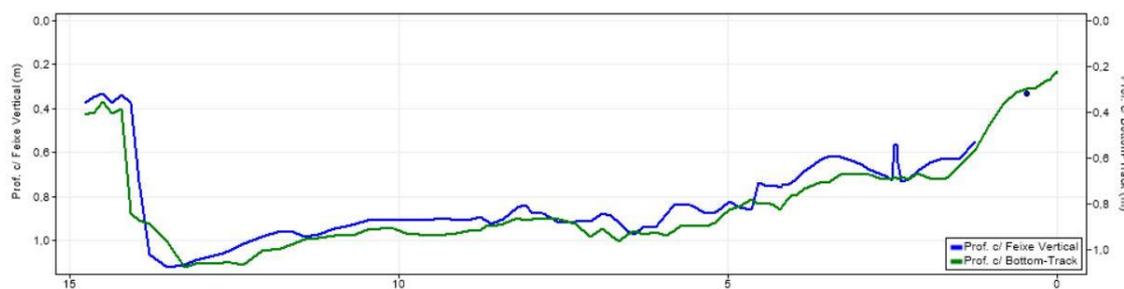


Figura 20 - Exemplo de Diferença de Feixe Vertical e Bottom-Track em Medição de Vazão com ADCP

Fonte: Gerado pelo Software River Surveyor Live

A Figura 21, por sua vez, apresenta, através de uma visão em planta, a diferença dos resultados dos registros de uma travessia obtidos através de *GPS* e de *Bottom Track*. Tendo em vista que o *GPS* acoplado no ADCP não é um aparelho de altíssima precisão (como por exemplo um *GPS RTK - Real Time Kinematic*), o registro de maior precisão, e que realmente representa o caminho percorrido pela prancha do ADCP é o resultante da medição pelo *Bottom Track*, uma vez que a detecção do fundo a partir de emissão de sinais com diferente frequência é, nesse caso, muito mais precisa e condizente com a realidade (GAMARO, 2003).

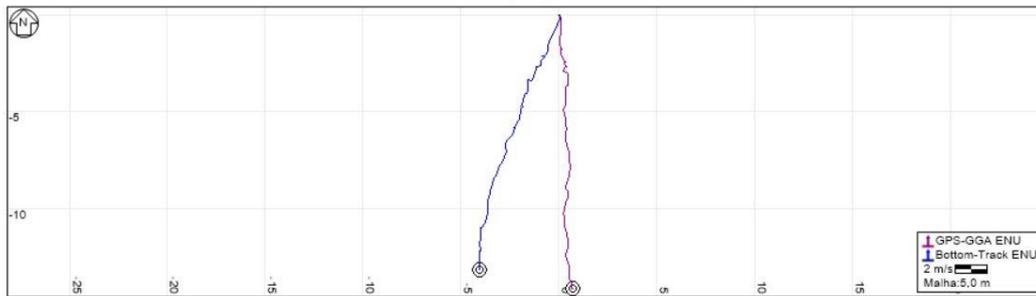


Figura 21 - Exemplo de Diferença de Registro de Travessia por GPS e Bottom-Track.

Fonte: Gerado pelo Software River Surveyor Live

Por fim, o gráfico mostrado na Figura 22 exemplifica o resultado final de uma medição de velocidades de uma seção de controle, em uma medição de vazão. Cada *pixel* colorido com uma tonalidade diferente representa uma velocidade absoluta diferente medida pelo equipamento, em uma célula, dentro de uma vertical.

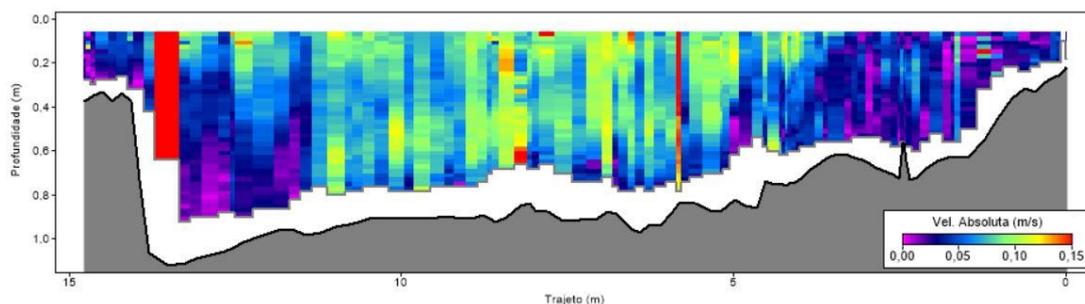


Figura 22 - Exemplo de Perfis de Velocidade em Medição de Vazão com ADCP

Fonte: Gerado pelo Software River Surveyor Live

Através dessa figura, fica demonstrada a nítida e imensa diferença de quantidade e qualidade de informações de velocidades geradas a partir de uma medição de vazão com ADCP, quando em comparação com uma medição por micromolinete. A título de comparação, a travessia representada pela Figura 22 resultou na medição de 144 verticais, um número extremamente superior ao que seria utilizado caso a medição fosse realizada pelo método do molinete.

As áreas brancas da figura representam as proximidades ao fundo do leito, região na qual o ADCP não consegue realizar medições, conforme explicado anteriormente. A vertical vermelha, à esquerda na imagem, representa algum erro que ocorreu durante a medição de vazão em questão, podendo ser resultante de qualquer um dos fatores previamente descritos. Apesar da inconsistência dos dados dessa vertical, essa medição

não foi considerada inválida, uma vez que a representatividade dessa vertical, no universo das 144 verticais medidas, não é tão grande a ponto de ser desconsiderada a medição como um todo.

Os resultados de vazão obtidos no presente trabalho, bem como seus respectivos níveis fluviométrico medidos para o arroio Perdizes são apresentados mais a frente, no subcapítulo 5.2. *Medições de Vazão*

4.5.2. Ponto de Medição de Vazão

A Figura 26, na sequência, apresenta uma vista superior da seção de controle principal de montante, local no qual foram realizadas as medições de vazão e no qual também foram instalados o sensor de nível fluviométrico e seus equipamentos secundários.

Auxiliares à Figura 26, são também apresentadas a Figura 23, a Figura 24 e Figura 25, as quais ajudam no entendimento da localização da seção de controle apresentada na Figura 26. Na Figura 25 são apresentados pontos de interesse do local de estudo, a saber:

- (1) Queda Principal do Arroio Perdizes
- (2) Sede Administrativa do PNAS
- (3) Local de Instalação da Estação Meteorológica
- (4) Ponte da Trilha do Cotovelo, na qual existem as réguas de nível fluviométrico (já existente e instaladas)
- (5) Localização da Seção de Controle

Por sua vez, na Figura 26 estão indicadas as localizações dos equipamentos instalados e a localização média da seção das medições de vazão, bem como identificados os dois arroios que confluem no local. As setas representativas dos arroios também indicam, além da localização dos mesmos, a direção de fluxo deles. Ainda, são indicadas a direção de fluxo do arroio Perdizes após a confluência dos dois e as margens direita e esquerda do mesmo.

Na imagem, não é possível se identificar a superfície do arroio Perdizes, uma vez que esta, nesse local, é coberta por copas de árvores, e a câmera não consegue registrar

as imagens através das mesmas. Entretanto, a sua localização, comprovada nos diversos trabalhos de campo, é indicada na imagem para o correto entendimento do local de estudo.

As principais informações acima descritas são identificadas na Figura 26 através de números, de 1 a 6. As respectivas legendas de cada número são apresentadas abaixo.

- (1) Arroio Água Comprida
- (2) Arroio Perdizes
- (3) Seção Média de Medição de Vazão
- (4) Localização do Sensor de Nível Fluviométrico
- (5) Localização do *Data Logger* e da Placa Solar
- (6) Arroio Perdizes (Pós Confluência)

Aqui, julga-se interessante uma observação a respeito da nomenclatura adotada para os arroios em questão. Conforme informações levantadas com os gestores do Parque, existe uma divergência entre os registros do próprio Parque sobre qual arroio seria, de fato, o arroio Perdizes e qual seria, de fato, o arroio Água Comprida. Segundo eles, existem tanto registros em mapas e documentos antigos que apontam para o que está representado na Figura 26, quanto outros registros que indicam o contrário.

Além disso, o usual em hidrologia é que, após uma confluência, o corpo hídrico ou altere o seu nome, ou mantenha o nome original do seu curso principal. Entretanto, como pode-se observar, essa situação não é o que ocorre na local de estudo, no qual, após a confluência dos arroios Água Comprida e Perdizes, o corpo hídrico assume o nome de Perdizes, que, segundo a nomenclatura informada pelos gestores do Parque, seria o menor dos dois arroios.

A partir dessas observações, gerou-se uma discussão interna entre os gestores do PNAS acerca do assunto, e foi proposto que seja realizado um estudo mais detalhado dos registros de mapas e relatórios internos do Parque existentes, e que seja então tomada uma decisão final sobre a questão, com fins de sanar as dúvidas existentes e prevenir possíveis divergências em estudos e projetos futuros, bem como entre os gestores e até mesmo entre a comunidade.

Na Figura 22, apresentada anteriormente na página 62, pode-se identificar o comportamento médio do fundo do leito da seção de controle, o qual é fixo, de rocha. A margem esquerda tem transição abrupta apresentando desnível vertical de quase um

metro logo nos primeiros centímetros de distância à margem, enquanto que a margem direita, por sua vez, apresenta um comportamento de transição bem mais gradual.

O local em questão foi escolhido para ser o ponto de instalação dos equipamentos e de medição de vazões por apresentar características interessantes e facilitadoras para tanto, das quais pode-se destacar:

- A seção localiza-se à jusante da confluência dos arroios Água Comprida e Perdizes, o que garante que, nas medições de vazão, as contribuições de ambos os arroios sejam consideradas;

- A seção de medição encontra-se em uma seção reta do arroio Perdizes, de forma que os possíveis efeitos gerados por uma curva do arroio não sejam presentes;

- As profundidades da seção apresentam sempre valores mínimos suficientes para a medição de vazão por ADCP (em torno de 20 cm);

- Não há registros de regiões de remanso ou de águas paradas ao longo da seção, o que poderia impossibilitar ou dificultar as medições de vazão;

- O local apresenta acesso relativamente fácil, uma vez que existe um caminho preferencial já delimitado por um episódio de passagem de gado e pela própria passagem dos gestores e guardas do Parque, além de não precisar abrir e delimitar nova trilha até o local, minimizando assim possíveis impactos ao meio ambiente;

- A margem esquerda do arroio apresenta uma pequena região descampada no local, o que favorece a instalação da placa de energia solar, por não apresentar obstáculos para a incidência de radiação na mesma; e

- A variação dos comportamentos dos desníveis das margens, conforme descrito anteriormente, favorece a proteção dos equipamentos, que foram instalados na margem esquerda, uma vez que a margem direita apresenta uma região de banhado próximo a ela, o que torna muito improvável o aumento do nível na margem esquerda até um nível de risco para a estrutura de instalação do *data logger* e da placa solar, em caso de ondas de cheia.

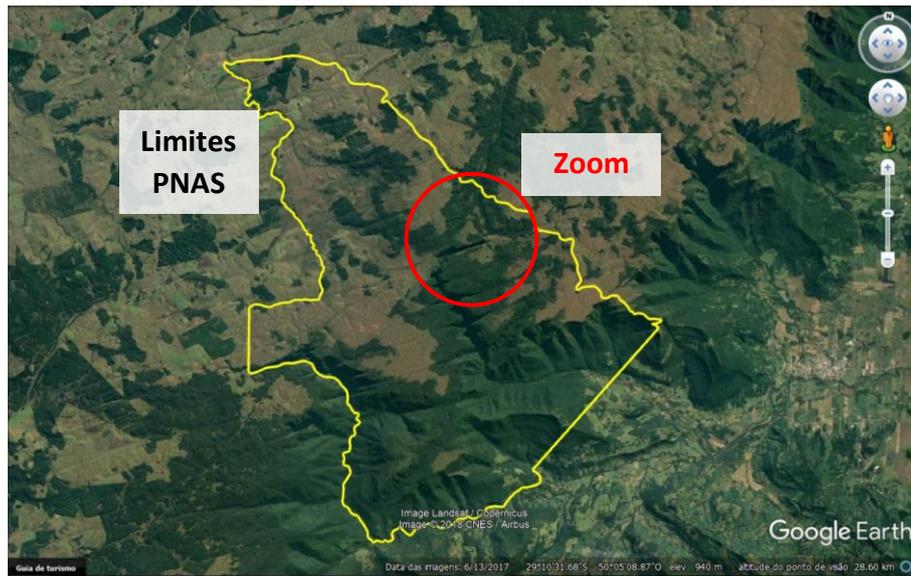


Figura 23 - Limites PNAS e Área de Zoom

Fonte: Gerada com o Software Google Earth



Figura 24 - Zoom Inicial de Localização

Fonte: Gerada com o Software Google Earth



*Figura 25 - Zoom Área da Sede do PNAS
Fonte: Gerada com o Software Google Earth*

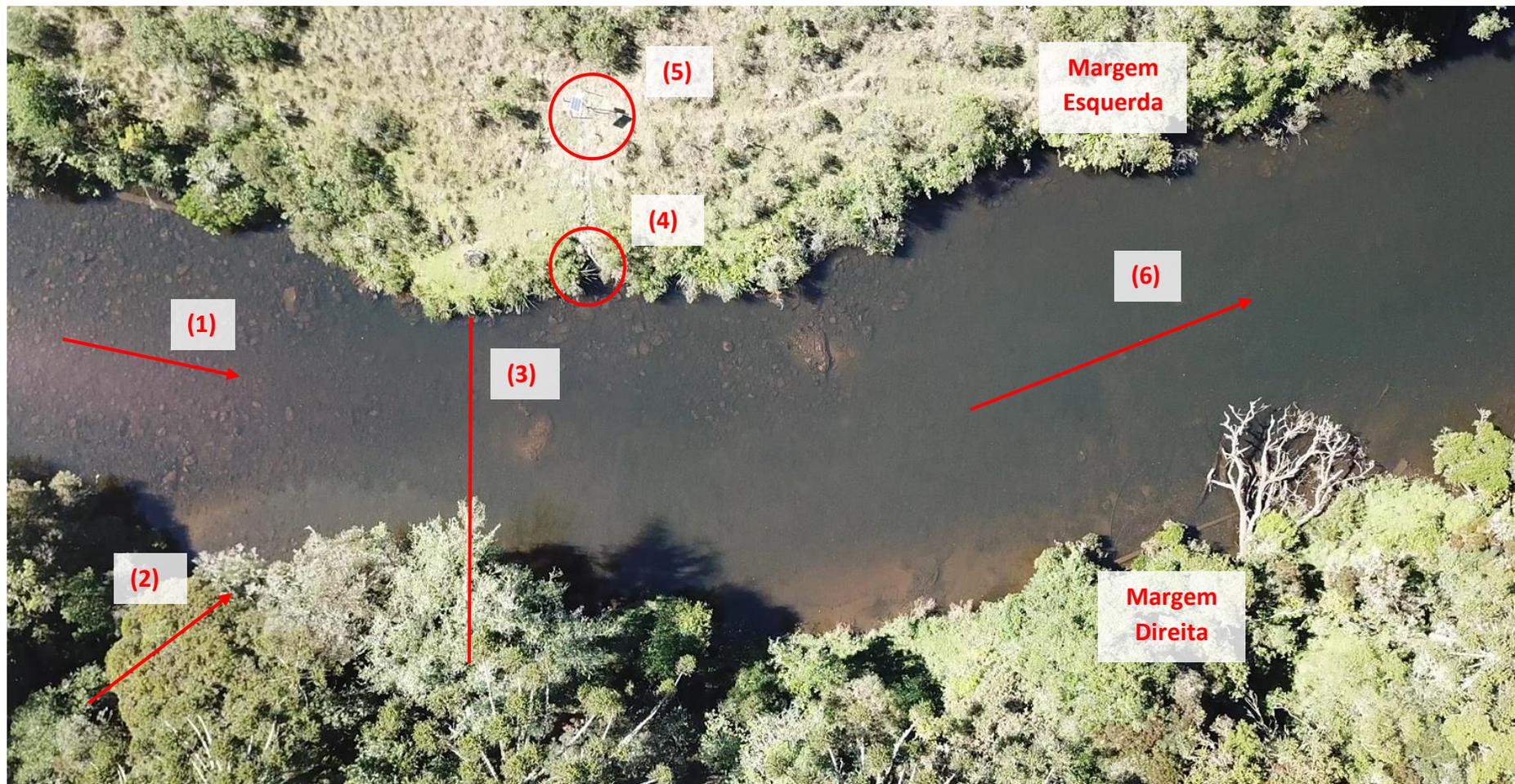


Figura 26 - Local das Medições de Vazão e da Instalação de Equipamentos, Vista em Planta.

Fonte: Arquivo Próprio

4.6. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

No ramo da hidrologia, considera-se, como precipitação, toda a água do meio atmosférico que chega à superfície da terra, esteja ela no estado físico, forma e consistência que estiver. Tanto a chuva, quanto a neve, a geada ou o granizo são exemplos de formas existentes de precipitação.

A chuva, entretanto, é considerada a principal forma de precipitação existente, uma vez que é a principal responsável pela geração de escoamento. Dessa forma, os dados pluviométricos, de chuva, são essenciais e considerados os mais importantes para os estudos hidrológicos.

Diversos parâmetros hidrológicos apresentam variações em dimensões espaciais, de forma que, para o estudo de uma região específica, deve-se obter registros locais de chuva. Além disso, eles também apresentam variações temporais muito grandes, de forma que uma informação apenas quantitativa de precipitação não tem sentido, a não ser que esteja acompanhada da sua respectiva informação temporal.

Nesse sentido, existem basicamente duas maneiras de se medir a chuva: pontualmente, através de instrumentos como os pluviômetros e os pluviógrafos, ou espacialmente, através de radares. No presente trabalho, os dados utilizados foram os obtidos através de medições pontuais, e por isso apenas os equipamentos de medição relacionados com esse conceito de medição são descritos na sequência.

Os pluviômetros são recipientes graduados que apresentam um volume específico suficiente para armazenar as precipitações dentro de um intervalo definido de tempo, o qual usualmente é de 24 horas. A obtenção dos dados por eles medidos é realizada através e leitura da altura de água acumulada, realizada por um observador. As leituras devem ser realizadas, sempre que possível, pelo mesmo observador, para se manter o padrão de leitura dos dados, e normas internacionais aconselham os valores de precipitação obtidos a partir de leituras realizadas antes do meio dia sejam atribuídos ao dia anterior.

Os pluviógrafos, por sua vez, são equipamentos mais modernos, que surgiram principalmente devido à característica de variabilidade temporal das precipitações, que não é atendida pelos pluviômetros, e à demanda de automatização das medições de precipitação, tendo em vista por exemplo a constatação de diversas dificuldades de acesso diário aos locais de instalação dos pluviômetros para as leituras manuais. Esses equipamentos trabalham, basicamente, com etapas de medição, transmissão de sinal, gravação e transmissão dos dados gerados (TUCCI, 2007).

No presente trabalho, foram, em um primeiro momento, analisados e utilizados dados de estações meteorológicas já existentes, pertencentes a diversas entidades. Posteriormente, foi também realizada a instalação de uma estação meteorológica, dada a necessidade observada de se obter dados mais localizados dentro da área de estudo e também dados com maiores frequências temporais de registros, dada a grande variabilidade temporal dos parâmetros hidrológicos e meteorológicos que foram analisados.

A seguir, são apresentados os procedimentos realizados para a aquisição desses dados de precipitação, bem como as análises realizadas para a comparação entre os dados e que embasaram a tomada de decisão sobre os melhores dados para o desenvolvimento do trabalho. Além disso, são também descritos os procedimentos e características principais referentes à estação meteorológica instalada no Parque e a respectiva obtenção e pós-processamento dos dados por ela gerados.

4.6.1. Estações Pluviométricas Hidroweb

Conforme consta no banco de dados do Hidroweb (ANA, 2017), existem registros de oito estações pluviométricas localizadas em regiões de interesse para o presente trabalho, ou seja, dentro dos limites municipais de Cambará do Sul (RS) e de Praia Grande (SC), e nas regiões de entorno a esses limites. A distribuição espacial dessas estações é apresentada na Figura 27. Ressalta-se a inexistência de qualquer ponto de monitoramento dentro das áreas dos parques, tanto do PNAS quanto do PNSG. Ainda, é ressaltada a inexistência de estações pluviométricas dentro da Bacia Hidrográfica do rio do Boi, conforme mostrado na Figura 28, na sequência.

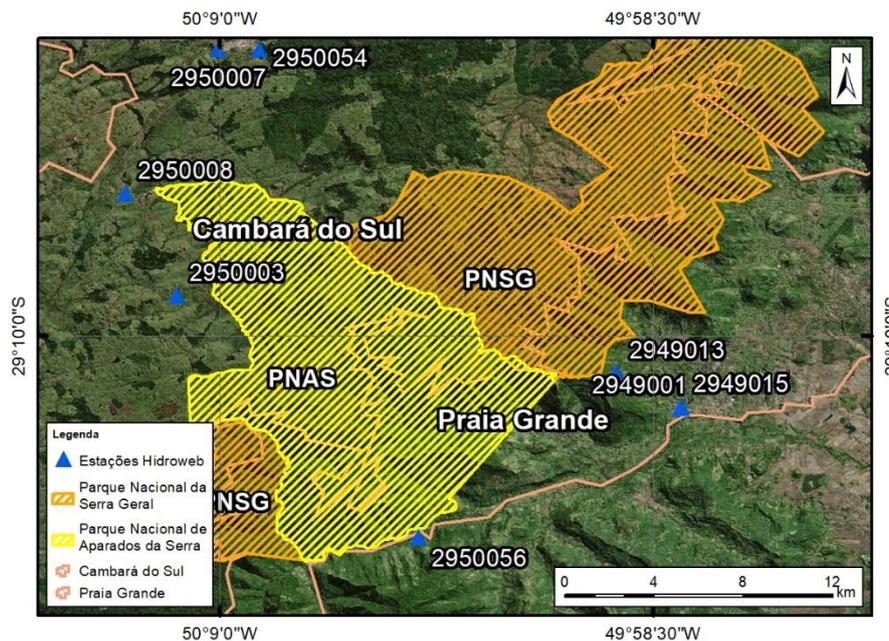


Figura 27 - Localização Estações Hidroweb em Relação aos Parques.

Fonte: Elaboração Própria

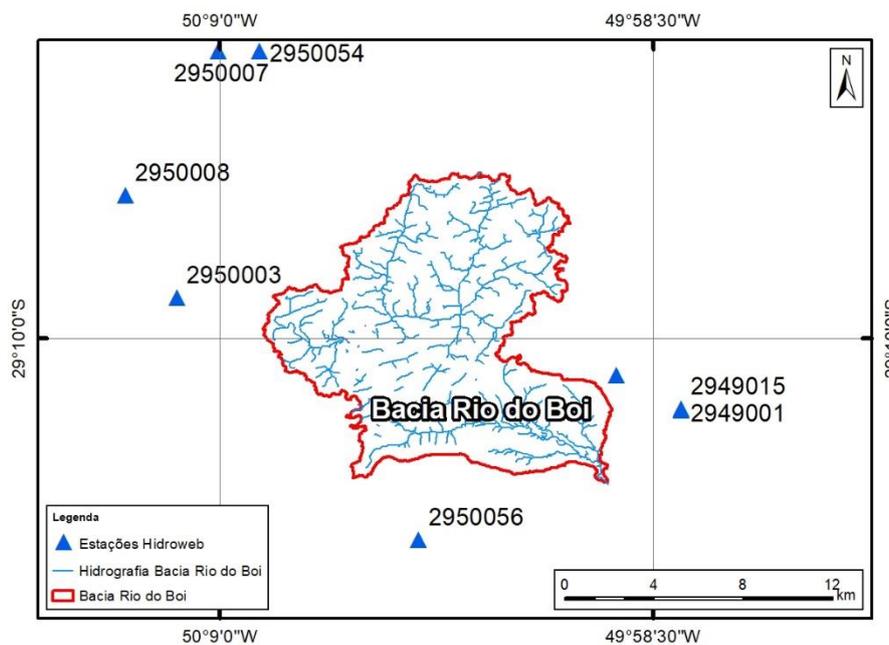


Figura 28 - Localização Estações Hidroweb em Relação à Bacia do Rio do Boi.

Fonte: Elaboração Própria

Os dados informativos gerais sobre as estações pluviométricas que se encontram na região delimitada de região de interesse estão apresentados na Tabela 1. Conforme é possível observar, somente as estações “Camisas” (código 2950008), “Mãe dos Homens”

(código 2950056) e “Praia Grande” (código 2949001) apresentam dados atuais de monitoramento de chuvas.

Essa situação de apenas três dentre as oito estações da região de interesse estarem em operação e apresentando dados atuais de precipitação expõe uma certa escassez existente atualmente no que tange o monitoramento pluviométrico no país, em comparação com sistemas existentes em países desenvolvidos, como por exemplo a Alemanha. Esse cenário de falta de dados é uma das grandes dificuldades encontradas por estudantes, pesquisadores, engenheiros, projetistas e inclusive gestores públicos na hora de desenvolver estudos e pesquisas, realizar projetos de engenharia, desenvolver estudos de proteção contra cheias e tomar decisões públicas de situações relacionadas com hidrologia, por exemplo.

A Tabela 2, por sua vez, apresenta algumas características mais específicas dessas três estações de monitoramento, como por exemplo os dados fornecidos e os métodos de obtenção dessas informações. De maior interesse, mostra a série história dos dados existentes, e principalmente quais dos anos de interesse (anos que se tem o registro dos dados de nível do arroio Perdizes) também apresentam dados de pluviosidade.

Como pode-se observar, a estação “Camisas” só apresenta dados de pluviosidade para os anos de 2012 e 2016, dentre os chamados anos de interesse. Por outro lado, as estações “Mãe dos Homens” e “Praia Grande” apresentam dados para todos os anos de interesse: de 2012 até 2016. Dessa maneira, essas duas estações foram as estações escolhidas para o desenvolvimento dos modelos estatísticos de correlação do nível do arroio Perdizes com os registros de pluviosidade.

Tabela 1 - Dados estações pluviométricas na região de trabalho.

Nº ID	Nome	Código	Tipo Estação	Órgão Responsável	Órgão Operador	Município	Estado	Latitude	Longitude	Na Bacia	Em Operação	Anos de Dados	
												Início	Fim
1	Cambará do Sul	2950007	Pluviométrica	CEEE	CEEE	Cambará do Sul	RS	-29,0500	-50,1500	Não	Não	1944	1978
2	Cambará do Sul	2950054	Pluviométrica	INMET	INMET	Cambará do Sul	RS	-29,0500	-50,1333	Não	Sim	1998	1998
3	Camisas	2950008	Pluviométrica	ANA	CPRM	Cambará do Sul	RS	-29,1083	-50,1875	Não	Sim	1946	2017
4	Azulega	2950003	Pluviométrica	CEEE	CEEE	Cambará do Sul	RS	-29,1500	-50,1667	Não	Não	1947	1978
5	Mãe dos Homens	2950056	Pluviométrica	ANA	EPAGRI - SC	Praia Grande	SC	-29,2481	-50,0692	Não	Sim	1983	2017
6	Praia Grande	2949001	Pluviométrica	ANA	EPAGRI - SC	Praia Grande	SC	-29,1958	-49,9633	Não	Sim	1976	2017
7	Praia Grande - Serra do Faxinal	2949013	Pluviométrica	CEMADEN	CEMADEN	Praia Grande	SC	-29,1813	-49,9894	Não	Sim	-	-
8	Praia Grande - Centro	2949015	Pluviométrica	CEMADEN	CEMADEN	Praia Grande	SC	-29,1951	-49,9634	Não	Sim	-	-

Fonte: Dados Hidroweb – ANA (2017)

Tabela 2 - Dados estações pluviométricas de interesse.

Nome	Código	Latitude	Longitude	Na Bacia	Dados Fornecidos	Modo de Coleta	Início	Fim	Anos de Interesse com Dados
Camisas	2950008	-29,1083	-50,1875	Não	Chuva Diária	Convencional	1946	2017	2012 e 2016
Mãe dos Homens	2950056	-29,2481	-50,0692	Não	Chuva Diária	Convencional	1983	2017	2012, 2013, 2014, 2015 e 2016
Praia Grande	2949001	-29,1958	-49,9633	Não	Chuva Diária	Convencional	1976	2017	2012, 2013, 2014, 2015 e 2016

Fonte: Dados Hidroweb – ANA (2017)

Antes de se iniciar o desenvolvimento dos modelos matemáticos de correlação entre os dados de precipitação das estações e os dados de níveis fluviométricos, foi realizada uma etapa prévia de análise e comparação entre os dados das duas estações selecionadas, para o período de interesse de 2012 a 2016, uma vez que nenhuma se encontra dentro da bacia hidrográfica do rio do Boi.

Essa etapa teve dois principais objetivos: a verificação dos comportamentos dos registros pluviométricos de estação e a comparação entre os dados das duas estações. O primeiro macro objetivo foi buscar e identificar a possível existência de algum padrão característico no regime de chuvas das duas estações, o que poderia resultar em períodos nos quais poderiam ocorrer mais casos de alerta e de fechamento da Trilha do rio do Boi.

O segundo macro objetivo foi realizar a comparação entre os registros pluviométricos das duas estações, buscando-se analisar se as estações apresentavam comportamentos similares ou distintos. Caso a comparação dos dados resultasse em comportamentos muito diferentes entre os registros das duas estações, isso resultaria em uma necessidade de uma análise mais aprofundada de séries históricas maiores de registros pluviométricos. Felizmente, tal cenário não ocorreu.

Os gráficos apresentados na Figura 29 e na Figura 33 mostram os registros anuais de precipitação gerados através dos dados de chuva das estações “Mãe dos Homens” e “Praia Grande”, para os anos de interesse do trabalho.

Em relação à busca por padrões de comportamento, pode-se observar que todos os anos apresentam uma certa concentração de picos de chuva nos três primeiros meses do ano, o que condiz com relatos dos gestores do Parque, de que o início do ano é a época em que ocorrem mais episódios de fechamento da Trilha.

É possível observar-se que alguns pontos específicos apresentam uma variação grande do registro de chuva entre as estações, como por exemplo alguns picos azuis no início dos gráficos dos anos de 2012, 2015 e 2016. Entretanto, de uma forma geral, os registros das duas estações se correlacionam muito bem, havendo sobreposição dos gráficos individuais de cada estação em grande parte do tempo, em todos os anos analisados.



Figura 29 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2012.

Fonte: Elaboração Própria



Figura 30 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2013.

Fonte: Elaboração Própria



Figura 31 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2014.

Fonte: Elaboração Própria



Figura 32 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2015.

Fonte: Elaboração Própria



Figura 33 - Comparação dos Registros Pluviométricos para o Ano de 2016.

Fonte: Elaboração Própria

Os fatos aqui apresentados permitiram concluir que tanto a estação “Mãe dos Homens” quanto a estação “Praia Grande” poderiam ser utilizadas na elaboração das proposições de modelo simplificado de alerta e fechamento da Trilha do rio do Boi, desenvolvidas no presente trabalho.

Entretanto, isso não diminuiu a importância de existirem dados pluviométricos dentro da área do Parque, em um sistema consistente de monitoramento local. Devido a essa necessidade, foi então realizada a instalação de uma estação meteorológica automatizada, que adquire, transmite e registra dados (pluviométricos e de outros parâmetros) em tempo real, conforme é apresentado na sequência.

4.6.2. Estação Meteorológica Instalada

Ao se estudar o comportamento hidrológico de um corpo hídrico e as respostas hidrológicas e meteorológicas de uma certa região, é de extrema importância monitorar

os eventos meteorológicos da mesma, uma vez que eles se correlacionam fortemente com as respostas hidrológicas locais. Apesar dessa grande importância, quando do início do presente trabalho, o Parque Nacional de Aparados da Serra não apresentava nenhuma estação meteorológica que estivesse instalada na sua parte superior e que registrasse e disponibilizasse os dados gerados.

Além disso, as duas únicas estações pluviométricas próximas do PNAS que contêm informações atuais de chuva - Praia Grande e Mãe dos Homens -, localizam-se abaixo do cânion. Por ser uma formação que apresenta grandes e abruptos desníveis de cota, na borda da serra geral, as regiões inferiores e superiores do cânion podem apresentar regimes pluviométricos diferentes entre si.

Devido à importância dos registros pluviométricos e à realidade de monitoramento no local, foi realizada, junto com a equipe do GPDEN, a instalação de uma estação meteorológica automatizada dentro da área do PNAS, instalada bem em frente à sede do Parque. A Figura 34 mostra a estação já instalada.

Além de ser um local tecnicamente adequado para a instalação do equipamento, por não apresentar possíveis interferências na captação da precipitação e por receber boa incidência solar para a recarga das baterias através das placas solares, o local da instalação também foi estrategicamente pensado, a fim instigar a curiosidade dos visitantes do Parque em relação ao equipamento e, conseqüentemente, promover a divulgação do projeto realizado e também incentivar a sensibilização dos mesmos em relação ao assunto.

A estação instalada é uma *Davis Vantage Pro2* (mostrada em detalhe na Figura 35), completa, da fabricante *Davis Instruments*, e realiza medições de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, intensidade e direção do vento, pressão barométrica e radiação solar. Todas as medições são automatizadas, realizadas em tempo real, à exceção da medição de chuva, que gera dados de precipitação a cada 10 minutos.



Figura 34 - Estação Meteorológica e Placa de Identificação Instaladas.

Fonte: Arquivo Próprio

Conforme mostrado em *zoom* na Figura 36, foi instalada, junto à estação meteorológica, uma placa de identificação do sistema de monitoramento que foi instalado na parte superior do Parque, a fim de divulgar o projeto e também instigar a curiosidade e a conscientização dos visitantes sobre o assunto.



Figura 35 - Estação Meteorológica Instalada

Fonte: Arquivo Próprio



Figura 36 - Placa de Identificação do Sistema de Monitoramento

Fonte: Arquivo Próprio

Todas as informações geradas pela estação meteorológica são transmitidas automaticamente via ondas de rádio para uma base receptora conectada a um computador instalado na sede do Parque, o qual armazena e disponibiliza as informações geradas, as quais ficam inteiramente à disposição dos gestores do PNAS. A Figura 37 mostra a apresentação, no *software*, dos dados gerados pela estação.

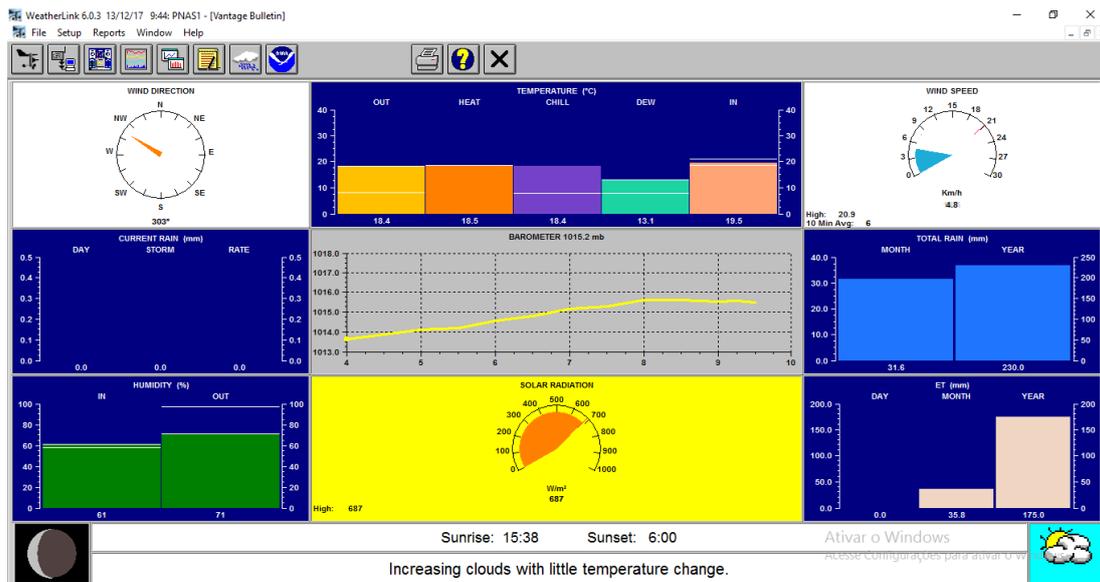


Figura 37 - Exemplo de Página Resumo do Monitoramento Instantâneo da Estação Meteorológica

Fonte: Elaborada com o software WeatherLink®

Até o momento, os dados obtidos estão sendo disponibilizados apenas internamente, para os gestores do PNAS, devido a uma pequena incompatibilidade tecnológica entre servidores, o que ainda impede a disponibilização direta *on-line*. O objetivo, entretanto, é a resolução do empasse tecnológico e a consequente disponibilização total dos dados online, para todos aqueles que desejarem obter acesso a eles.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, dos obtidos pela estação meteorológica foram utilizados apenas os de precipitação. Apesar disso, a equipe gestora do PNAS já está utilizando alguns dos outros dados gerados pela estação para complementar suas divulgações de informações das condições diárias do Parque, através da sua página no *Twitter*.

Os registros pluviométricos obtidos através das medições da estação foram utilizados, em combinação com os dados do sensor de nível fluviométrico, para uma análise de sensibilidade e resposta do arroio aos eventos de chuva, trazendo também uma comparação e discussão sobre a influência da utilização de dados diários e sub-diários de monitoramento em modelos de previsão. Essa análise faz parte dos resultados do presente trabalho, e é apresentada no subcapítulo 5.4. Resultados Prévios do Monitoramento Automatizado.

A Figura 38 e a Figura 39 exemplificam opções de *layouts* de apresentação de informações, gerados pelo próprio *software*. Apesar disso, todos os processamentos de dados executados durante o presente trabalho foram realizados no *Microsoft Office Excel 2013*, uma vez que o *software* próprio da estação permite apenas a visualização dos dados.

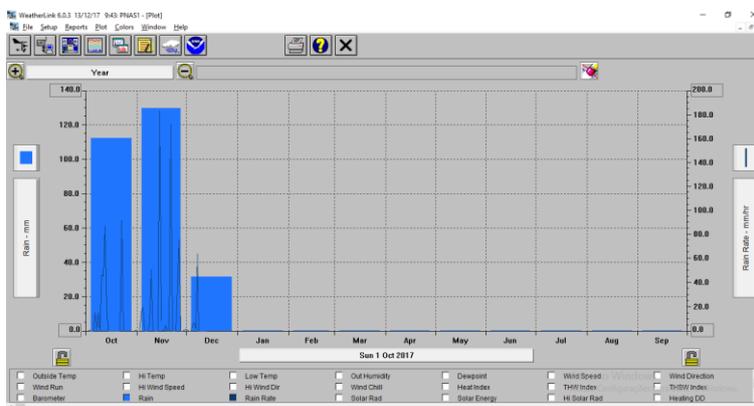


Figura 38 - Página de Visualização dos Dados Anuais de Precipitação.

Fonte: Elaborada com o software WeatherLink®

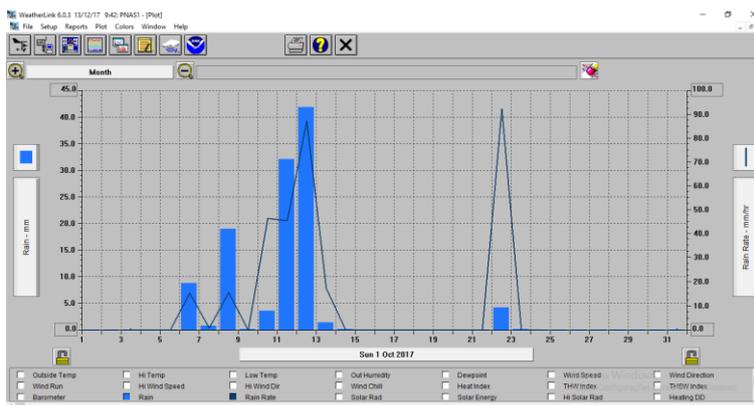


Figura 39 - Página de Visualização dos Dados de Precipitação para um Mês.

Fonte: Elaborada com o software WeatherLink®

Foi realizado um levantamento de alguns eventos significativos de chuva que ocorreram na bacia após a instalação da estação, juntamente com o levantamento dos níveis registrados no sensor de nível no período durante e após o evento de precipitação. O objetivo foi analisar a passagem da onda de cheia gerada pelo evento de chuva através da variação do nível no arroio Perdizes, obtendo-se assim alguns resultados de tempo de resposta do nível do arroio a certos eventos de chuva.

O subcapítulo 5.4. *Resultados Prévios do Monitoramento Automatizado* apresenta os resultados obtidos através da análise desses dados, bem como abre uma discussão sobre a representatividade de dados diários e sub-diários no monitoramento hidrológico e meteorológico, bem como a influência desses dados nos resultados dos modelos.

4.7. DIAGRAMA ROC (*RELATIVE OPERATING CHARACTERISTIC*)

Conforme apresentado no subcapítulo 302.4. *Métricas de Verificação*, a avaliação do desempenho e da qualidade de um sistema de previsão é extremamente necessária para que se conheça as características do modelo gerado, principalmente as suas forças e fraquezas. Nesse sentido, uma das ferramentas de análises existentes é o *Relative Operating Characteristic (ROC) diagram*, cuja metodologia é descrita a seguir, baseado nos trabalhos de Fan, (2015), Fan *et al.* (2016b), Meller (2014) e Siqueira *et al.* (2016).

O diagrama ROC é uma métrica utilizada para a medição da qualidade de uma previsão para a ocorrência de um evento discreto, como por exemplo a excedência de um limiar de segurança de nível fluviométrico. Na Figura 40 é apresentada uma tabela de contingência utilizada nessa metodologia, que exemplifica os quatro possíveis cenários de previsão e ocorrência para um evento discreto.

Quando se trabalha com a geração de mais de um possível modelo de previsão, no caso de se ter várias possibilidades de correlações (e.g. mais de uma estação pluviométrica e mais de uma opção de leitura de nível fluviométrico), a análise dos valores de POD e POFD gerados pelos diferentes modelos criados pode servir como parâmetro de comparação e análise de qualidade entre todos eles.

Antes da elaboração do diagrama ROC, é necessário se verificar em qual dos quadrantes (**a**, **b**, **c** ou **d**) da tabela de contingência a previsão se enquadrou. Esse procedimento deve ser realizado para cada um dos valores encontrados pelo modelo de previsão, para cada modelo gerado.

		<u>Observado?</u>	
		Sim	Não
<u>Previsto?</u>	Sim	a	b
	Não	c	d

Figura 40 - Exemplo de tabela de contingência para um evento discreto.

Fonte: Adaptado de Fan, 2015

Uma vez realizado esse procedimento, são então calculados, para o modelo gerado, dois índices: o POD (*Probability of Detection*) e o POFD (*Probability of False Detection*).

O POD representa a probabilidade de detecção do modelo gerado, ou seja: ele é definido pelo percentual de vezes em que o modelo previu a excedência de um limiar, dado que ele realmente ocorreu. Matematicamente, considerando o esquema apresentado na Figura 40, sua expressão é dada por:

$$POD = \frac{a}{a+c} \quad (1)$$

O POFD, por sua vez, representa a probabilidade de falsa detecção do modelo gerado, ou seja: ele é definido pelo percentual de vezes em que o modelo previu uma excedência do limiar, porém que não ocorreu. Matematicamente, considerando o esquema apresentado na Figura 40, sua expressão é dada por:

$$POFD = \frac{b}{b+c} \quad (2)$$

Idealmente falando, um modelo perfeito seria aquele que apresentaria valores de POD igual a um e de POFD igual a zero, ou seja: um modelo que sempre acerte na excedência de limiar, emitindo o alarme, e que nunca erre na não excedência de um limiar, não emitindo falsos alertas.

Uma vez obtidos os valores de POD e de POFD para cada um dos possíveis modelos, procede-se com a elaboração do diagrama ROC resultante, que apresentará graficamente a dispersão espacial desses valores, e, a partir dessas disposições, pode-se realizar a análise e tomada de decisão de qual o melhor modelo dentre os gerados.

Graficamente, o diagrama ROC apresenta os valores de POFD plotados em sua abcissa (eixo “x”) e os valores de POD plotados em sua ordenada (eixo “y”). A reta de equação característica $x = y$ representa o desempenho da climatologia, que nesse caso equivale ao desempenho de uma previsão dada pelas médias mensais dos dados observados, de um longo período, e pode ser utilizada para comparações com os modelos gerados. Se o modelo gerado se encontra em cima da reta em questão, a sua qualidade de previsão é comparativamente igual à qualidade de previsão da climatologia.

Se a resultante do modelo gerado se encontra acima da reta de equação característica $x = y$, significa que o modelo gerado tem qualidade de resultado superior ao desempenho da climatologia. Quanto mais próximo do ponto $x,y = (0,1)$ a resultante estiver, melhor é o modelo gerado.

Por outro lado, se a resultante do modelo gerado se encontra abaixo da reta de equação característica $x = y$, significa que o modelo gerado tem qualidade de resultado inferior ao desempenho da climatologia. Quanto mais próximo do ponto $x,y = (1,0)$ a resultante estiver, pior é o modelo gerado.

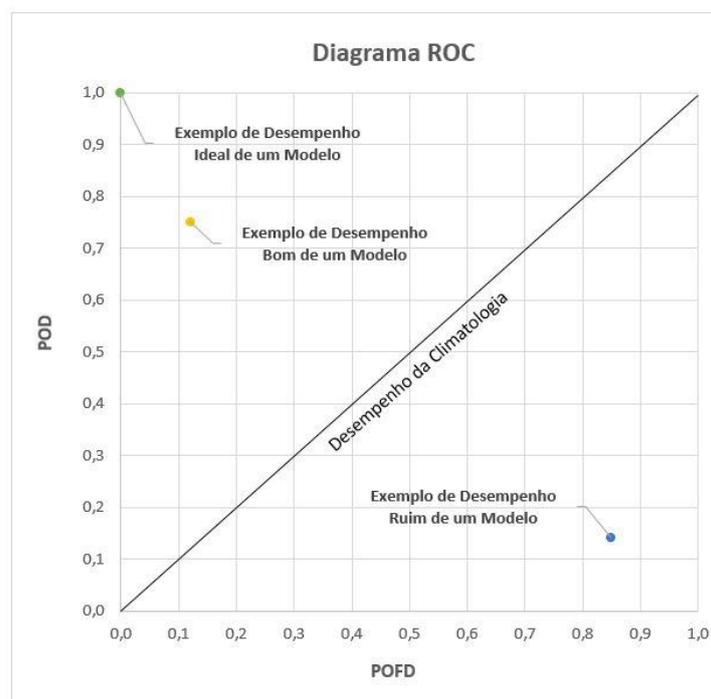


Figura 41 - Exemplo Didático de Diagrama ROC

Fonte: Adaptado de Fan, 2015

O presente trabalho, que trabalhou com a geração de 18 possíveis modelos matemáticos para correlação de nível fluviométrico e de chuva, os resultados obtidos de POD e POFD foram os indicadores utilizados para a determinação do “melhor” modelo gerado, ou seja, o que apresentava maior taxa de acerto nas previsões combinado com uma menor taxa de falso alarme.

Ao final, para verificação da aplicabilidade de dados de previsão quantitativa de chuva (QPF) nos modelos de correlação precipitação-nível gerados, a metodologia aqui apresentada foi aplicada também a esses dados.

Os modelos de previsão criados, bem como os resultados das respectivas análises de qualidade e o diagrama ROC resultante são apresentados mais a frente, no subcapítulo 5.3. *Modelos de Previsão e Alerta*, dentro do capítulo 5. *Resultados e Discussões*.

4.8. MODELOS DE PREVISÃO E ALERTA

4.8.1. Precipitação-Nível

Os modelos de previsão elaborados no presente trabalho foram gerados através da correlação direta entre os dados de nível fluviométrico e de precipitação do banco de dados do PNAS. Optou-se por se gerar modelos representados por equações de reta lineares, uma vez que o objetivo final é que os modelos possam ser realmente aplicados, de maneira simples e rápida, e que qualquer funcionário do Parque possa facilmente compreender o que o modelo representa e operar o sistema.

Referente aos dados de entrada de nível fluviométrico, foram utilizados todos os dados de que se dispunha: dados matutinos e vespertinos referentes ao arroio Perdizes, e dados matutinos referentes ao rio do Boi.

Já em relação aos dados de precipitação, foram utilizados os dados gerados pelas duas estações de interesse da ANA, a “Mãe dos Homens” e a “Praia Grande”, conforme explicado anteriormente no subcapítulo 4.6.1. *Estações Pluviométricas Hidroweb*. Para cada estação, além dos dados diários originalmente fornecidos pelas estações, também foram calculadas as precipitações acumuladas para 48h e para 72h, com as quais também foram gerados modelos.

Como o arroio Perdizes conta com uma série histórica de cinco anos de dados, a calibração dos modelos referentes ao arroio foi feita com os três anos de dados, referentes aos anos de 2012, 2014 e 2016. A validação dos modelos, por sua vez, foi realizada com dois anos de dados, respectivamente os anos de 2013 e 2015.

Os modelos gerados a partir dos dados de nível do rio do Boi, por sua vez, contaram com apenas um ano de dados para a calibração e um ano de dados para a validação, uma vez que só se dispunham de dois anos de dados. Assim, a calibração foi realizada com os dados de 2015 e a validação com os dados de 2016.

Da maneira com que os modelos foram conceitualmente concebidos e desenvolvidos, todos apresentam o mesmo objetivo específico: prever a excedência ou

não do valor limite estipulado de nível fluviométrico. Ou seja, a exata correlação entre o nível registrado e o nível previsto pelo modelo não apresente grande importância frente a importância de o modelo prever a ultrapassagem do nível fluviométrico de segurança.

Para cada dia das séries de validação, foi comparado o dado de nível gerado por cada modelo com o dado de nível registrado no banco de dados, de maneira a se verificar se esse dado de nível gerado representava o mesmo *status* que o dado original referente à abertura ou ao fechamento da Trilha

Exemplificando: dados os objetivos traçados para este trabalho, para um dia em que existe o registro de 20 cm de nível, não importa se o modelo gerado prever um valor de nível de 17 cm ou de 27 cm. O que se espera dos modelos, para esse evento hipotético, é que eles prevejam um valor de nível acima dos 15 cm, para que haja uma correta detecção da excedência do valor limite, e a consequente correta emissão de alerta.

Dessa forma, apesar de ser um índice muito utilizado em análises estatísticas de correlação e estar também apresentado mais à frente no trabalho, na Tabela 10, os coeficientes de correlação (R^2), não foram utilizados para analisar o desempenho dos modelos gerados, uma vez que eles não apresentam significados concretos sobre isso.

A análise final dos resultados de previsão dos modelos gerados, bem como a análise comparativa dos seus desempenhos, foi realizada através das métricas POD e POFD, atreladas à metodologia do diagrama ROC, conforme descrito no subcapítulo anterior. Os resultados dos 18 modelos gerados, as análises comparativas e as discussões acerca desses resultados são apresentados no subcapítulo *5.3.5.3 Modelos de Previsão e Alerta*.

4.8.2. Previsão Meteorológica

Esta etapa do trabalho teve como principal objetivo avaliar os modelos estatísticos de previsão gerados anteriormente em relação à resposta a dados de previsão meteorológica. Tal procedimento foi realizado porque julga-se que um modelo de previsão e alerta de fechamento da Trilha do rio do Boi justamente baseado em dados de previsão meteorológicas de curto a médio prazo poderia dar respostas com maior antecedência para o local. Dessa maneira, o presente subcapítulo trata de como essa questão foi abordada neste trabalho.

Inicialmente, foram selecionados os locais relativos aos quais se buscou obter os dados de previsão meteorológica. Como os modelos de previsão precipitação-nível foram

desenvolvidos a partir de dados de precipitação medidos nas estações pluviométricas “Mãe dos Homens” e “Praia Grande”, esses mesmos locais foram utilizados como pontos de análise de previsão meteorológica.

Além disso, um terceiro ponto foi adicionado à análise, relativo à estação meteorológica instalada no Parque (chamada PNAS1) durante o presente trabalho. Apesar de os modelos estatísticos não terem utilizados dados desta estação (uma vez que ainda não existia a estação), julgou-se essencial já se realizar a análise das previsões meteorológicas nesse ponto, uma vez que, com o tempo, espera-se a obtenção de séries históricas nesse local, com alta resolução temporal, e que serão utilizadas para nova calibração e aperfeiçoamento dos modelos prévios aqui gerados.

A Tabela 3 apresenta as três estações pluviométricas utilizadas nesta etapa, bem como as suas localizações geográficas (latitude e longitude), ponto de referência para a obtenção dos dados de previsão meteorológica.

Tabela 3 - Dados de Localização Estações Pluviométricas.

Nº Estação	Estação Pluviométrica	Latitude (S)	Longitude (O)
1	Mãe dos Homens	-29,2481	-50,0692
2	Praia Grande	-29,1958	-49,9633
3	PNAS1	-29,1584	-50,0799

Fonte: Elaboração Própria

Os dados de previsão de precipitação foram obtidos através do *Modelo Eta 15 km*, o qual apresenta, conforme o nome indica, *grid* de resolução espacial de 15 km, fornecendo dados de previsão de chuvas para até 7 dias em avanço, duas vezes ao dia (00 e 12 UTC). Esses dados de precipitação prevista são gerados para períodos de três em três horas, e foram desagregados para dados horários, para que pudessem, então, ser utilizados nas verificações com os modelos de precipitação-nível gerados. Essa ferramenta é a mesma utilizada no trabalho de Fan *et al.* (2017), no qual maiores informações acerca da mesma podem ser obtidas.

Exemplificando, se o dia analisado for o correspondente à data de 07/01/2014, o modelo gera previsões horárias relativas aos dias 07, 08, 09, 10, 11, 12 e 13 de janeiro. Para facilitar as análises, foram atribuídos códigos aos dias de geração de previsão, os quais serão utilizados daqui para frente, para facilitar as explicações. A Tabela 4 mostra um exemplo de data analisada, os códigos para os dados gerados e as respectivas antecedências de cada data futura.

Tabela 4 - Exemplo de Datas, Respectivos Códigos e Antecedências Horárias Analisadas.

Data	Código Dia	Antecedência (h)
07/01/2014	D0	24
08/01/2014	D1	48
09/01/2014	D2	72
10/01/2014	D3	96
11/01/2014	D4	120
12/01/2014	D5	144
13/01/2014	D6	168

Fonte: Elaboração Própria

Os dados de precipitação são lidos pelos observadores, nas estações meteorológicas utilizadas, usualmente às sete horas da manhã, e os dados de nível fluviométrico das séries históricas foram lidos pelos funcionários do PNAS também no período entre sete e oito horas da manhã. Dessa forma, foram considerados como “dias” de análise os períodos correspondentes entre as sete horas da manhã do dia em questão e as seis horas da manhã do dia seguinte, para se manter a coerência temporal dos dados e as correlações de nível e precipitação através das quais os modelos estatísticos foram desenvolvidos.

A escolha dos dias utilizados para as análises de previsão foi realizada a partir da compatibilidade dessas datas em relação às datas em que se tinham os dados de nível e de precipitação disponíveis. Ou seja, foram utilizados os dados de previsão meteorológica existentes, e que se obteve acesso, para os dias entre os anos 2012 a 2016. A Tabela 5, apresentada na sequência, apresenta os anos e os meses respectivos aos dados diários de previsão meteorológica utilizados.

Para cada dia analisado foram geradas previsões meteorológicas para até 7 dias em avanço, as quais foram chamadas, respectivamente, de D0 a D6. Para todos os dias da série de dados apresentados na Tabela 5, assim como para as três localizações apresentadas na Tabela 3, foi realizado esse procedimento, de forma que foram criadas 21 séries de dados de previsão meteorológicas. Ou seja, foram criadas séries de dados de D0, D1, D2, D3, D4, D5 e D6, relativos aos períodos acima citados, para cada uma das três estações analisadas.

Tabela 5 - Série Temporal dos Dados Utilizados na Análise de Previsão Meteorológica.

Ano	Mês
2013	9
	10
	11
	12
2014	1
	2
2016	4
	5
	6
	7
	8
	9
	10

Fonte: Elaboração Própria

As séries geradas apresentavam dados de previsão meteorológica, ou seja, milímetros de chuva previstos. Para analisar a aplicabilidade dos modelos estatísticos desenvolvidos em prever dados de nível fluviométrico a partir de dados de previsão de chuva, os dados dessas séries foram utilizados como dados de entrada para o modelo estatístico gerado que apresentou as melhores métricas de previsão.

Uma vez aplicados ao modelo gerado, para cada um dos dados de previsão de precipitação foi obtido o seu respectivo dado de nível fluviométrico. Esses dados de nível fluviométrico gerados pelos modelos foram então comparados com os correspondentes dados de nível lidos, existentes nas séries históricas de nível.

Aqui, é muito importante se ressaltar algumas informações. Seguindo o exemplo do dia 07/01/2014, é necessário observar que o dado de nível registrado às sete horas da manhã desta data é, na verdade, correspondente aos dados de precipitação das 24 horas anteriores, uma vez que a medição de precipitação do dia 07/01/2014 se refere à precipitação acumulada entre as sete horas da manhã do dia 06/01/2014 e as sete horas da manhã do dia 07/01/2014.

Na análise de previsão meteorológica, para o dia 07/01/2014, o dado gerado para D0 é referente ao acumulado previsto para o período entre as sete da manhã da própria data e as sete horas da manhã do dia seguinte. Dessa forma, para se rodar o modelo estatístico, os dados de acumulados de previsão meteorológica foram relacionados sempre com os dados de nível do dia seguinte. No exemplo didático utilizado até aqui, o

dado de previsão meteorológica acumulada para o dia 07/01/2014 foi relacionado com o dado de nível fluviométrico medido no dia 08/01/2014.

Uma vez obtidos os dados de nível referentes às previsões meteorológicas, os resultados para cada horizonte de previsão e para cada estação analisada foram comparados e avaliados em relação aos dados de nível fluviométrico lidos, existentes na série de dados fornecida pelo Parque. A comparação e avaliação foram realizadas através das métricas POD/POFD, apresentada anteriormente no subcapítulo 4.7. *Diagrama ROC (Relative Operating Characteristic)*, página 81.

Os resultados obtidos das análises a partir dos dados de previsão meteorológica, bem como as decorrentes discussões, são apresentados na sessão de resultados e discussões, no subcapítulo 5.3.2. *Previsão Meteorológica*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo destina-se à apresentação dos resultados gerados a partir do desenvolvimento do presente trabalho.

Primeiramente são apresentados os resultados obtidos através dos processamentos da série de dados de nível fluviométrico de registro interno do Parque, trazendo análises estatísticas e comparativas dos registros, bem como análises das distribuições temporais dos dados.

Em seguida, são trazidos os resultados das campanhas de medição de vazão realizadas ao longo do desenvolvimento do trabalho, juntamente com os respectivos dados de nível medidos na nova régua instalada.

Posteriormente, são apresentados os modelos estatísticos gerados, bem como os seus resultados individuais de desempenho de previsão, analisados através da metodologia POD/POFD. São também realizadas comparações entre os desempenhos individuais de detecção e de falsa detecção de cada modelo, e, por fim, é aberta uma discussão sobre o impacto da resolução temporal dos dados de entrada dos modelos nas suas respectivas taxas de acerto de previsão.

Por fim, mas não menos importante, são apresentados os resultados gerados até o momento pelos equipamentos de monitoramento instalados em campo, junto com a equipe do GPDEN. Nessa etapa, são utilizados os resultados de alguns dias específicos selecionados para exemplificação de algumas dinâmicas de resposta do arroio Perdizes em relação a eventos de precipitação. Além disso, também é aberta uma discussão sobre a representatividade de dados diários *versus* dados sub-diários de monitoramento.

5.1. HISTÓRICO DE FECHAMENTOS

Como um dos objetivos específicos do presente trabalho, foi realizada a geração de um histórico de fechamentos para a Trilha do rio do Boi, a partir dos dados de registro de nível fluviométrico fornecidos pelos gestores do PNAS. Conforme já comentado no subcapítulo 4.2. *Banco de Dados Existente*, os registros existentes no banco de dados do Parque apresentavam apenas os valores relativos aos níveis, e não a situação da Trilha, se ela se encontrava aberta ou fechada. Dessa forma, a análise dos dias de fechamento da

Trilha foi realizada a partir do nível de segurança de 15 cm informado pelos gestores do Parque.

Como já citado anteriormente, a análise dos dados de nível do arroio Perdizes foi fundamental para todas as seguintes etapas do desenvolvimento do presente trabalho, uma vez que esses foram uma parte dos dados utilizados para a geração dos modelos estatísticos criados.

A Tabela 6 apresenta um resumo quantitativo do processamento e das análises dos dados dos 5 anos de registros de nível para o arroio Perdizes, trazendo valores anuais e médios referente aos dias em que ocorreu o monitoramento e ao consequente número de fechamentos que, a partir do estabelecimento do nível de segurança acima citado, estima-se retroativamente que tenham ocorrido.

Através da análise dos percentuais de dias monitorados (relação entre o número dias com registros de nível e o número de dias totais do ano, sendo 2012 e 2016 anos bissextos), é possível observar que todos os anos monitorados apresentam séries de dados com boa representatividade dentro do respectivo ano, apresentando um baixo percentual de dias sem monitoramento. O pior caso é o do ano de 2012, que apresentou um percentual de dias monitorados de 77%, quase que 10% abaixo do valor médio dos cinco anos de dados.

Tabela 6 - Tabela resumo dos anos de registro de níveis para o arroio Perdizes.

Ano	Nº de Dias Monitorados	Percentual de Dias Monitorados no Ano	Nº de Fechamentos	Percentual de Dias Monitorados com Fechamentos
2012	283	77,32%	18	6,36%
2013	327	89,59%	49	14,98%
2014	319	87,40%	72	22,57%
2015	361	98,90%	114	31,58%
2016	301	82,24%	51	16,94%
Médias	318	87,09%	61	18,49%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de monitoramento do PNAS

Em relação ao número de eventos de fechamento, obteve-se, inicialmente, que o ano de 2012 apresenta um valor total de números de fechamentos bem abaixo da média dos outros anos. Supõe-se que essa diferença entre o número de ocorrências esteja diretamente ligada ao menor percentual de número de dias monitorados nesse ano.

Ainda nesse sentido, obteve-se, para o número de dias monitorados em que ocorreram fechamentos, um valor médio próximo a 18,5%, o qual representa

aproximadamente 60 dias no ano com fechamentos da Trilha. Ou seja, os resultados mostram que mais de 60 dias por ano o nível fluviométrico do arroio Perdizes ultrapassa o seu limite de segurança, ocasionando assim situações de risco.

Esse resultado de números de dias de ultrapassagem do valor de segurança do nível, somado à realidade da alta taxa de utilização da Trilha do rio do Boi por diversos turistas durante o ano, reforça, em dados estatísticos, a importância do desenvolvimento do presente estudo, e a consequente importância do desenvolvimento de um sistema confiável e sólido de monitoramento, previsão e alerta de cheias e de fechamentos para a região.

Além disso, durante a execução do presente trabalho, os gestores e funcionários do Parque relataram ter a impressão de que no período entre janeiro e março ocorrem, tradicionalmente, mais eventos de fechamento da Trilha. A partir dessas informações, o presente trabalho também buscou analisar a possível existência de alguma tendência de maior concentração de eventos de fechamento em algum período específico dos anos, a partir de análises temporais das distribuições dos eventos de fechamento do Trilha entre 2012 e 2016.

Os gráficos mostrados da Figura 42 à Figura 46 são os resultados das distribuições temporais dos níveis fluviométricos para o arroio Perdizes, estando divididos entre valores acima (pontos laranja) e valores abaixo (pontos azuis) do nível de segurança estipulado. A linha vermelha presente nos gráficos representa esse limiar de segurança.

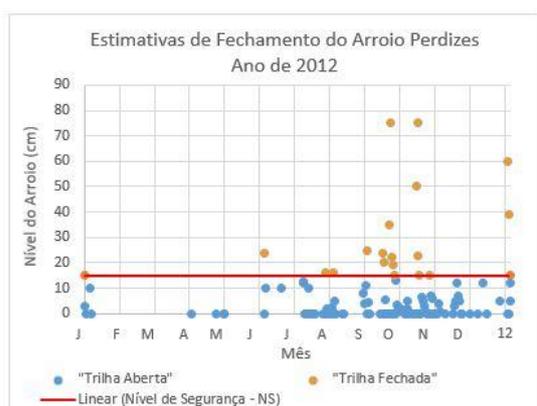


Figura 42 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2012.

Fonte: Elaboração Própria

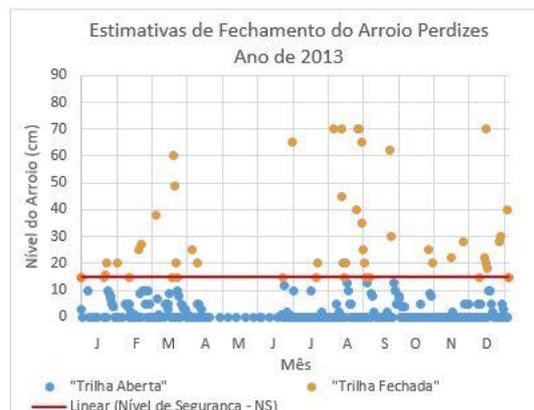


Figura 43 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2013.

Fonte: Elaboração Própria

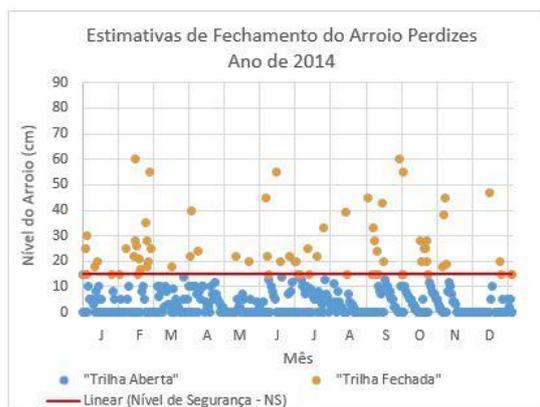


Figura 44 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2014.

Fonte: Elaboração Própria

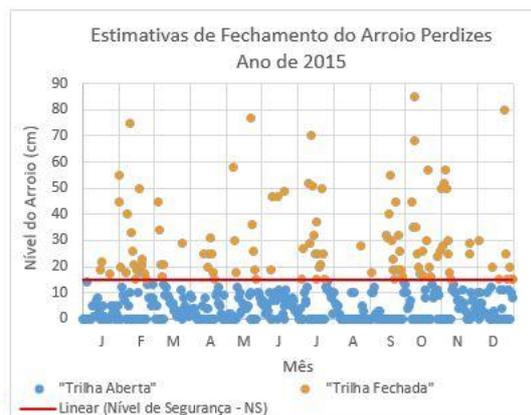


Figura 45 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2015.

Fonte: Elaboração Própria



Figura 46 - Gráfico de Estimativas de Fechamento da Trilha do Rio do Boi em 2016.

Fonte: Elaboração Própria

Através de uma análise visual prévia dos gráficos, não foi encontrada nenhuma tendência muito expressiva de maior concentração de eventos de fechamento da Trilha para nenhum período específico do ano, fato que também pode ser comprovado através da análise dos gráficos mensais de ocorrência de fechamentos, os quais se encontram ao final do trabalho, no Apêndice A – Gráficos de Barras dos Fechamentos da Trilha. Posteriormente, foi realizada uma análise estatística desses dados, na qual quantificou-se o número de ocorrências em cada trimestre dos anos, afim de buscar a existência da possível tendência relatada pelos gestores.

Os dados apresentados na Tabela 7 mostram, entretanto, que essa possível maior incidência de fechamentos da Trilha do rio do Boi nos primeiros meses do ano não existe de maneira tão forte quanto o relatado. Dos cinco anos analisados, apenas dois (2014 e 2016) apresentaram maior quantidade de eventos de fechamento no primeiro semestre do

ano. Além disso, apenas o ano de 2016 apresentou realmente uma grande concentração de eventos, uma vez que as diferenças percentuais de ocorrências entre o primeiro e o terceiro trimestres de 2014 foi de apenas 3%.

Em relação à tabela, as seguintes abreviações e nomenclaturas foram utilizadas, para melhor entendimento e visualização da mesma:

- NTE: Número total de eventos de fechamento para o ano;
- NE: Número de eventos de fechamento para o trimestre analisado;
- PO: Percentual de ocorrência dos eventos de fechamento para o trimestre analisado, em relação ao total de eventos para o ano em questão (NTE); e
- TMO: Trimestre de maior ocorrência de eventos de fechamento, dentro do ano analisado.

Tabela 7 - Tabela Resumo da Distribuição Temporal de Eventos de Fechamento da Trilha.

Ano	NTE	1º Trimestre		2º Trimestre		3º Trimestre		4º Trimestre		TMO
		NE	PO	NE	PO	NE	PO	NE	PO	
2012	18	0	0,00%	1	5,56%	10	55,56%	7	38,89%	3º
2013	49	13	26,53%	4	8,16%	19	38,78%	13	26,53%	3º
2014	72	24	33,33%	12	16,67%	22	30,56%	14	19,44%	1º
2051	114	28	24,56%	19	16,67%	32	28,07%	35	30,70%	4º
2016	51	26	50,98%	8	15,69%	7	13,73%	10	19,61%	1º

Fonte: Elaboração Própria

A partir desses resultados, é possível que o que foi relatado pelos gestores não está ligado à hipótese de a elevação do nível do arroio Perdizes ser mais frequente nos primeiros meses do ano, e sim à distribuição anual de turistas.

O primeiro trimestre do ano é um dos períodos mais quente do ano, e também é o período de férias escolares e de muitos profissionais, o que acaba resultando em um número muito maior de turistas visitando o Parque Nacional de Aparados da Serra e, conseqüentemente, também gerando um aumento considerável da presença de turistas na Trilha do rio do Boi.

A partir disso, apresenta-se uma possível teoria de que, com o maior número de visitantes no Parque nesses meses, existiu uma maior preocupação dos gestores em relação à segurança dos mesmos, o que pode ter feito com que em algumas ocasiões se tenha fechado a Trilha quando o nível do arroio Perdizes marcava algum valor próximo

dos 15 cm, mas abaixo deles. Nesse caso, tais eventos de fechamento não teriam sido considerados nas análises desenvolvidas no presente trabalho, já que só foram considerados eventos que ultrapassaram esse limiar. Entretanto, a ausência dos registros de *status* da Trilha impede a comprovação dessa teoria, bem como qualquer análise mais profunda dos eventos de fechamento.

Uma outra possibilidade é que essa impressão dos funcionários do PNAS de uma maior concentração de eventos de fechamento seja realmente apenas uma impressão, talvez gerada a partir da maior presença de turistas e o consequente maior questionamento sobre o *status* de abertura da Trilha do rio do Boi nesses períodos.

Considera-se, por fim, de extrema importância ressaltar o fato de que os dados de nível das séries fornecidas pelo Parque são relativos a medições padrão realizadas por eles, que sempre ocorreram às 08h, o que faz com que todos os resultados aqui apresentados estejam submetidos a essa circunstância limitadora.

Não há como se saber por exemplo, se nos dias que os níveis registrados estavam abaixo do nível de segurança nesse horário não houveram elevações de nível em outros momentos do dia e que resultaram em outros episódios de fechamento. Além disso, também não há como se saber quais foram os níveis fluviométricos máximos atingidos na série temporal.

Apesar de não existirem, essas informações são de extrema importância para o entendimento das inter-relações existentes no local e para o desenvolvimento de modelos de previsão e alerta eficazes e representativos. Essas questões aqui brevemente levantadas serão novamente levantadas e debatidas ao longo deste capítulo, a partir de outros resultados obtidos, e posteriormente também no subcapítulo *6.1. Principais Contribuições do Trabalho*.

5.2. MEDIÇÕES DE VAZÃO

O presente trabalho contou com quatro medições de vazão por ADCP, também viabilizadas a partir da parceria com o GPDEN, as quais foram realizadas em campanhas de campo nos dias 01 e 11 de novembro, e 13 e 22 de dezembro. Em todas as campanhas foram realizadas um mínimo de 4 travessias com o aparelho, para que se garantisse a representatividade dos dados medidos, conforme aconselhado por Gamaro (2012).

A Tabela 8 apresenta um compilado dos principais dados resultantes das campanhas de medição realizadas. Os relatórios completos das medições, os quais apresentam todos os dados medidos e processados, e que são gerados pelo próprio *software* de obtenção e pós-processamento de dados - o *River Surveyor Live* -, são apresentados em sua íntegra no Anexo A – *Relatórios das Medições de Vazão Realizadas com ADCP – Software River Surveyor Live*. A Tabela 9, por sua vez, apresenta os valores médios de vazão obtidos em cada campanha de medição, juntamente com os respectivos níveis fluviométricos medidos

Tabela 8 - Dados Campanhas de Medição de Vazão com ADCP.

Campanha	Travessia	Trajeto (m)	Vazão Meio (m ³ /s)	Vazão Total (m ³ /s)	% Medido
I	1	16,88	0,37	0,528	70,10
	2	17,36	0,37	0,539	68,90
	3	19,30	0,33	0,454	70,90
	Média	17,85	0,36	0,507	70,00
	CV	0,059	0,060	0,074	0,012
II	1	15,57	0,57	0,655	86,50
	2	14,78	0,65	0,718	86,80
	3	15,43	0,63	0,672	84,40
	Média	15,26	0,61	0,681	85,90
	CV	0,022	0,057	0,039	0,012
III	1	14,96	0,63	0,930	97,50
	2	15,43	0,62	0,885	69,80
	3	15,43	0,63	0,904	69,90
	4	14,62	0,66	0,933	70,30
	5	14,85	0,61	0,887	69,10
	6	15,50	0,67	0,963	69,20
	Média	0,34	0,64	0,917	69,30
	CV	0,022	0,030	0,030	0,013
IV	1	13,96	0,50	0,719	69,70
	2	14,08	0,46	0,635	70,80
	3	15,02	0,49	0,695	71,00
	4	15,57	0,48	0,675	71,50
	5	13,53	0,47	0,667	70,90
	Média	14,43	0,48	0,678	70,80
	CV	0,052	0,33	0,041	0,008

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 9: Dados de Vazão e de Nível do Arroio Perdizes para Proposição de Curva-Chave.

Campanha	Vazão Total Média (m ³ /s)	Nível (m)
I	0,507	0,40
II	0,681	0,43
III	0,917	0,53
IV	0,678	0,40

Fonte: Elaboração Própria

A partir dos valores da Tabela 9, obtidos a partir das quatro campanhas de medição realizadas ao longo deste trabalho, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 47, o qual apresenta a correlação inicial entre os níveis no Perdizes e as suas respectivas vazões.

Já de início, pode-se observar que a quantidade de dados não é suficientemente grande para a correta elaboração de uma curva-chave representativa para o arroio Perdizes. Além disso, como pode se verificar no gráfico apresentado, as vazões medidas são de valores muito próximos entre si, uma vez que não foi possível se realizar medições de eventos extremos (tanto seca quanto cheia), dados esses que são essenciais para o desenvolvimento de uma curva-chave representativa (TUCCI, 2007).

Entretanto, considera-se de grande importância os quatro valores de vazão e níveis obtidos nas campanhas de medição, uma vez que eles representam os primeiros passos para um futuro desenvolvimento de curva-chave característica para o arroio Perdizes.

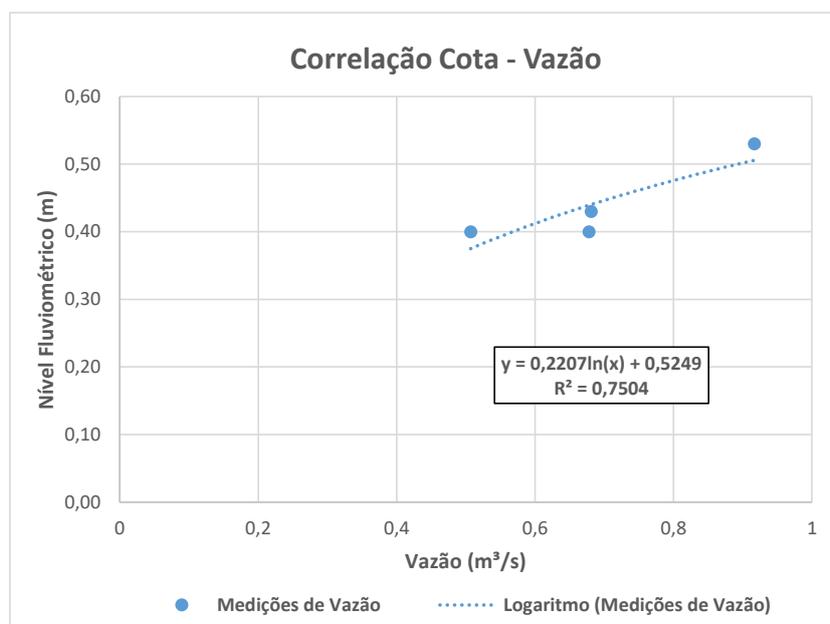


Figura 47 - Gráfico Cota-Vazão das Medições Realizadas no Arroio Perdizes.

Fonte: Elaboração Própria

5.3. MODELOS DE PREVISÃO E ALERTA

5.3.1. Precipitação-Nível

O desenvolvimento do presente trabalho resultou na elaboração de 18 modelos estatísticos que relacionam nível fluviométrico e precipitação. A Tabela 10, apresenta na sequência, traz um resumo das informações referentes a cada um desses modelos gerados, apresentando os seus respectivos códigos de identificação, dados de entrada, equações de reta, coeficientes de correlação (R^2), e valores de POD e POFD obtidos. Complementar a ela, os gráficos das correlações dos modelos gerados são apresentados na sequência, iniciando com a Figura 48, na página 100, e finalizando com a Figura 65, na página 104.

Uma das principais metas estipuladas era que os modelos finais gerados fossem os mais simples, replicáveis e principalmente aplicáveis possíveis, inclusive por parte dos funcionários e dos gestores do Parque Nacional de Aparados da Serra.

Sobre isso, é possível constatar que todos os modelos gerados são representados por equações de retas lineares, ou seja, por correlações diretas simples. Essa não foi, entretanto, uma limitação delimitada durante a concepção dos modelos a serem gerados, mas sim uma pequena coincidência ocorrida ao longo do processamento dos dados e dos modelos.

Outras configurações de equações matemáticas foram também testadas durante a tomada de decisão de qual tipo de reta se utilizar, como, por exemplo, equações logarítmicas e polinomiais de ordem 2 e 3. Entretanto, coincidentemente, as equações lineares foram as que apresentaram os melhores resultados, e, por isso, são as aqui apresentadas.

A partir dos valores obtidos de POD e POFD dos modelos, foram gerados os diagramas ROC resultantes. A Figura 66 e a Figura 67 (página 105) apresentam, respectivamente, os diagramas referentes aos resultados dos modelos que utilizaram dados de nível do arroio Perdizes e do rio do Boi.

Tabela 10 - Tabela resumo dos modelos matemáticos gerados.

	Variáveis do Modelo			Código do Modelo	Equação da Reta	R ²	POD (Validação)	POFD (Validação)
	Estação Pluviométrica	Turno de Medição	Composição Pluviométrica					
Arroio Perdizes	Praia Grande	Manhã	Dia	MOD 1	$y = 0,6705x + 3,4870$	0,4621	0,4452	0,1569
		Manhã	Acumulada 2 dias	MOD 2	$y = 0,4424x + 2,5666$	0,4796	0,4645	0,2845
		Manhã	Acumulada 3 dias	MOD 3	$y = 0,1479x + 2,5679$	0,2927	0,4258	0,2645
		Tarde	Dia	MOD 4	$y = 0,5491x + 3,5895$	0,2836	0,3835	0,1961
		Tarde	Acumulada 2 dias	MOD 5	$y = 0,3502x + 2,9411$	0,2752	0,3910	0,2358
		Tarde	Acumulada 3 dias	MOD 6	$y = 0,1204x + 2,8533$	0,1778	0,3684	0,2222
	Mãe dos Homens	Manhã	Dia	MOD 7	$y = 0,7167x + 3,2580$	0,4870	0,4129	0,1574
		Manhã	Acumulada 2 dias	MOD 8	$y = 0,4024x + 2,5086$	0,3427	0,4129	0,2087
		Manhã	Acumulada 3 dias	MOD 9	$y = 0,139x + 2,3906$	0,2284	0,4000	0,2119
		Tarde	Dia	MOD 10	$y = 0,6321x + 3,1896$	0,3458	0,4135	0,2041
		Tarde	Acumulada 2 dias	MOD 11	$y = 0,4675x + 2,3784$	0,5051	0,4962	0,3558
		Tarde	Acumulada 3 dias	MOD 12	$y = 0,1605x + 2,2659$	0,3327	0,4737	0,3966
Rio do Boi	Praia Grande	Manhã	Dia	MOD 13	$y = 0,9151x + 10,362$	0,3849	0,5313	0,3478
		Manhã	Acumulada 2 dias	MOD 14	$y = 0,6129x + 8,0466$	0,4323	0,6875	0,4595
		Manhã	Acumulada 3 dias	MOD 15	$y = 0,4572x + 6,9365$	0,4024	0,8438	0,8000
	Mãe dos Homens	Manhã	Dia	MOD 16	$y = 0,8529x + 10,613$	0,4000	0,5000	0,3962
		Manhã	Acumulada 2 dias	MOD 17	$y = 0,6097x + 7,7894$	0,5104	0,6406	0,4651
		Manhã	Acumulada 3 dias	MOD 18	$y = 0,4781x + 6,1043$	0,5109	0,8438	0,8361

Fonte: Elaboração Própria

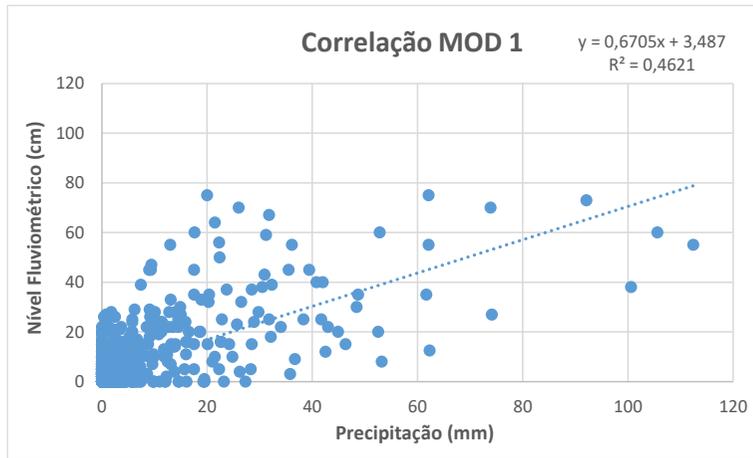


Figura 48 - Gráfico de Correlação MOD 1.

Fonte: Elaboração Própria

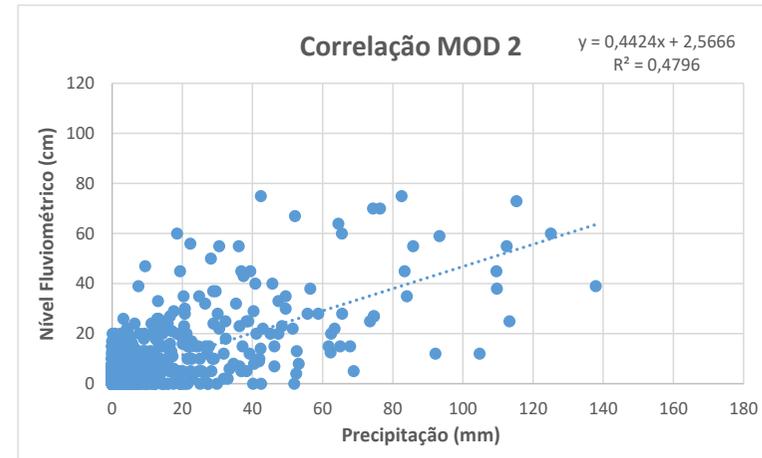


Figura 49 - Gráfico de Correlação MOD 2.

Fonte: Elaboração Própria

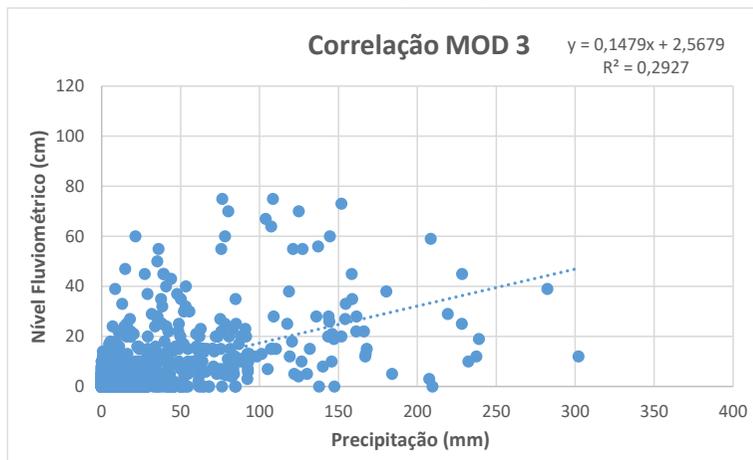


Figura 50 - Gráfico de correlação MOD 3.

Fonte: Elaboração Própria

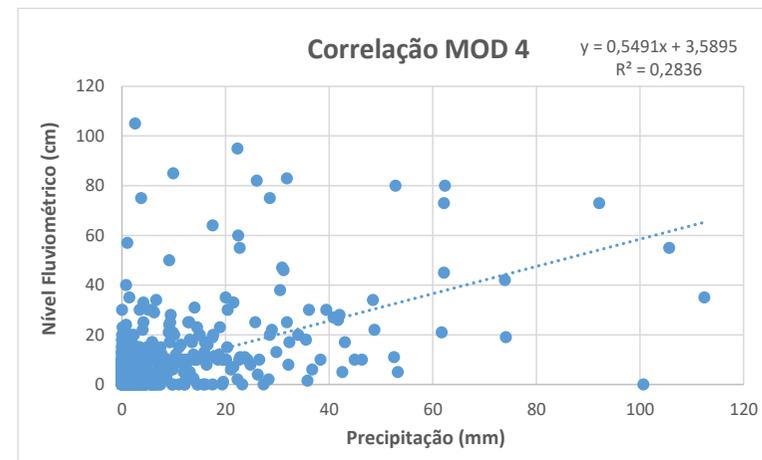


Figura 51 - Gráfico de Correlação MOD 4.

Fonte: Elaboração Própria

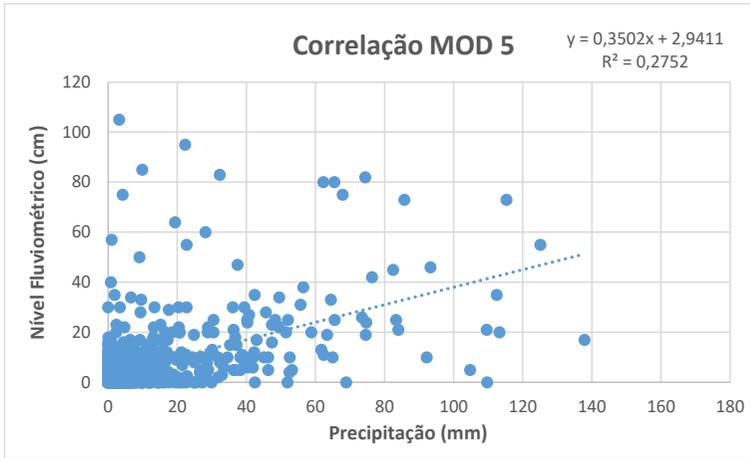


Figura 52 - Gráfico de Correlação MOD 5.

Fonte: Elaboração Própria

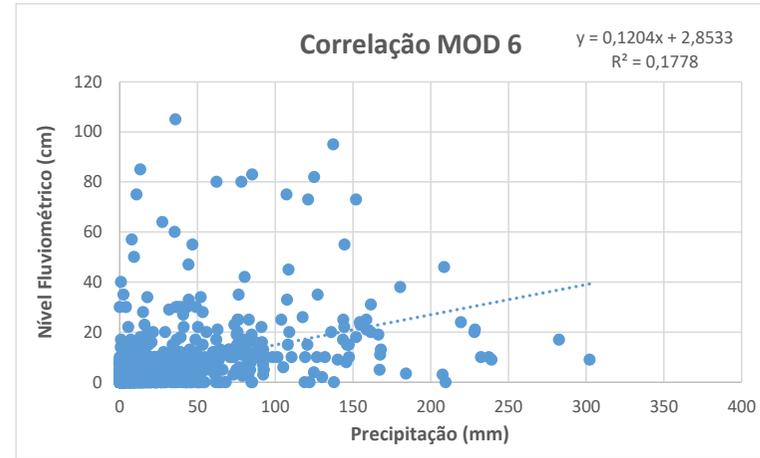


Figura 53 - Gráfico de Correlação MOD 6.

Fonte: Elaboração Própria

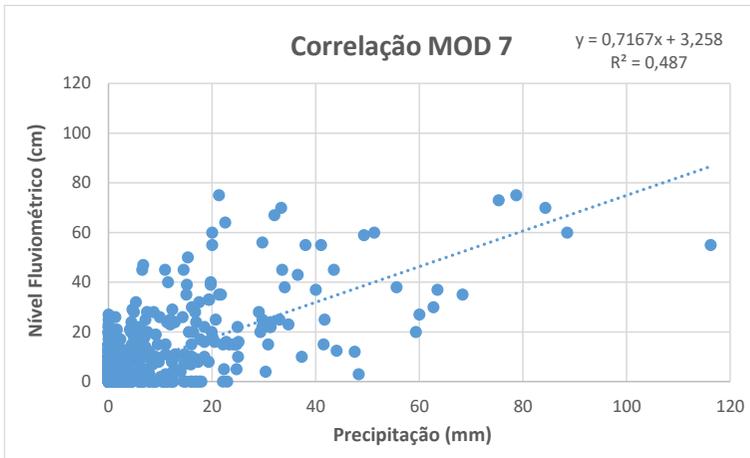


Figura 54 - Gráfico de Correlação MOD 7.

Fonte: Elaboração Própria

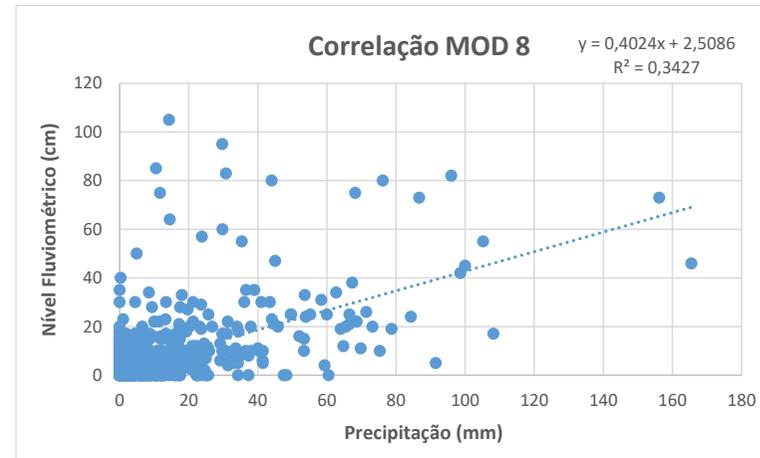


Figura 55 - Gráfico de Correlação MOD 8.

Fonte: Elaboração Própria

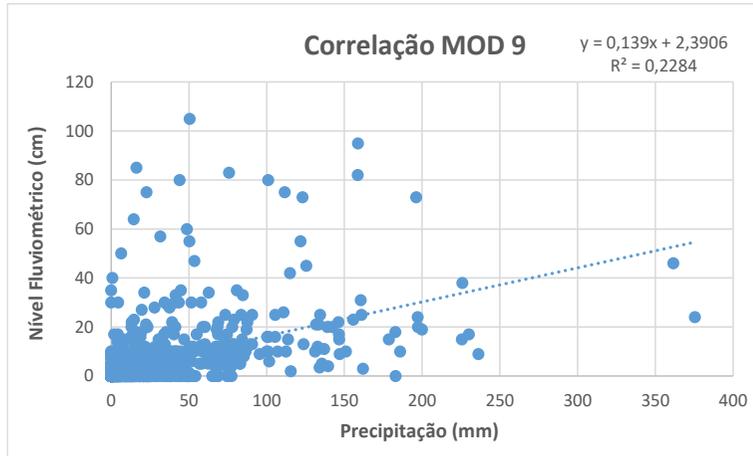


Figura 56 - Gráfico de Correlação MOD 9.

Fonte: Elaboração Própria

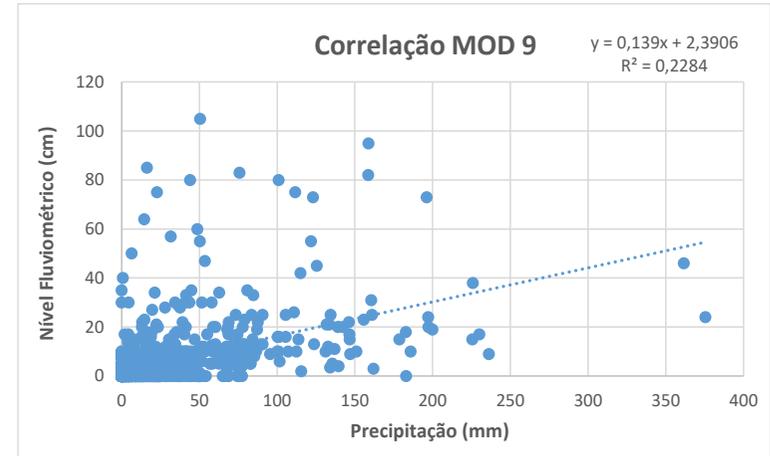


Figura 57 - Gráfico de Correlação MOD 10.

Fonte: Elaboração Própria

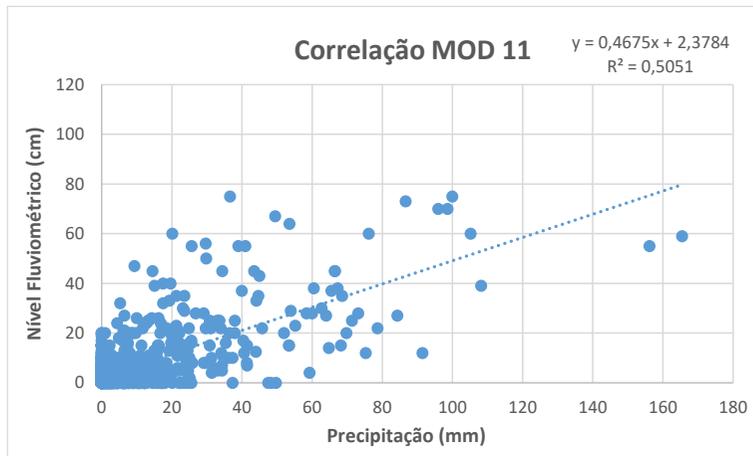


Figura 58 - Gráfico de Correlação MOD 11.

Fonte: Elaboração Própria

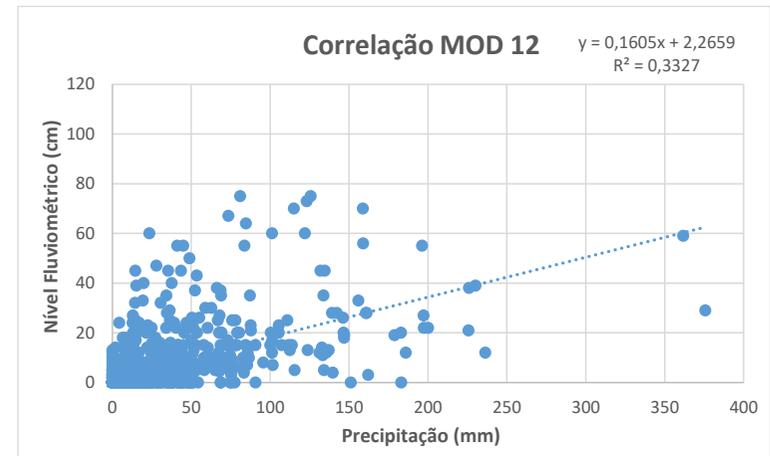


Figura 59 - Gráfico de Correlação MOD 12.

Fonte: Elaboração Própria

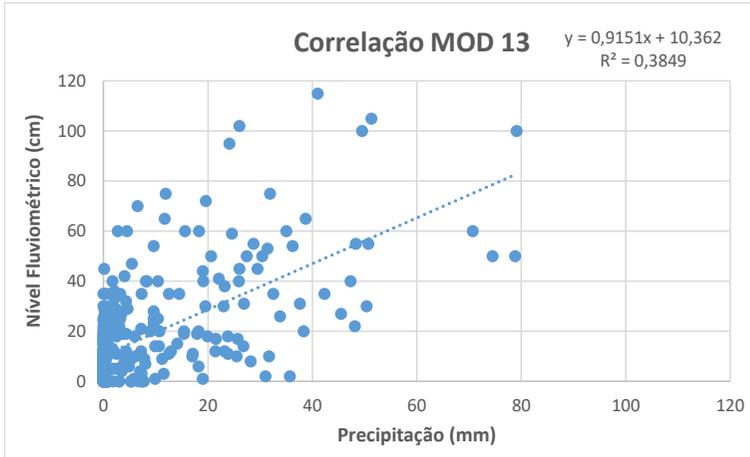


Figura 60 - Gráfico de Correlação MOD 13.

Fonte: Elaboração Própria

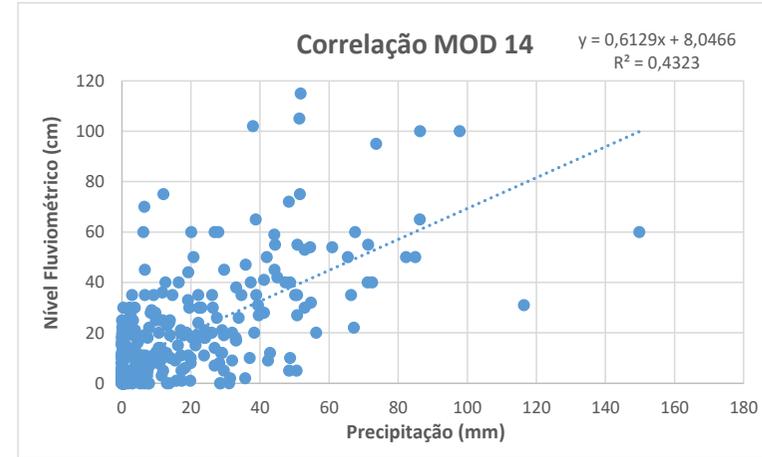


Figura 61 - Gráfico de Correlação MOD 14.

Fonte: Elaboração Própria

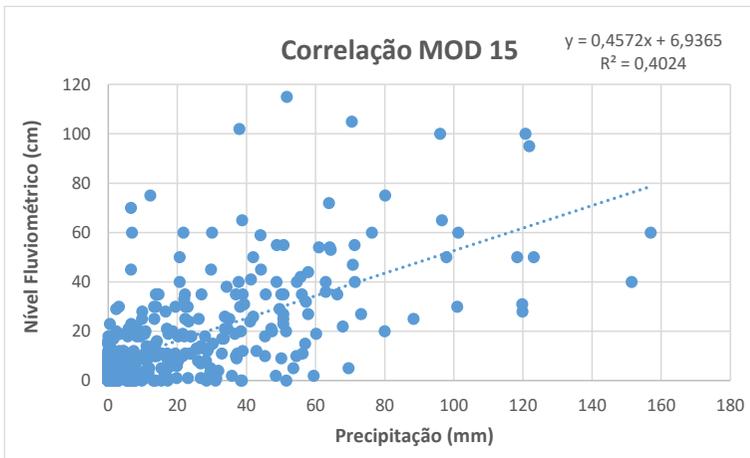


Figura 62 - Gráfico de Correlação MOD 15.

Fonte: Elaboração Própria

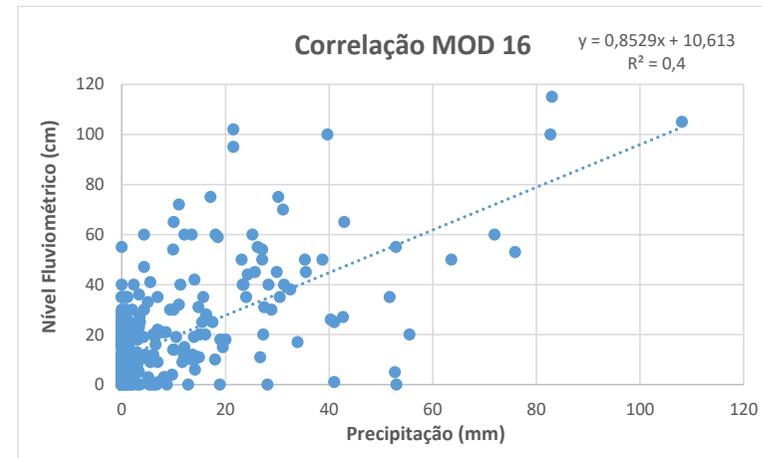


Figura 63 - Gráfico de Correlação MOD 16.

Fonte: Elaboração Própria

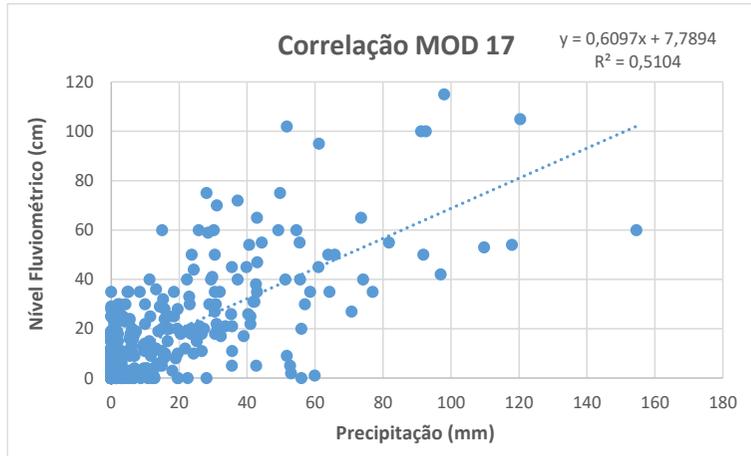


Figura 64 - Gráfico de Correlação MOD 17.

Fonte: Elaboração Própria

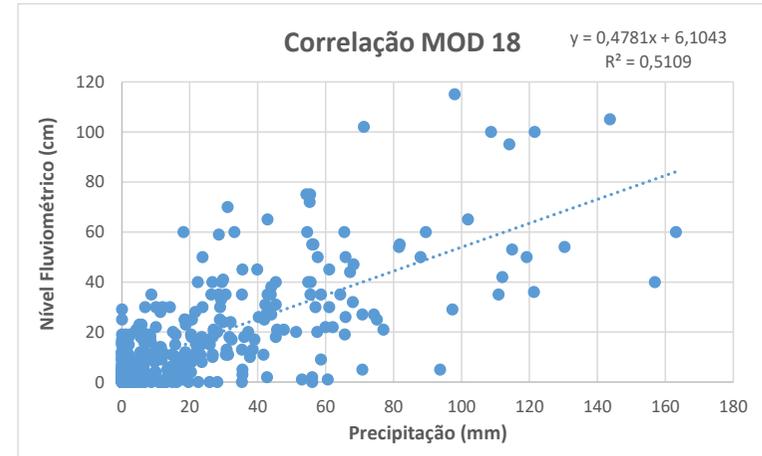


Figura 65 - Gráfico de Correlação MOD 18.

Fonte: Elaboração Própria

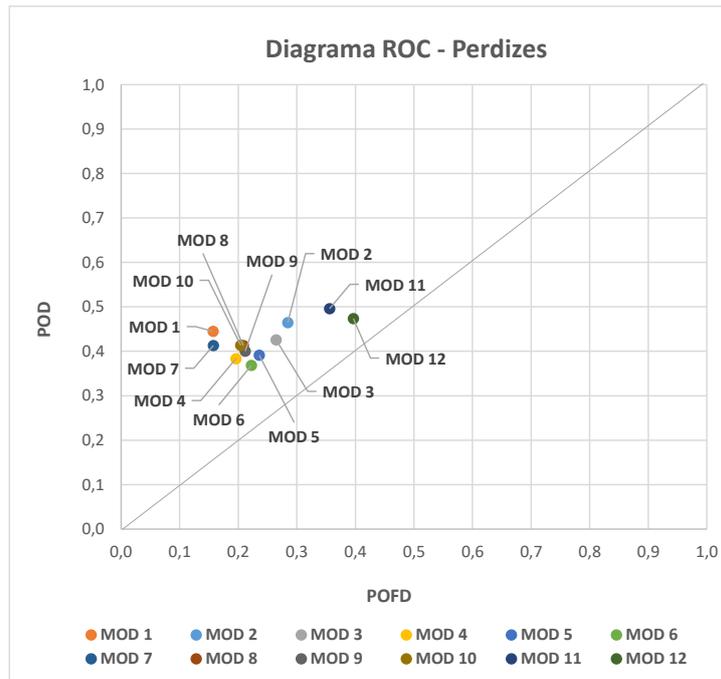


Figura 66 - Diagrama ROC resultante dos modelos para o arroio Perdizes.
Fonte: Elaboração própria.

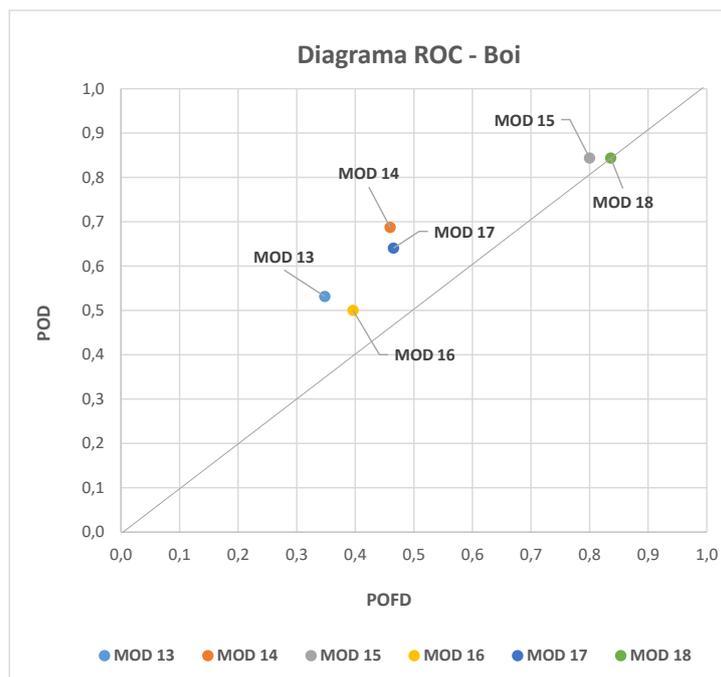


Figura 67 - Diagrama ROC resultante dos modelos para o rio do Boi.
Fonte: Elaboração própria.

Como é possível observar nos diagramas ROC, apresentados acima, e nos dados da Tabela 10, os modelos MOD 15 e MOD 18, gerados com os dados de nível do rio do Boi, apresentaram os maiores valores de POD dentre todos os modelos criados, chegando próximos de 0,85, valor considerado muito bom para a correta detecção de um modelo.

Entretanto, esses mesmos modelos apresentaram, ao mesmo tempo, valores de POFD na mesma faixa, o que fez com que fosse automaticamente considerados péssimos modelos, uma vez que retornam falsos alertas com uma frequência muito alta.

Os outros modelos gerados a partir dos dados do rio do Boi apresentaram valores mais medianos, tanto de POD (0,5 a 0,7), quanto de POFD (0,35 a 0,45). Apesar dos valores mais baixos de POFD, esses modelos também foram considerados ruins e descartados, uma vez que uma probabilidade de falsa detecção nessa faixa é muito alta quando se trata da detecção de ondas de cheia para um sistema que gere alerta de fechamento e possivelmente de retirada de turistas de dentro de uma trilha como a do rio do Boi.

Os modelos gerados a partir dos dados de nível do arroio Perdizes, por sua vez, apresentaram valores de POD mais baixos do que os modelos do rio do Boi, o que a uma primeira análise poderia ser considerado ruim. Entretanto, os modelos MOD 1 e MOD 7 retornaram valores muito bons de POFD, de aproximadamente 0,15 o que fez com que fossem considerados os melhores modelos gerados.

Para a escolha do melhor modelo gerado, foram comparados os valores de POD e de POFD dos dois modelos: para o POFD, ambos apresentam valores praticamente idênticos; para POD, o primeiro modelo retornou um valor levemente superior. Dessa forma, julgou-se que o melhor modelo criado foi o modelo MOD 1.

Em relação ao MOD 1 e ao MOD 7, os melhores modelos gerados para os dados do arroio Perdizes, julga-se importante destacar dois fatos que corroboram algumas das observações e conclusões apresentadas durante todo o presente trabalho.

Primeiramente, os modelos utilizaram dados de estações meteorológicas distintas, sendo o MOD 1 referente aos dados da estação “Praia Grande” e o MOD 7 referente aos dados da estação “Mãe dos Homens. Isso, atrelado ao fato de que ambos os modelos retornaram valores muito próximos entre si, pode ser visto como uma comprovação prática da hipótese proposta no subcapítulo 4.6.1. *Estações Pluviométricas Hidroweb*, de que ambas as estações pluviométricas poderiam ser satisfatoriamente utilizadas no desenvolvimento dos modelos, apesar da relativa distância entre elas.

A segunda constatação importante é em relação ao tipo de dado de precipitação utilizado nos dois modelos. Ambos utilizaram dados de precipitação acumulada de 24 horas, a menor resolução temporal disponível para rodar os modelos. Os modelos que utilizaram dados acumulados de 48 horas e de 72 horas apresentaram valores de POFD

muito mais elevados, chegando a dobrar de valor, em relação aos valores retornados pelos modelos de 24 horas.

Esses resultados vão ao encontro do que é discutido no próximo subcapítulo, através da análise prévia dos dados gerados pelos equipamentos de monitoramento instalados em campo: a rápida taxa de resposta do nível do arroio Perdizes em relação a eventos de precipitação que ocorrem na região.

Relacionado a isso, esses resultados dos melhores modelos também servem como argumentos para a discussão levantada sobre a representatividade de dados diários em sistemas de monitoramento, alerta e previsão, principalmente em bacias de resposta rápida.

Sabe-se que os valores finais de POD e POFD encontrados, mesmo para os modelos MOD 1 e MOD 7, não são valores ótimos para aplicabilidade real dos modelos, uma vez que os valores esperados de probabilidade de detecção e de probabilidade de falsa detecção para um modelo perfeito são iguais a um e zero, respectivamente, e que valores ótimos de encontram próximos desses extremos (FAN *et al.* 2016b; FAN, 2015).

Apesar disso, considera-se que os baixos valores encontrados para as métricas ocorrem, em boa parte, por causa da baixa resolução temporal dos dados de nível e precipitação disponíveis, que, sendo diários, não são dados realmente representativos dos eventos meteorológicos e das respostas hidrológicas do local.

Dessa forma, acredita-se que, uma vez que se tenha dados com maiores resoluções temporais, que permitam tanto o registro e a caracterização correta desses eventos quanto a completa discretização das respectivas reações hidrológicas, e que se utilize esses dados como dados de entrada para nova a calibração desses modelos, valores de POD e de POFD muito mais próximos das faixas ótimas podem ser encontrados.

5.3.2. Previsão Meteorológica

Uma vez tendo sido constatado que o MOD 1, modelo que foi gerado a partir da correlação dos dados de precipitação de 24h medidos na estação “Praia Grande” com os dados de nível fluviométrico do período da manhã no arroio Perdizes, foi o melhor modelo matemático desenvolvido, as séries de dados de previsão meteorológica geradas foram então utilizadas como dados de entrada no MOD 1, justamente afim de testar a sua aplicabilidade e sua resposta de previsão de nível fluviométrico a dados de previsão de chuva.

Conforme já descrito anteriormente no subcapítulo 4.8.2. *Previsão Meteorológica*, a análise dos dados de saída do modelo se deu a partir da comparação com os dados de registro de nível fluviométrico do Parque, e a consequente análise dos coeficientes de probabilidade de detecção (POD) e probabilidade de falsa detecção (POFD) dos dados de cada uma das séries.

Ressalta-se que os dados de previsão utilizados foram de chuvas acumuladas das últimas 24h, uma vez que o MOD1 foi desenvolvido com dados de precipitações acumuladas 24h. Dessa forma, por exemplo, para a antecedência de 96h foram acumulados apenas os dados de chuva entre 72h e 96h.

Os resultados obtidos para esses índices são apresentados na Tabela 11, e os diagramas ROC resultantes para a estação “Mãe dos Homens”, “Praia Grande” e “PNAS1” são apresentados na sequência, respectivamente pela Figura 68, Figura 69 e Figura 70.

Tabela 11 - Tabela Resumo das Modelagens com os Dados de Previsão Meteorológica.

Estação	Código Dia	Antecedência (h)	Código Modelo	Modelo de Entrada	POD	POFD
Mãe dos Homens	D0	24	MH24h	MOD 1	0,3621	0,2745
	D1	48	MH48h		0,4828	0,3023
	D2	72	MH72h		0,4035	0,3929
	D3	96	MH96h		0,3448	0,3333
	D4	120	MH120h		0,2881	0,3636
	D5	144	MH144h		0,2712	0,3768
	D6	168	MH168h		0,1525	0,2857
Praia Grande	D0	24	PG24h		0,3793	0,3455
	D1	48	PG48h		0,5345	0,4000
	D2	72	PG72h		0,4386	0,3962
	D3	96	PG96h		0,3860	0,3750
	D4	120	PG120h		0,3158	0,4429
	D5	144	PG144h		0,2712	0,4342
	D6	168	PG168h		0,1864	0,3425
PNAS1	D0	24	PNAS24h		0,3448	0,2692
	D1	48	PNAS48h		0,4655	0,3111
	D2	72	PNAS72h		0,3684	0,3077
	D3	96	PNAS96h		0,4737	0,5946
	D4	120	PNAS120h		0,2982	0,3846
	D5	144	PNAS144h		0,2807	0,3971
	D6	168	PNAS168h		0,1053	0,2500

Fonte: Elaboração Própria

A partir da análise dos dados apresentados tanto na tabela quanto nos gráficos acima, chega-se a dois grandes resultados sobre o teste de utilização de dados de previsão meteorológica em modelos de previsão de nível.

O primeiro e mais visual deles é o fato de que todas as séries de dados de previsão acima de quatro dias de previsão, ou seja, acima de 96h, encontram-se abaixo da linha divisória representativa da reta $x = y$, que representa o desempenho teórico da climatologia. Esses resultados indicam, na prática, que previsões de precipitação a partir de quatro dias em avanço não são bons para utilização de previsão de nível fluviométrico.

Julga-se que essa não representatividade e aplicabilidade de mais de 96h de antecedência não sejam decorrentes do modelo desenvolvido e testado, mas sim das limitações do modelo Eta em realizar previsões de precipitação para maiores horizontes de previsão.

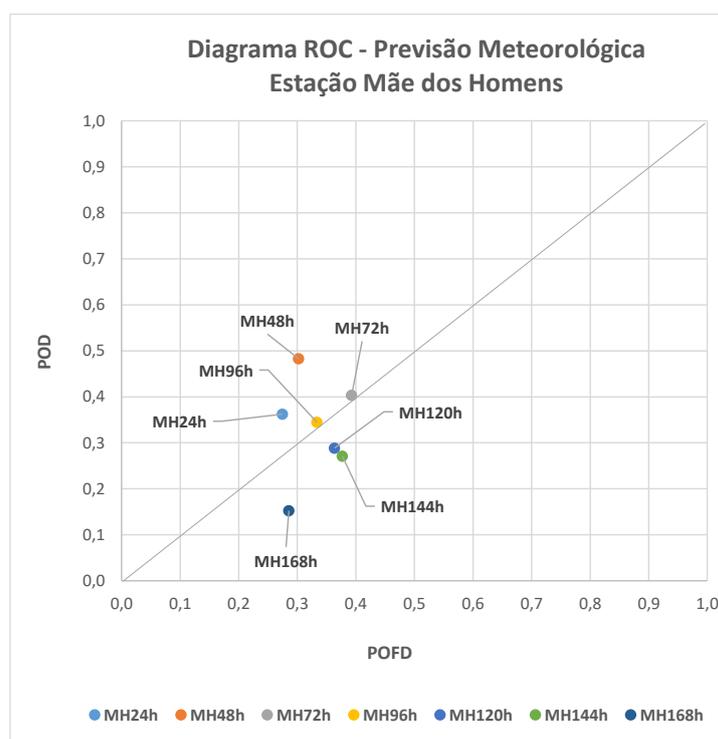


Figura 68 - Diagrama ROC para Dados de Previsão Meteorológica da Estação “Mãe dos Homens”.

Fonte: Elaboração Própria

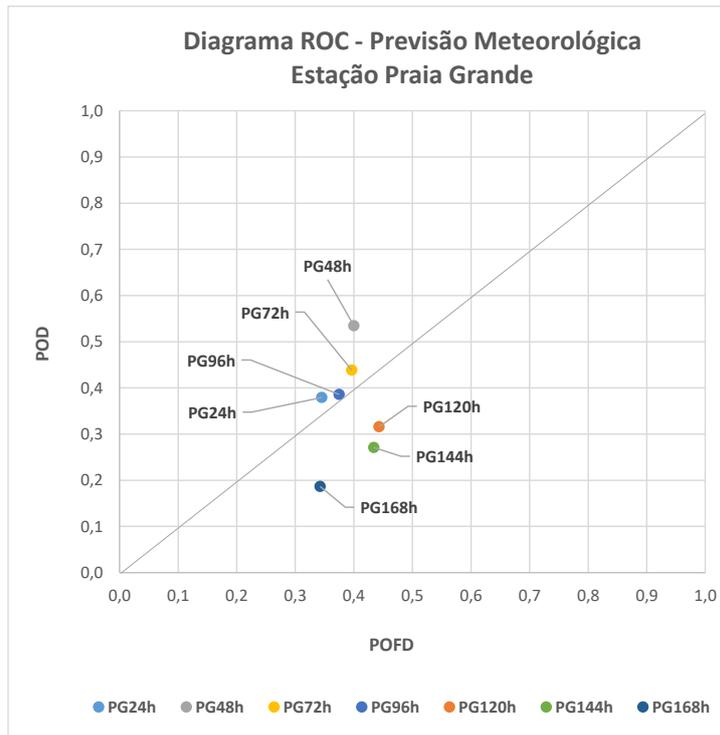


Figura 69 - Diagrama ROC para Dados de Previsão Meteorológica da Estação “Praia Grande”.

Fonte: Elaboração Própria

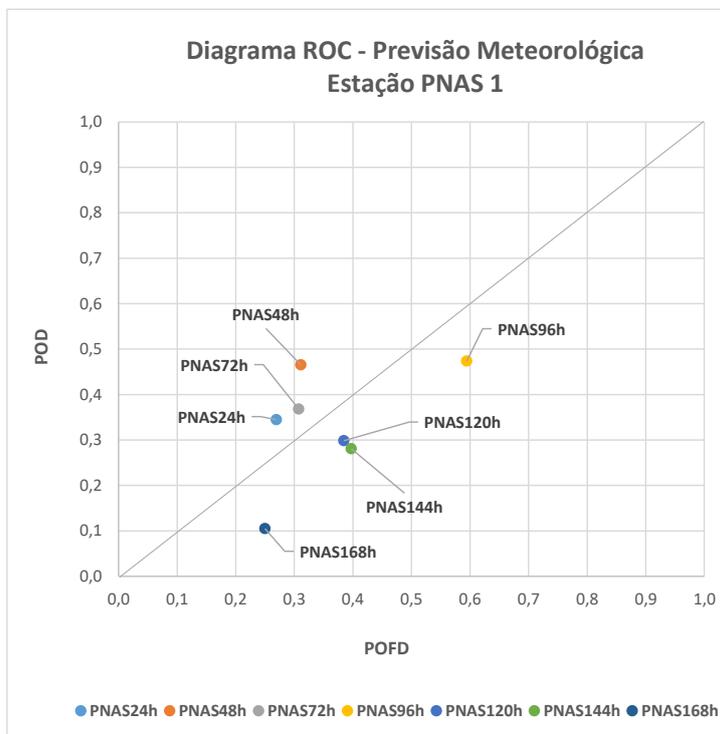


Figura 70 - Diagrama ROC para Dados de Previsão Meteorológica da Estação “PNAS1”.

Fonte: Elaboração Própria

O outro resultado a ser destacado é o fato de que o melhor desempenho constatado, para cada uma das séries de previsão referentes a cada estação, foi obtido com os dados de previsão de 48h de antecedência, representados pelos modelos de código “XX48h”. Esse resultado vai ao encontro do comportamento que era esperado, já que as previsões meteorológicas apresentam, normalmente, um aumento de taxa de acerto entre 24h e 48h, devido à inicialização (*spin-up time*) de algumas variáveis do modelo meteorológico. Após as 48h, o comportamento habitual das previsões meteorológicas é o apresentado pelas séries nos gráficos acima, o qual é caracterizado pela progressiva diminuição da taxa de acerto devido ao aumento da antecedência de previsão.

Na Figura 71 são plotados em um diagrama ROC os modelos que apresentaram os melhores resultados de conjunto dos índices individuais de probabilidade de detecção (POD) e probabilidade de falsa detecção (POFD). Observa-se que, em relação à POD, os modelos apresentam valores relativamente próximos entre si, todos próximos à faixa entre 0,45 e 0,55. Já em relação aos resultados de POFD, os modelos selecionados apresentaram uma variação bem maior, alternando-se em valores entre 0,15 e 0,40.

Como os modelos foram gerados com a perspectiva de auxiliar a tomada de decisão sobre o fechamento da Trilha do rio do Boi e, conseqüentemente, carregam uma relação direta com a segurança da vida de diversos turistas ao longo de todo o ano, julga-se extremamente relevante essa diferença entre os valores de POFD encontrados, fazendo com que o aumento desses valores faça não compensar o pequeno aumento das probabilidades de detecção nos respectivos casos.

Dessa forma, após a análise dos dados gerados por todos os modelos desenvolvidos, tanto os de precipitação-nível quanto os de nível-previsão meteorológica, conclui-se que o melhor modelo gerado continua sendo o MOD 1, mesmo com o *input* de modelos de previsão meteorológica.

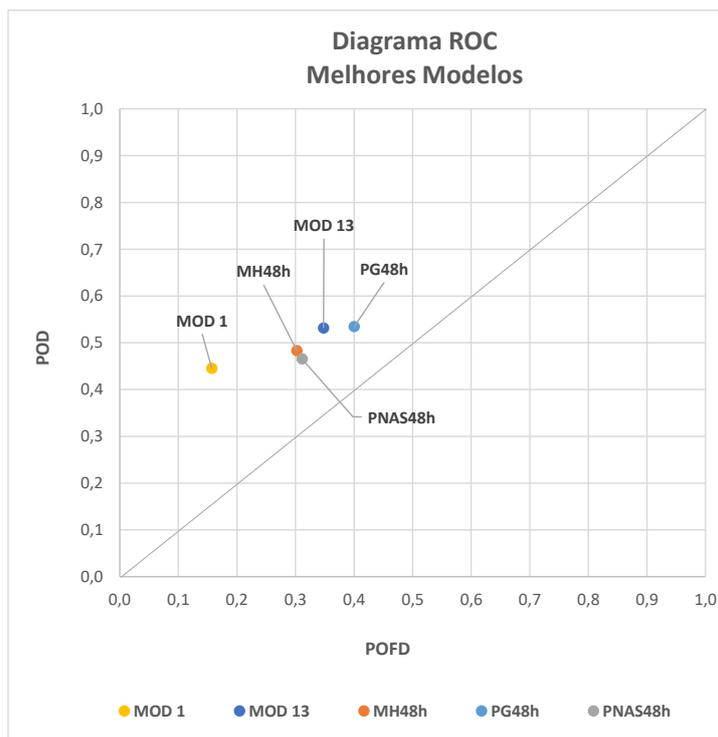


Figura 71 - Diagrama ROC dos Melhores Modelos Gerados.

Fonte: Elaboração Própria

Ainda, considera-se a discussão sobre a representatividade de dados diários e subdiários anteriormente trazida na apresentação dos resultados unicamente dos modelos de precipitação-nível muito pertinente também para os resultados obtidos pela inserção de dados de previsão meteorológica.

Acredita-se fortemente que, a partir da geração e da disponibilização de dados de nível e de precipitação com alta resolução temporal (horários ou até mesmo sub-horários, como já estão sendo gerados pelos equipamentos instalados), e da consequente nova calibração e validação dos modelos de precipitação-nível desenvolvidos, modelos matemáticos melhores possam ser obtidos, tanto de precipitação-nível quanto aos atrelados a dados de previsão meteorológica.

Os resultados prévios dos equipamentos de monitoramento instalados, apresentados no subcapítulo seguinte, embasam os resultados, as discussões e as conclusões acima apresentados.

5.4. RESULTADOS PRÉVIOS DO MONITORAMENTO AUTOMATIZADO

Outro produto do presente trabalho, é o correto funcionamento dos equipamentos de monitoramento instalados no Parque Nacional de Aparados da Serra, que pode ser comprovado a partir da obtenção e da análise de resultados condizentes e representativos dos eventos monitorados desde a instalação dos mesmos.

Nesse sentido, primeiramente são apresentados os três gráficos abaixo, os quais representam todos os resultados de precipitação e de nível fluviométrico no arroio Perdizes obtidos desde a instalação dos equipamentos de monitoramento. A Figura 72 apresenta os dados para o mês de outubro, a Figura 73 para o mês de novembro e, por fim, a Figura 74 para o mês de dezembro. Aqui, ainda são feitas as seguintes observações:

- No gráfico do mês de outubro, o eixo das abcissas inicia no dia 04 de novembro, uma vez que foi o dia de início das operações do sistema de monitoramento; e
- O eixo das abcissas do mês de dezembro finaliza no dia 12 de dezembro, data última de retirada de dados dos equipamentos até a escrita do presente texto.

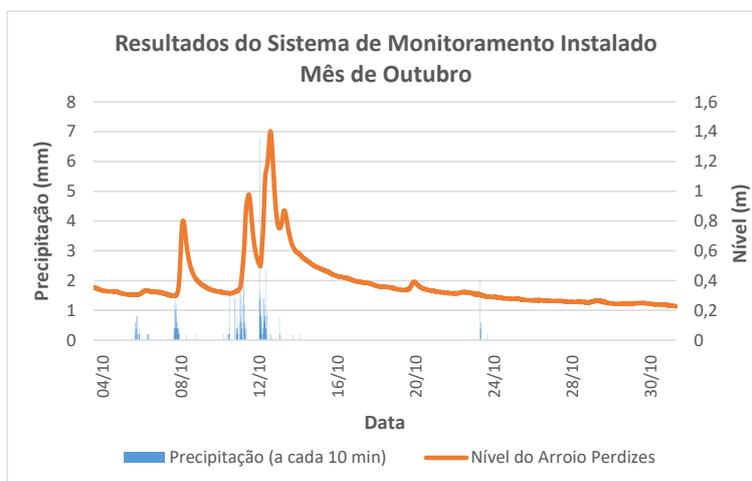


Figura 72 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Mês de Outubro.

Fonte: Elaboração Própria

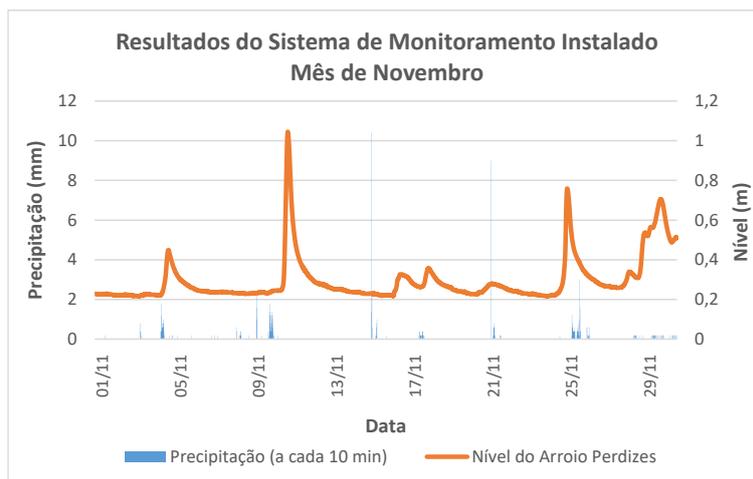


Figura 73 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Mês de Novembro.

Fonte: Elaboração Própria

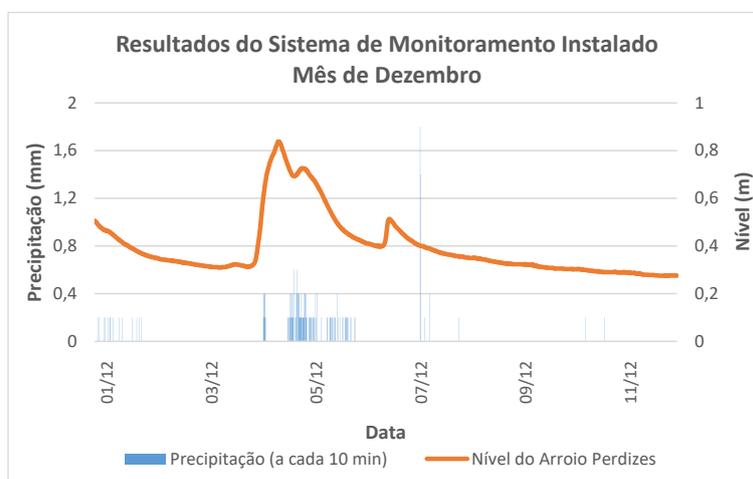


Figura 74 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Mês de Dezembro.

Fonte: Elaboração Própria

Como pode-se observar a partir dos gráficos apresentados, os dois meses e meio de monitoramento resultaram em um número considerável de eventos de precipitação e de elevação de nível fluviométrico. Como o período de monitoramento com esses equipamentos ainda é curto, as séries de dados geradas por eles foi considerada ainda não suficientemente representativa para ser utilizada na elaboração de um novo modelo estatístico, como foi feito com os dados retirados das estações do Hidroweb e do banco de dados de nível do PNAS.

Entretanto, os dados gerados apresentam uma alta representatividade temporal dos eventos registrados, uma vez que a cada 10 minutos foram gerados dados tanto de nível quanto de precipitação. Isso permitiu a realização de uma análise simples e prévia de ordem de grande de tempos de resposta da elevação do nível do arroio em relação às

precipitações registradas, mas, acima de tudo, o principal resultado da análise desses dados foi se trazer à superfície o debate sobre a representatividade, ou a não representatividade, dos dados de monitoramento de eventos hidrológicos e meteorológicos gerados a partir de estações que apenas entregam um dado a cada 24 horas.

Considera-se muito importante ressaltar, novamente, que, apesar de os resultados servirem para indicar importantes tendências e comportamentos, bem como respostas a alguns dos questionamentos trazidos, as séries de dados geradas ainda são muito curtas, o que faz com que as análises e valores médios encontrados e aqui descritos, não são valores absolutos finais, e sim valores relacionados apenas a esses eventos registrados. Para a obtenção de valores médios finais, tanto para o arroio Perdizes quanto para a bacia hidrográfica na qual ele se insere, uma análise muito mais profunda deve ser realizada.

Para exemplificar esses resultados encontrados durante esse período de monitoramento e que geraram os questionamentos aqui elaborados, foram selecionados três micro períodos de dados, alguns específicos, os quais são apresentados a partir de agora.

O primeiro período abrange o intervalo de tempo entre os dias 08 e 13 de outubro e foi selecionado por representar um período de seis dias em que ocorreram três grandes eventos de chuva. Na Figura 75 é apresentada a distribuição temporal dos episódios de chuva e a variação temporal dos níveis fluviométricos para o macro período. Na sequência, são apresentados os gráficos resultantes para cada um dos dias do período (Figura 76 a Figura 81), nos quais é possível se observar mais detalhadamente cada evento e os seus respectivos resultados.

O segundo período selecionado foi o dos dias 09, 10 e 11 de novembro, que apresenta um evento de chuva, mas que gera um comportamento de resposta muito interessante. Os gráficos diários resultantes desse período são apresentados na página 119, respectivamente na Figura 82, na Figura 83 e na Figura 84.

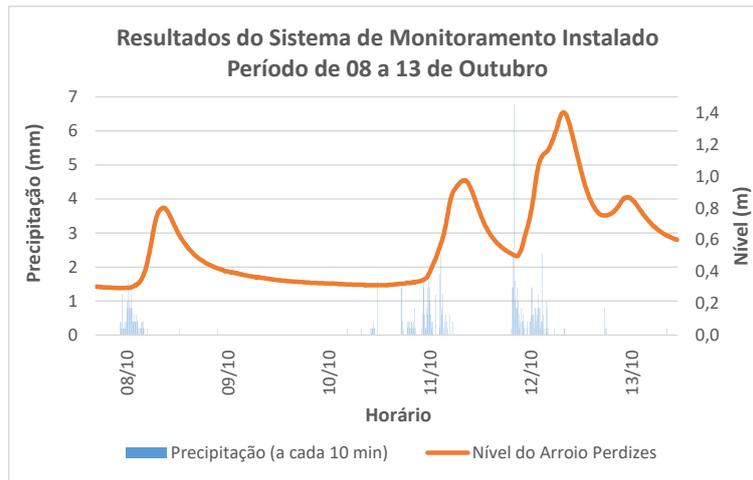


Figura 75 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível para o Período entre os Dias 08 e 13 de Outubro.

Fonte: Elaboração Própria

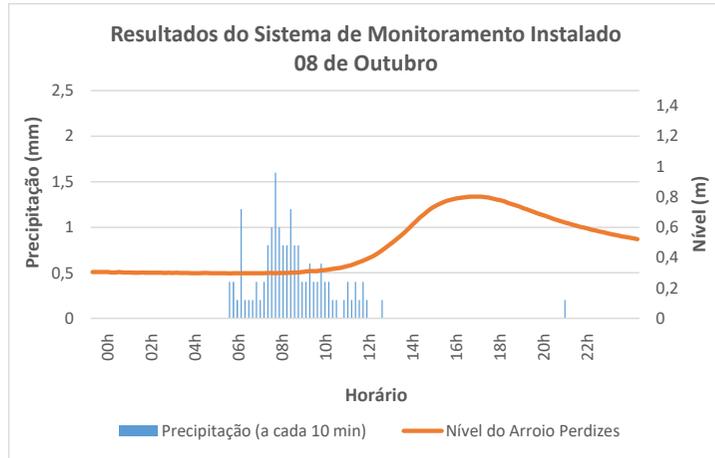


Figura 76 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 08 de Outubro.
Fonte: Elaboração Própria

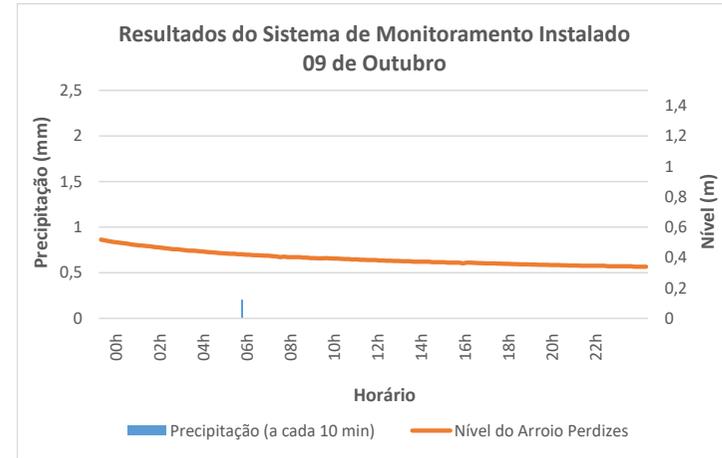


Figura 77 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 09 de Outubro.
Fonte: Elaboração Própria

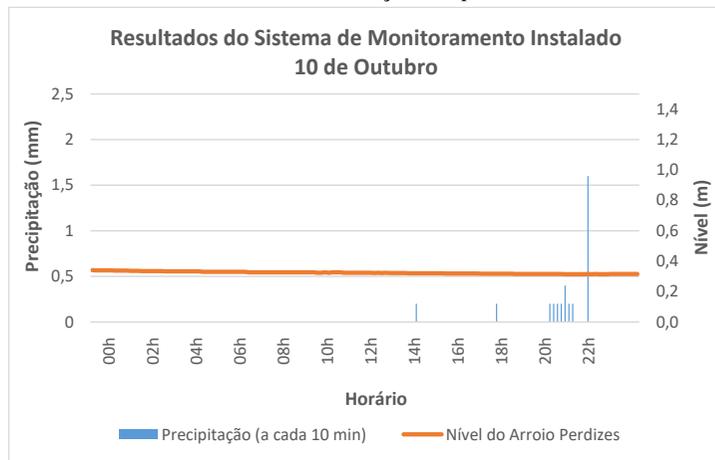


Figura 78 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 10 de Outubro.
Fonte: Elaboração Própria

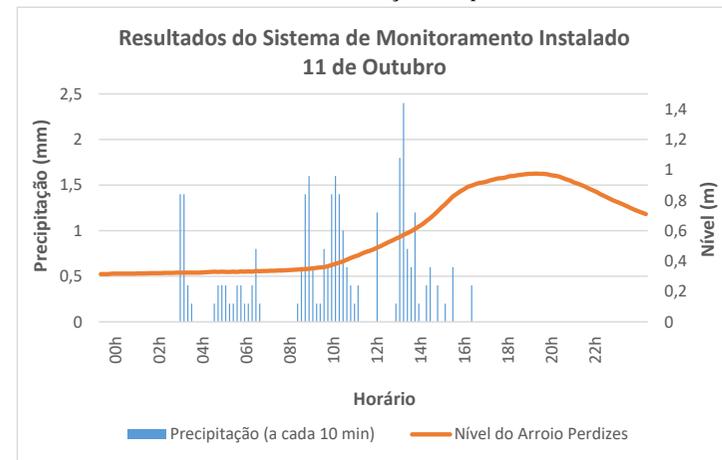


Figura 79 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 11 de Outubro.
Fonte: Elaboração Própria

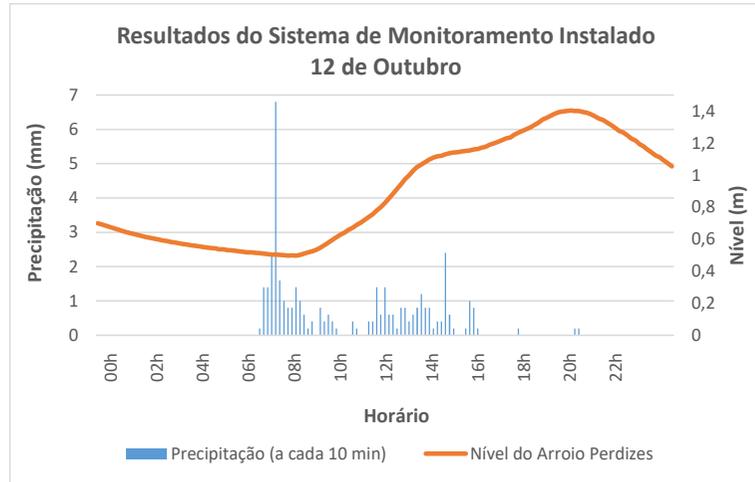


Figura 80 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 12 de Outubro.

Fonte: Elaboração Própria

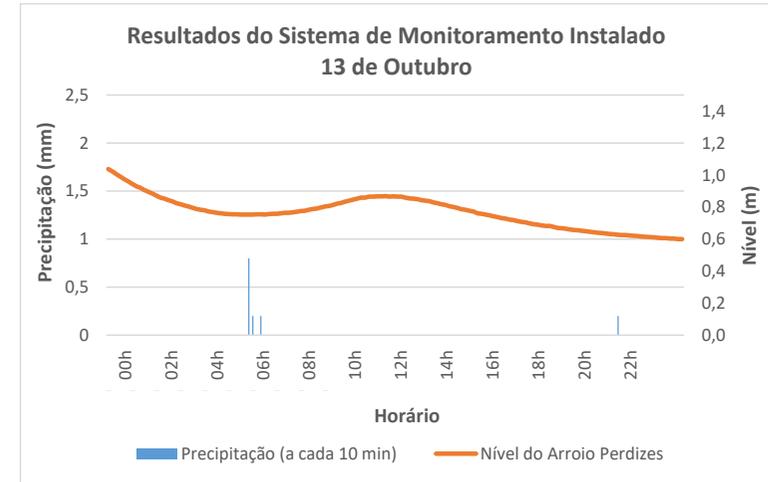


Figura 81 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 13 de Outubro.

Fonte: Elaboração Própria

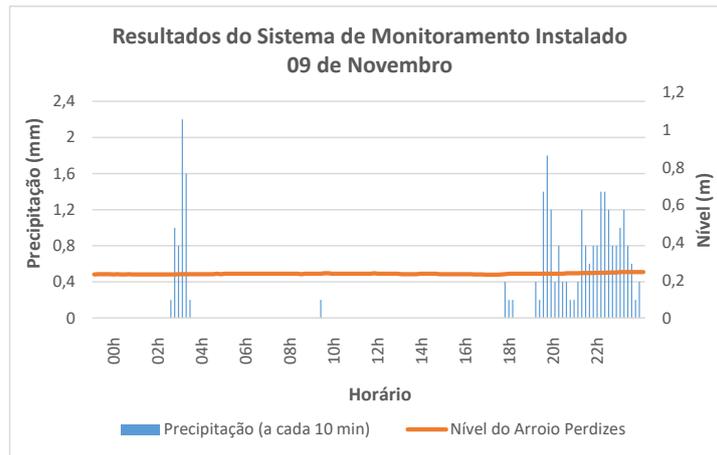


Figura 82 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 09 de Novembro.

Fonte: Elaboração Própria

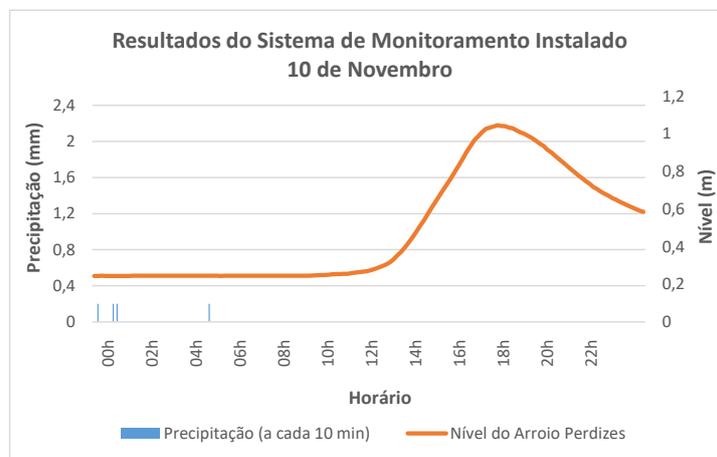


Figura 83 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 10 de Novembro.

Fonte: Elaboração Própria

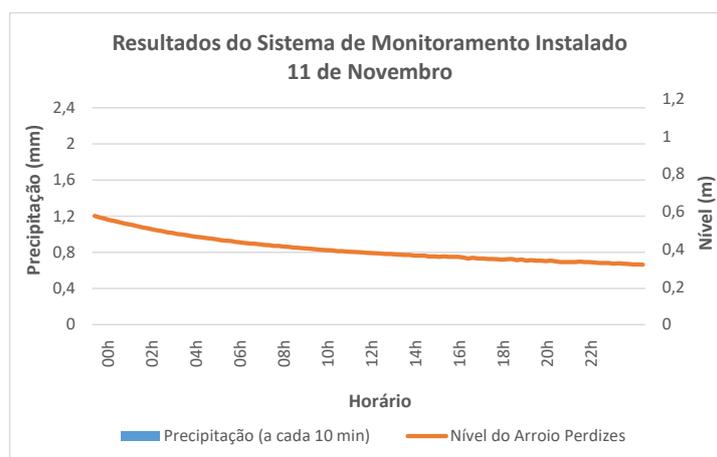


Figura 84 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 11 de Novembro.

Fonte: Elaboração Própria

Uma análise prévia dos gráficos apresentados, visual, permite a constatação de que a taxa de resposta do nível do arroio Perdizes a eventos de precipitação é relativamente rápida, apresentando, em média, em torno de 6 horas de *gap* entre o início da precipitação e o início da elevação do nível do arroio.

O dia 12 de outubro é uma exceção a esses valores médios observados, já que apresenta um intervalo de aproximadamente 2 horas entre o início da precipitação e o início da elevação do nível. Entretanto, atribui-se essa resposta mais rápida do arroio ao fato de a bacia já estar de certa forma saturada com água, devido aos episódios de precipitação ocorridos no dia anterior.

Esse fato observado expõe mais um ponto muito importante em relação às taxas de resposta de corpos hídricos: elas variam não só devido às precipitações do dia e às suas intensidades, como também devido às condições de saturação hídrica existentes na bacia antes do evento, muitas vezes alteradas principalmente por eventos de precipitação nos dias anteriores.

As taxas de resposta de níveis nos corpos hídricos em relação a eventos de precipitação são informações de grande importância em sistemas de monitoramento, previsão e alerta hidrológicos. Como mostrado acima, essas taxas podem variar consideravelmente em função de outros fatores, e resultar em respostas muito mais rápidas que o esperado, ou que o “comum”.

Na realidade do presente trabalho, seria de grande importância para auxiliar nas tomadas de decisão dos gestores do PNAS existir um estudo melhor embasado e mais detalhado sobre as taxas de resposta do arroio Perdizes e conseqüentemente do rio do Boi aos eventos de chuva que ocorrem na região. Para tanto, é necessário, porém, o monitoramento constante e de alta resolução temporal dos episódios de precipitação e de alteração de nível fluviométrico.

A Tabela 12 apresenta dados de interesse sobre os níveis fluviométricos e os episódios de precipitação relativos aos dias analisados, e que servirão de base para as próximas análises, descritas na sequência.

A sua última coluna, intitulada “Diferença entre os Níveis” apresenta, propositalmente, algumas células sem valores. Nessa coluna, foram calculadas as diferenças de níveis entre os níveis de pico após um evento de precipitação ocorrido a partir das oito da manhã do dia, e o nível registrado no mesmo horário do dia seguinte, horário de registro dos níveis nas estações fluviométricas da ANA que trabalham com

dados diários, as quais são o tipo de estações utilizadas na geração dos modelos estatísticos apresentados anteriormente.

Tabela 12 - Valores de Interesse Resultantes do Monitoramento de Nível e Precipitação dos Dias Analisados.

Data	Precipitação Acum. 24h (mm)	Duração Total dos Eventos (h)	Total Precip. no Evento (mm)	Hora do Pico de Nível	Nível às 08h (m)	Nível Máximo Atingido (m)	Nível às 08h do dia seguinte (m)	Diferença entre os Níveis (m)
08/out	7,2	7	18,8	17:00	0,297	0,802	0,405	-0,397
09/out	13,6	0,25	0,2	00:05	0,405	0,518	0,327	-
10/out	0,0	0	3,2	00:05	0,327	0,340	0,339	-
11/out	11,4	10	32,0	19:15	0,339	0,977	0,497	-0,480
12/out	39,8	7	41,2	19:45	0,497	1,403	0,775	-0,628
13/out	28,2	0,5	1,2	00:05	0,775	1,038	0,236	-
09/nov	22,6	6	22,6	23:55	0,236	0,244	0,245	0,001
10/nov	23,6	0,5	0,8	17:35	0,245	1,045	0,396	-0,649
11/nov	0,0	0	0,0	00:05	0,396	0,577	0,276	-

Fonte: Elaboração Própria

As células que não apresentam dados são referentes aos dias sem precipitação considerável e em que o nível máximo ocorreu antes do horário de medição, representando comportamentos de descida dos níveis, pós passagem das ondas de cheia, e não sendo, assim, de interesse para essa análise específica.

A primeira análise realizada é justamente referente a esses eventos de precipitação, os respectivos níveis fluviométricos a partir deles atingidos, e os níveis que teriam sido registrados para esses eventos de precipitação pelas estações da ANA acima citadas.

Os quatro grandes eventos de chuva exemplificados geraram consideráveis aumentos nos níveis fluviométricos, com o passar das suas ondas de cheia, chegando a níveis próximos ou superiores a um metro. Esses valores de níveis máximos resultantes, entretanto, não teriam sido registrados por uma estação diária de monitoramento, a qual teria registrado valores muito inferiores de nível, para os respectivos eventos de chuva.

Vamos tomar o dia 12 de outubro como um primeiro exemplo, que apresenta uma precipitação de mais aproximadamente 41 mm. Essa precipitação gerou uma onda de cheia que elevou o nível do arroio Perdizes ao valor máximo de 1,403 metro, muito superior ao nível normal da seção de controle, que é aproximadamente 0,30 metro. Esse nível de pico, entretanto, foi registrado pelo sensor instalado às 19:45. Caso não houvesse o registro de alta resolução temporal, o nível que teria sido registrado pelos funcionários do Parque, às oito horas da manhã do dia seguinte, teria sido o de 0,775 metro, que é

aproximadamente 50% inferior ao nível máximo que realmente ocorreu. Esse dado de nível seria então vinculado à precipitação acumulada das últimas 24 horas, ou seja, a precipitação ocorrida e registrada entre as oito horas da manhã do dia 12 e as oito horas da manhã do dia 13.

Como segundo exemplo, vamos analisar o período compreendido pelos dias 09 a 11 de novembro. O dia 09 apresenta o registro de dois eventos de precipitação, um ocorrido antes das oito horas da manhã, e outro, maior, ocorrido no final da tarde e início da noite. A análise será referente a esse segundo episódio de chuva, uma vez que é o relacionado com as medições de nível dos dias subsequentes. É importante se observar que os dias 10 e 11 praticamente não apresentam eventos de precipitação, o que faz com que o comportamento observado nesses dias seja resultado de resposta praticamente única do evento do dia 09.

Caso tivesse sido registrado da maneira tradicional, os 22,6 mm de chuva do evento do dia 09 teriam sido correlacionados com o valor de nível 0,245 metro, registrado às oito horas da manhã do dia 10. Seguindo a análise, 0,8 mm de chuva registrados no dia 10 teriam sido correlacionados com um nível de 0,396 metro, registrado às oito horas da manhã do dia 11. Além disso, devido ao tempo de resposta da bacia a esse evento de precipitação do dia 09, o pico de nível atingido pela onda de cheia ocorreu somente às 17:35 do dia 10, chegando a 1,045 metro.

Dessa onda de cheia, entretanto, não teria havido registro nenhum, uma vez que a passagem dela iniciou por volta do meio dia do dia 10 e, no começo da manhã do dia 11, já estava praticamente toda amenizada. Os valores de níveis e de precipitações registrados também não fariam muito sentido, muito menos seriam representativos dos eventos.

Apesar do pequeno período de tempo de funcionamento dos equipamentos de monitoramento até a data de escrita do presente trabalho, de apenas dois meses e meio, foi possível o registro de alguns eventos de precipitação, o que possibilitou a realização dessas análises de consistência de representatividade e de comparação dos dados gerados pelo monitoramento sub-diário e diários, como exemplificado e discutido nos exemplos trazidos acima.

Pragmaticamente, os resultados obtidos através das análises dos dados de monitoramento dos equipamentos instalados, e aqui apresentados, comprovam que:

- O arroio Perdizes apresenta, de maneira geral, respostas rápidas de elevação do seu nível em relação a eventos de precipitação;

- Os dados de nível fluviométrico resultantes de monitoramento diário não são capazes de registrar e, conseqüentemente, revelar eventos importantes que são identificados no monitoramento sub-diário; e
- Os dados gerados por monitoramento diário não são, dessa forma, os mais representativos das relações entre precipitações e nível fluviométrico para o local de estudo.

Assim, pode-se afirmar que dados de chuva obtidos apenas de 24 em 24 horas muitas vezes não são representativos dos eventos meteorológicos que ocorrem, uma vez que a baixa resolução temporal dos dados impede o conhecimento de como esses eventos de precipitação se distribuíram dentro das 24 horas analisadas. Conseqüentemente, quaisquer outras análises, sejam estatísticas ou hidrológicas, que utilizem esses dados com baixa resolução apresentarão, muito provavelmente, as mesmas inconsistências e incertezas já atreladas a eles.

Além disso, também pode-se afirmar que os dados de nível fluviométrico medidos apenas uma vez ao dia também não são representativos das dinâmicas hidrológicas de corpos hídricos, principalmente quando se tratando da identificação e do registro de passada de ondas de cheia. Um único valor de nível no dia torna impossível o registro e a análise do comportamento de ondas de cheia, além de apresentar uma probabilidade muito baixa de identificação dos níveis máximos atingidos pelas cheias, e a conseqüente correlação desses valores com os registros de precipitação.

Finalmente, o terceiro período de tempo analisado, dos dias 24 e 25 de novembro, cujos gráficos são apresentados na Figura 85 e na Figura 86, exemplifica uma outra situação que é de elevado interesse e importância quando se trabalha com monitoramento, previsão e alerta de cheias, e que cada vez mais está sendo trazida à luz e debatida: a cobertura espacial da informação de monitoramento que está sendo gerada e processada, e a sua respectiva eficácia e acurácia na representatividade de todos os eventos que ocorrem.

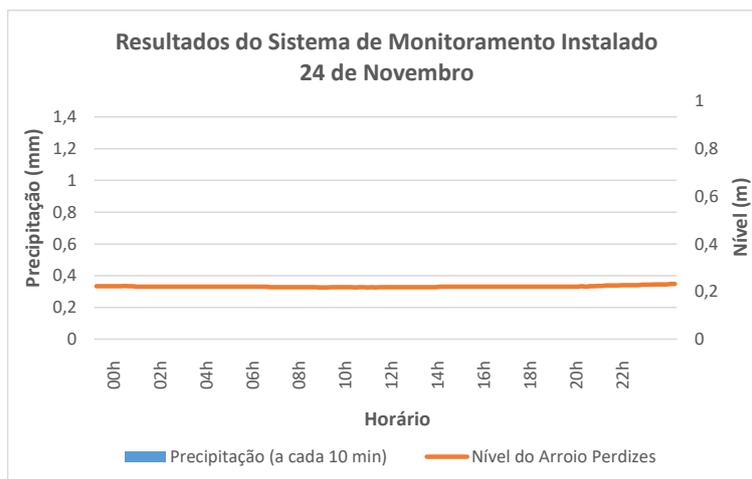


Figura 85 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 24 de Novembro.

Fonte: Elaboração Própria

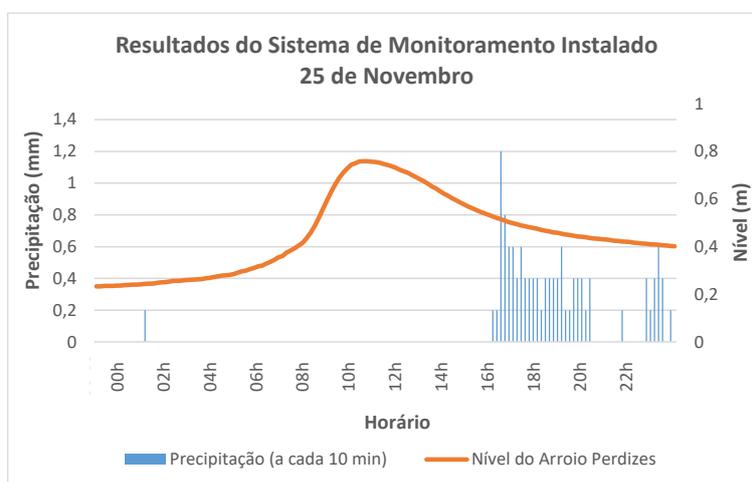


Figura 86 - Resultados do Monitoramento de Precipitação e Nível do Dia 25 de Novembro.

Fonte: Elaboração Própria

Observando-se os dois gráficos, dos dias 24 e 25 de novembro, pode-se constatar que:

- Não houve nenhum evento de precipitação registrado no dia 24 de novembro;
- O nível fluviométrico permaneceu constante no dia 24 de novembro;
- O início expressivo da elevação do nível fluviométrico do dia 25 de novembro se iniciou por volta das 06h, quando o mesmo passou de 0,35 metro;
- O pico de nível foi atingido, aproximadamente, às 10h; e
- O período representativo de chuvas registradas no dia 25 de novembro se iniciou em torno das 16h.

O *gap* de tempo, de aproximadamente 10 horas, entre o início da elevação de nível e o início do evento de precipitação registrados, acrescido do fato de não ter registro de nenhum evento de precipitação nem de qualquer elevação do nível fluviométrico no dia anterior, permite a conclusão de que esse evento analisado muito provavelmente é um exemplo de evento de precipitação que se iniciou mais acima na bacia hidrográfica, à montante da estação meteorológica instalada, e que depois de um certo tempo chegou até a sede do Parque.

Eventos como esse do dia 25 de novembro são problemáticos para um sistema de alerta de cheias, uma vez que são eventos de precipitação que ocorrem fora da região de monitoramento e que podem apresentar, como no exemplo, defasagens de tempo de diversas horas entre a chegada da onda de cheia e o início do registro de precipitação.

Além disso, na conjuntura das realidades do local de estudo do presente trabalho, esse tipo de evento pode ser considerado como um evento de grande risco e perigo, uma vez esses eventos podem causar grande efeito no nível do arroio Perdizes, o qual, conseqüentemente, pode ter como consequência uma súbita elevação do nível do rio do Boi, resultando em uma possível situação emergencial para aqueles que estiverem na Trilha.

Essa situação de falta de informações relativas a eventos correlatos torna bem mais difícil o real entendimento das dinâmicas hidrológicas locais, e o conseqüente desenvolvimento de um sistema de alerta de cheias robusto e realmente eficaz.

6. CONCLUSÕES

6.1. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

O principal objetivo do presente Trabalho de Conclusão de Curso foi realizar contribuições iniciais para a geração futura de modelos consistentes de previsão e de alerta de cheias e de fechamento para a Trilha do rio do Boi. Analisando-se tudo que foi apresentado até o momento, conclui-se que as principais contribuições geradas com a execução do presente trabalho foram:

1. A instalação, viabilizada pela parceria com o GPDEN, de equipamentos de monitoramento de alta resolução temporal para dados meteorológicos e hidrológicos no Parque Nacional de Aparados da Serra cujas futuras séries de dados possibilitarão uma nova rodada muito mais precisa de calibração e de validação de modelos de previsão gerados, a qual acredita-se que resultará em modelos que apresentem índices muito melhores de acerto de previsão;
2. A constatação, a partir das análises estatísticas dos registros históricos de níveis, que a Trilha do rio do Boi não apresenta maior concentração de episódio de fechamentos no período de verão, ao contrário do que a administração do Parque suspeitava, e a consequente conclusão estatística de que os episódios de fechamento são aleatoriamente distribuídos ao longo do ano, exigindo ainda mais um constante monitoramento das condições meteorológicas e hidrológicas locais, bem como a constante operação de um efetivo sistema de previsão e alerta de cheias;
3. A calibração e a validação de diversas possibilidades de modelos de previsão e alerta de fechamento da Trilha em nível diário, com taxas de POD de 0,3621 e POFD de 0,2745 para previsões de 24h de antecedência, bem como de POD de 0,4828 e POFD de 0,3023 para previsões de 48h de antecedência.
4. A constatação de que os melhores modelos aplicáveis para a região são aqueles que trabalharam com os dados de maior resolução temporal disponíveis (vide sugestões a seguir);
5. A constatação de que o desenvolvimento de modelos com base em dados diários de chuva e nível, acoplados à previsão de precipitação, não

possibilitaram a aquisição de uma previsão com valores adequados de POD e baixos de POFD, sendo eles 0,4386 e 0,3962 respectivamente, e que o primeiro passo para se alcançar valores adequados é se trabalhar com dados sub-diários, e não diários.

6. A geração, proposital, de modelos matemáticos de previsão que apresentassem características as mais simples possíveis, que facilitassem ao máximo o entendimento conceitual e a aplicabilidade prática deles no dia a dia dos gestores e funcionários do Parque;
7. A comprovação, mesmo que a partir de uma análise simplificada, de que o nível do arroio Perdizes apresenta um tempo reação a eventos de precipitação bem menor que 24 horas, o que comprova a não representatividade de dados diários de monitoramento para o desenvolvimento de modelos de previsão e alerta para o corpo hídrico em questão, e a consequente necessidade de dados sub-diários de monitoramento para a geração de modelos realmente representativos e eficientes; e
8. A exposição da necessidade de uma maior densidade espacial, principalmente, de pontos de monitoramento de precipitação, dentro da área estudada, para a otimização da geração de sistemas de alerta e previsão, uma vez que as taxas de resposta de nível do arroio Perdizes se apresentaram, em média, bem rápidas, com episódios de chegada de ondas de cheia sendo registrados antes dos eventos de precipitação no local.

6.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para se chegar a um modelo final, eficaz e robusto, de previsão e alerta de fechamento da Trilha do rio do Boi, diversas etapas não abrangidas no presente trabalho são, ainda, necessárias. Abaixo, são apresentadas as principais sugestões de atividades prioritárias para a melhor continuidade do projeto em desenvolvimento.

A continuação das atividades de monitoramento de nível fluviométrico e de precipitação no PNAS, através de dados de alta resolução temporal, é essencial para a continuidade do trabalho. Novas séries de dados de baixo intervalo de tempo, que sejam realmente representativos dos eventos de precipitação e da passagem das ondas de cheia no arroio Perdizes, serão fundamentais para a melhor calibração e validação dos modelos

estatísticos gerados, os quais, segundo acredita-se, poderão gerar valores de POD e POFD mais adequados e assim serem realmente utilizados como principal fonte de dados de previsão e base para tomadas de decisão.

Até que se tenha uma série de dados da estação meteorológica instalada, uma alternativa que se sugere é a realização de uma avaliação com os dados de chuva do posto pluviométrico do INMET localizado em São José dos Ausentes, o qual trabalha com dados horários e que, além disso, está localizado no Planalto da Serra Geral.

Além disso, a realização de análise de correlação entre os níveis da régua original do Parque e as réguas de nível instaladas durante o trabalho é fundamental para a posterior correlação com os níveis medidos pelo sensor e, conseqüentemente, com os valores de vazão a eles correlacionados. Durante o trabalho, foi iniciado esse processo, dada a sabida importância do estabelecimento dessas correlações. Foram elaboradas planilhas simples para o registro das medições de nível de ambas as réguas, por parte dos funcionários do Parque, e foi pedido que eles realizassem essas medições, como sempre fizeram com a régua original.

Sugere-se que essa correlação seja realizada a partir desses dados gerados pelos próprios funcionários, uma vez que os cinco anos de dados de nível existentes, e que foram base para praticamente todas as análises do presente trabalho, foram justamente obtidos dessa maneira, por essas pessoas. Dessa forma, acredita-se que se mantendo esses procedimentos, a série gerada seria mais representativa, e, conseqüentemente, também os seus resultados. Complementar a isso, também se recomenda encontrar a equação característica que correlacione os níveis medidos pelo sensor de nível e pelas novas réguas instaladas.

A partir da instalação da régua linimétrica de jusante, instalada ao final da execução deste trabalho, também se aconselha que sejam registrados os níveis fluviométricos tanto na régua já existente quanto na nova régua. Além disso, é aconselhado se realizar medições de vazão nessa seção, para que as correlações indicadas para montante também possam ser buscadas para jusante. Ainda, também é indicada a futura correlação entre os níveis de jusante e de montante, bem como as suas vazões resultantes, para entendimento da real influência das contribuições hídricas do arroio Perdizes nas condições hidrológicas do rio do Boi.

Outra sugestão para trabalhos futuros é a continuidade nas medições de vazão por instrumentos de alta precisão, aqui brevemente iniciadas, para que seja possível o desenvolvimento da curva-chave característica para o arroio Perdizes.

A partir da curva-chave, das correlações entre os níveis das réguas e da correlação do nível das novas réguas com o nível medido pelo sensor de nível, aconselha-se o processamento dos dados de forma a transformar os registros históricos de nível em registros de vazão. De posse desses dados, sugere-se a análise das vazões referentes ao nível de segurança estipulado (de 15 cm) e dos coeficientes de arraste resultantes gerados através dessas vazões, para poder se proceder a análise referente à representatividade deste atual nível de segurança estipulado.

Ainda, dada a importância da obtenção de dados de precipitação com maior resolução espacial dentro das sub bacias de contribuição, para o melhor desenvolvimento de modelos hidrológicos de previsão de vazão, recomenda-se a utilização de técnicas de radares meteorológicos em sintonia com dados pluviométricos, para uma maior abrangência de informações de chuva nas sub bacias do arroio Perdizes e do rio do Boi. Sugere-se a avaliação da possibilidade de utilização do radar Morro da Igreja, localizado em Santa Catarina, distante aproximadamente 100km do local de estudo, como uma primeira tentativa de utilização desse tipo de dado, caso seus dados encontrem-se disponíveis.

Por esse ser um tema atualmente bastante debatido, e evitando gerar dúvidas ou mal entendimentos daquilo que é aqui proposto, enfatiza-se que não está sendo sugerido, sob hipótese alguma, a substituição dos usos de equipamentos instalados em campo, como estações meteorológicas, pelo uso de dados de radares, inclusive porque esses não medem, efetivamente, as chuvas. A sugestão trazida, como já dito, é a utilização das novas tecnologias de maneira combinada com as medições e monitoramentos de campo tradicionais, unindo esses dois campos de informações e possibilitando, quem sabe, maiores avanços nesse sentido.

6.3. OPERACIONALIZAÇÃO DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

Uma última discussão considerada de grande importância ao final do presente trabalho, é a respeito da operacionalização dos modelos de previsão aqui propostos.

Uma vez que, conforme já discutido, a utilização de dados apenas diários no desenvolvimento dos modelos não permitiu a obtenção de altos resultados de correlações e de métricas de discriminação, julga-se que os modelos desenvolvidos ainda não estão

totalmente preparados para serem as únicas ferramentas utilizadas na definição do fechamento da Trilha do rio do Boi.

Entretanto, partindo dos resultados obtidos, bem como das discussões levantadas e das conclusões já apresentadas, conclui-se que já é possível operacionalizar alguns dos modelos desenvolvidos, principalmente no que tange a disponibilização de dados de previsão de elevação do nível do arroio, o que hoje em dia inexistente para o local. Acredita-se que a utilização das informações de previsão provenientes desses modelos pode ser de grande valia no auxílio à tomada de decisão acerca da abertura ou do fechamento da Trilha, uma vez que resultam em um aporte importante de informações relacionadas à variação do nível em relação às previsões de precipitação.

Ainda, também se julga que a utilização desses modelos gerados, no dia a dia do Parque, possa auxiliar o próprio melhor desenvolvimento dos mesmos, uma vez que fornecerá mais informações acerca das tomadas de decisão por parte dos gestores do Parque, em relação aos níveis observados.

Dessa forma, acredita-se e aconselha-se o início da utilização dos quatro melhores modelos gerados tanto para 24h quanto para 48h, ou seja, os que apresentaram os melhores resultados combinados de POD e de POFD para esses períodos, sendo eles: MH24h, PNAS24h, MH48h e PNAS48h.

Aqui julga-se importante ressaltar que infelizmente o modelo Eta-15km não se encontra mais operacional atualmente. Dessa forma, sugere-se a utilização da nova versão do modelo BRAMS 5km, disponibilizado pelo CPTEC, que está atualmente em operação e é de mais fácil utilização. Para esse modelo, entretanto, seriam necessárias novas análises futuras.

A partir dos dados de previsão de precipitação, os resultados de previsão de nível são de fácil obtenção: é apenas necessário se adicionar esse valor de previsão na célula respectiva a esse dia em uma planilha de Excel desenvolvida no presente trabalho e disponibilizada para a administração do Parque, que os modelos rodam e os valores de previsão são obtidos.

Acredita-se fortemente que a partir das novas calibrações dos modelos desenvolvidos, possibilitadas através da geração de séries de dados sub-diários gerados pelos equipamentos instalados em campo, os novos modelos apresentem valores muito mais elevados de POD e de POFD, próximos dos ideais, e que possibilitem, dessa forma, que sejam utilizados como as principais ferramentas de auxílio à tomada de decisão sobre o fechamento da Trilha do rio do Boi.

Acima de tudo, acredita –se e espera-se que a obtenção dessas informações e a utilização delas na tomada dessas decisões com a antecedência necessária possibilite que se evite situações emergenciais de evacuação da Trilha, de isolamento dos turistas, e, principalmente, de perda de vidas humanas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFIERI, L. *et al.* Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. **Environmental Science & Policy**, v. 21, p. 35-49, 2012. Doi: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.01.008>>. Acesso em: 03 novembro 2017.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 29 setembro 2017.

ANDREOLLI, I. *et al.* Previsão de vazão afluente a um reservatório utilizando previsão quantitativa de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 55-69, Jul./Set. 2006.

ARAUJO, N. de; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite “CMORPH” na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 189-198, Jul./Set. 2007.

BOTH, G. C. *et al.* Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari – RS. In: VI Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2008, Serra Negra – SP. **Anais do VI Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Serra Negra, 2008.

BRASIL. Decreto nº 47.446, de 17 de dezembro de 1959. Cria o Parque Nacional de Aparados da Serra, no município de São Francisco de Paula, no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 17 dez 1959. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D47446.htm>. Acesso em: 24 set 2017.

BRASIL. Decreto nº 70.296, de 17 de março de 1972. Altera os artigos 1º e 2 do Decreto nº 47.446, de 17 de dezembro de 1959 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 20 mar 1972. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D70296.htm>. Acesso em 24 set 2017.

BUFFON, F. T. *et al.* Enchente de 2015 no rio Acre: aquisição de dados e monitoramento. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília – DF. **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, Brasília, 2015a.

BUFFON, F. T. *et al.* Previsão de curto prazo de níveis no rio Acre no município de Rio Braco – AC com modelos hidrológicos empíricos na enchente de 2015. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília – DF. **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, Brasília, 2015b.

CATALDI, M. *et al.* Análise das previsões de precipitação obtidas com a utilização do Modelo Eta como insumo para modelos de previsão semanal de vazão natural. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porte Alegre, v. 12, n. 3, p. 5-12, Jul./Set .2007.

CHOU S.C. Regional eta model. In: **Climanálise. Edição Comemorativa de 10 anos**. Cachoeira Paulista, v.1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

CHOU S. C., NUNES A. M. B., CAVALCANTI I. F. A extended range forecasts over South America using the regional Eta model. **J. Geophys. Res.**, v. 105, p. 10147-10160, Apr. 2000.

CPRM – Serviço Geológico Brasileiro. **Bacias Monitoradas**: bacia do Taquari, SACE Monitoramento, 2017. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php>. Acesso em: 18 out 2017.

CUO, L.; PAGANO, T. C.; WANG, Q. J. A review of quantitative precipitation forecasts and their use in short- to médium-range streamflow forecasting. **Journal of Hydrometeorology**, v. 12, n. 5, p. 713-728, Oct. 2011.

DANTAS, C. E. de O. *et al.* Caracterização da formação de cheias na bacia do rio Una em Pernambuco: análise estatística regional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porte Alegre, v. 19, n. 4, p. 239-248, Out./Dez .2014.

DAVIS INSTRUMENTS CORP. **WeatherLink 2.0**. Software adquirido junto com a estação meteorológica DavisPRO. 2017.

FAN, F. M. **Acoplamento entre modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica: integração do modelo MGB-IPH**. 2011. 179 f. Trabalho de conclusão (Graduação). – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Curso de Engenharia Ambiental, Porto Alegre, 2011.

FAN, F. M. **Previsão por conjunto de vazões afluentes a reservatórios em grandes bacias hidrográficas brasileiras**. 2015. 424 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2015.

FAN, F. M. *et al.* Ensemble streamflow forecasting experiments in a tropical basin: The São Francisco River case study. **Journal of Hydrology**, v. 519, n. Part D, p. 2906-2919, 2014. Doi: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.038>>. Acesso em 23 novembro 2017.

FAN, F. M. *et al.* Evaluation of upper Uruguay river basin (Brazil) operational forecasts. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 22, e37, 2017. Doi: <<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.0217160027>>. Acesso em: 23 outubro 2017.

FAN, F. M. *et al.* Flood forecasting on the Tocantins river using ensemble rainfall forecasts and real-time satellite rainfall estimates. **Journal of Flood Risk Management**, v. 9, p. 278-288, 2016a.

FAN, F. M. *et al.* Sobre o uso da persistência de previsões determinísticas de vazão para a tomada de decisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 218-228, 2016b.

FAN, F. M. *et al.* Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 196-227, 2015.

GAMARO, P. E. Compensações das vazões medidas com ADCP em seções com fundo móvel. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Aracaju – SE. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, Aracaju, 2003.

GAMARO, P. E. **Medidores acústicos Doppler de vazão**. 1. ed. Foz do Iguaçu: Ataiipu Binacional, 2012. 164 p.

HAWKESWORTH, C. J. *et al.* Paraná magmatism and opening os South Atlantic. **Geological Society**, London, Special Publications, v. 68, p. 221-240, Jan. 1992.

JIMÉNEZ, K. Q.; COLLISCHONN, W. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 202-217, Jan./Mar. 2017.

JOLLIFFE, I.T.; STEPHENSON, D.B. **Forecast verification**: a practitioner's guide in atmospheric science. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2012.

MELLER, A. *et al.* Previsão de cheias por conjunto em curto prazo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 33-49, Jul./Set. 2014.

MICROSOFT EXCEL OFFICE, versão 2013. **Microsoft Excel**: gerenciador de planilhas eletrônicas. Microsoft Corporation, 2013. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/pt-br/>>. Acesso em 13 jan 2017.

MOORE, R. J. *et al.* Forecasting for flood warning. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 337, n. 1-2, p. 203-217, Jan./Feb. 2005. Doi: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2004.10.017>>. Acesso em: 09 novembro 2017.

PAGANO, T. C. *et al.* Challenges of operational river forecasting. **Journal of Hydrometeorology**, v. 15, n. 5, p. 1692-1707, Aug. 2014. Doi: <10.1175/JHM-D-13-0188.1>. Acesso em 17 setembro 2017.

PAIVA, R. C. D. *et al.* On the sources of hydrological prediction uncertainty in the Amazon. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 16, p. 3127-3137, 2012. Doi: <www.hydrol-earth.syst-sci.net/16/3127/2012>. Acesso em 28 outubro 2017.

PEDROLLO, M. *et al.* Alerta hidrológico da bacia do rio Caí. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió - AL. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, Maceió, 2011.

POLETO, C. (Org.). **Sedimentologia fluvial: Estudos e Técnicas – Volume 1**. Porto Alegre: ABRH, 2014. 218 p.

QGIS, DEVELOPMENT TEAM. **QGIS**: sistema de informação geográfica para área de trabalho de computador. Versão 2.18.6. 2017. Licença de software livre GNU GPL. Disponível em: <<http://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>>. Acesso em: 29 outubro 2017.

RABUFFETTI, D., BARBERO, S. Operational hydro-meteorological warning and real-time flood forecasting: the Piemonte Region case study. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 9, p. 457–466, Oct. 2005. Doi: <<https://doi.org/10.5194/hess-9-457-2005>>. Acesso em: 20 dezembro 2017.

SANTOS, I. dos *et al.* **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. 2001. 372 p.

SILVESTRO, F.; REBORA, N. Impact of precipitation forecast uncertainties and initial soil moisture conditions on a probabilistic flood forecasting chain. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 1025-1067, 2014. Doi: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.07.042>>. Acesso em 13 novembro 2017.

SIQUEIRA, V. A. *et al.* Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão de cheias na bacia do Taquari-Antas / RS. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília – DF. **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, Brasília, 2015.

SIQUEIRA, V. A. *et al.* Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 587-602, Jul./Set. 2016. Doi: <<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616004>>. Acesso em 14 novembro 2017.

SOLAR INSTRUMENTAÇÃO. **SL2000 PNVn Manager**. Software adquirido junto ao sensor de nível e placa solar da Solar Instrumentação. 2017.

SONTEK / XYLEM INC. **River Surveyor Live**. Software de patente livre. Disponível em: <<https://www.sontek.com//softwaredetail.php?RiverSurveyor-LIVE-RSL-34>>. Acesso em: 25 outubro 2017.

TUCCI, C. E. M., *et al.* Short- and long-term flow forecasting in the Rio Grande watershed (Brazil). **Atmos. Sci. Let.**, v. 9, n. 2, p. 53-56, 2008. Doi: <10.1002/asl.165>. Acesso em: 03 novembro 2017.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007. 943 pg.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. Previsão de Vazão. In: **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, p.281-348. 2003

TWITTER INC. **Twitter Oficial PNAS e PNSG**. Disponível em: <https://twitter.com/PNAS_PNSG>. Acesso em: 18 setembro 2017.

UMANN, L. V. *et al.* Vulcanismo ácido da região de Cambará do Sul-RS: litoquímica e discussão sobre a origem dos depósitos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, p. 357-364, Set. 2001.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press, 2a ed., 2006, 627p.

**8. ANEXO A – RELATÓRIOS DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO REALIZADAS
COM ADCP – *SOFTWARE RIVER SURVEYOR LIVE***

- **Página 138 - Relatório Medição 1 – 01/nov**
- **Página 139 - Relatório Medição 2 – 17/nov**
- **Página 140 - Relatório Medição 3 – 13/dez**
- **Página 141 - Relatório Medição 4 – 22/dez**

Relatório da Medição

139

Data Medido: quarta-feira, 1 de novembro de 2017

Detalhes do Local		Informações da Medição	
Nome do Local	PNAS1	Participantes	Mauricio, Karla
Código da Seção		Barco/Motor	
Localização	Parque Nacional dos Aparados da Serra	Nº da Medição	1

Informações do Sistema		Configurações do Sistema		Unidades	
Tipo do Sistema	RS-M9	Prof. dos Transdutores (m)	0,00	Dist.	m
Número de Série	3471	Região Filtrada (m)	0,00	Velocidade	m/s
Versão do Firmware	3.99	Salinidade (ppt)	0,0	Área	m2
Versão do Software	4.0	Declinação Mag. (graus)	0,0	Vaz.	m3/s
				Temperatura	graus C

Configurações da Medição				Resultados de Vazão	
Ref. para Trajeto	Bottom-Track	Método Margem Esq.	Margem Gradual	Largura (m)	14,125
Ref. para Prof.	Feixe Vertical	Método Margem Dir.	Margem Gradual	Área (m2)	10,294
Sist. de Coord.	ENU	Tipo Extrapolação Superf.	Lei Exponencial	Vel. Abs. Média (m/s)	0,046
		Tipo Extrapolação Fundo	Lei Exponencial	Vaz. Total (m3/s)	0,471
		Cota Inicial (m)	0,04	Profundidade máxima medida	1,126
		Cota Final (m)	0,04	Velocidade máxima medida	1,038

Resultados das Medições																		
Nº da trav.	Hora			Dist.				Vel. Méd.				Vaz.				%		
	#	Hora	Duração	Temp.	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.	Meio	Fundo		Total	LCTotal
1	M	10:48:40	0:03:29	16,0	18,48	12,99	13,993	10,254	0,088	0,054	0,00	0,00	0,04	0,43	0,07	0,549	--	78,8
2	M	10:52:51	0:04:52	16,6	15,67	12,37	13,375	8,593	0,054	0,043	0,00	0,00	0,03	0,31	0,03	0,368	--	83,5
3	M	10:58:15	0:02:11	16,4	16,88	13,03	14,029	10,787	0,129	0,044	0,00	0,00	0,03	0,37	0,06	0,469	--	78,8
4	M	11:01:15	0:02:24	16,8	17,36	13,78	14,777	11,324	0,121	0,042	0,00	0,00	0,04	0,37	0,07	0,477	--	78,0
5	M	11:04:21	0:03:37	16,1	19,30	13,81	14,814	10,953	0,089	0,037	0,00	0,00	0,03	0,33	0,05	0,406	--	79,6
6	M	11:08:10	0:03:08	16,9	17,22	12,76	13,760	9,853	0,092	0,056	0,00	0,00	0,05	0,42	0,08	0,555	--	75,7
			Média	16,5	17,48	13,12	14,125	10,294	0,095	0,046	0,00	0,00	0,04	0,37	0,06	0,471	0,000	79,1
			Desvio Padrão	0,3	1,16	0,52	0,520	0,897	0,024	0,007	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,069	0,000	2,3
			CV	0,0	0,066	0,040	0,037	0,087	0,257	0,148	1,036	0,759	0,222	0,120	0,265	0,146	0,000	0,030

Tempo de Exposição: 0:19:41

Nº da trav.20171101104838r.rivr; Nº da trav.20171101105249r.rivr; Nº da trav.20171101105813r.rivr; Nº da trav.2017110110113r.rivr; Nº da trav.2017110110419r.rivr; Nº da trav.20171101110808r.rivr;

Coment.

Nº da trav.20171101104838r.rivr - 11h47; Nº da trav.20171101105249r.rivr - 11h47; Nº da trav.20171101105813r.rivr - 11h47; Nº da trav.2017110110113r.rivr - 11h47; Nº da trav.2017110110419r.rivr - 11h47; Nº da trav.20171101110808r.rivr - 11h47;

Calibração da Bússola

Calibração com sucesso

CAUTION

Duração da calibração = 120 s

M77.00 = Influência magnética tolerável

Q9 = Campo magnético é uniforme

H9 = Rotação horizontal completa

V1 = Pitch/Roll Baixos

Recomendações:

As travessias devem ser feitas com baixa inclinação, ou, repetir a calibração com pitch/roll mais elevados se possível

Evite mudanças na configuração e orientação entre o sistema e as influências magnéticas detectadas durante a calibração da bússola.

A localização da travessia deve ter as mesmas propriedades magnéticas de onde a bússola foi calibrada.

Testar Sistema

Resultado: Sistema está operando normalmente

Parâmetros e configurações marcadas com um * não são constantes para todos os arquivos.

Relatório gerado com RiverSurveyor Live v4.0

Relatório da Medição

140

Data Medido: sexta-feira, 17 de novembro de 2017

Detalhes do Local		Informações da Medição	
Nome do Local	PNAS	Participantes	Felipe, Mauricio, Claudia, Masato
Código da Seção		Barco/Motor	
Localização	Parque Nacional	Nº da Medição	

Informações do Sistema		Configurações do Sistema		Unidades	
Tipo do Sistema	RS-M9	Prof. dos Transdutores (m)	8,00	Dist.	m
Número de Série	3471	Região Filtrada (m)	0,00	Velocidade	m/s
Versão do Firmware	3.99	Salinidade (ppt)	0,0	Área	m2
Versão do Software	4.0	Declinação Mag. (graus)	-179,0	Vaz.	m3/s
				Temperatura	graus C

Configurações da Medição				Resultados de Vazão	
Ref. para Trajeto	Bottom-Track	Método Margem Esq.	Margem Vertical	Largura (m)	24,699
Ref. para Prof.	Feixe Vertical	Método Margem Dir.	Margem Gradual	Área (m2)	
Sist. de Coord.	ENU	Tipo Extrapolação Superf.	Lei Exponencial	Vel. Abs. Média (m/s)	0,000
		Tipo Extrapolação Fundo	Lei Exponencial	Vaz. Total (m3/s)	
		Cota Inicial (m)	0,00	Profundidade máxima medida	9,220
		Cota Final (m)	0,00	Velocidade máxima medida	0,657

Resultados das Medições																		
Nº da trav.	Hora			Dist.				Vel. Méd.				Vaz.				%		
	#	Hora	Duração	Temp.	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.	Meio	Fundo		Total	LCTotal
1	M	14:30:11	0:03:19	17,7	15,57	13,58	24,577		0,078	0,000	1,17	0,08	0,00	0,57	0,00	1,820	--	31,1
2	M	14:33:47	0:03:15	18,2	14,78	13,65	24,649		0,076	0,000	1,08	-0,25	0,00	0,65	0,00	1,481	--	32,7
3	M	14:37:17	0:02:37	17,4	15,43	13,94	24,938		0,098	0,000	1,01	-0,67	0,00	0,63	0,00	0,968	--	27,2
4	M	14:40:05	0:02:37	17,9	15,27	13,63	24,631		0,097	0,000	1,44	-0,43		0,63	0,00		--	0,0
			Média	17,8	15,26	13,70	24,699		0,087	0,000	1,18	-0,32		0,62	0,00		0,000	22,8
			Desvio Padrão	0,3	0,30	0,14	0,141		0,010	0,000	0,16	0,27		0,03	0,00		0,000	13,3
			CV	0,0	0,019	0,010	0,006		0,119	0,000	0,139	0,863		0,049	0,000		0,000	0,584

Tempo de Exposição: 0:11:48

Nº da trav.20171117143010r.rivr; Nº da trav.20171117143346r.rivr; Nº da trav.20171117143716r.rivr; Nº da trav.20171117144004r.rivr;

Coment.
 Nº da trav.20171117143010r.rivr - Cota:0,45m; Nº da trav.20171117143346r.rivr - Cota:0,45m; Nº da trav.20171117143716r.rivr - Cota:0,45m; Nº da trav.20171117144004r.rivr - Cota:0,45m;

Calibração da Bússola
 Calibração com sucesso
 CAUTION
 Duração da calibração = 110 s
 M88.00 = Influência magnética tolerável
 Q8 = Campo magnético é uniforme
 H9 = Rotação horizontal completa
 V1 = Pitch/Roll Baixos
 Recomendações:
 As travessias devem ser feitas com baixa inclinação, ou, repetir a calibração com pitch/roll mais elevados se possível
 Evite mudanças na configuração e orientação entre o sistema e as influências magnéticas detectadas durante a calibração da bússola.
 A localização da travessia deve ter as mesmas propriedades magnéticas de onde a bússola foi calibrada.

Testar Sistema
 Resultado: Sistema está operando normalmente

Relatório da Medição

141

Data Medido: quarta-feira, 13 de dezembro de 2017

Detalhes do Local		Informações da Medição	
Nome do Local		Participantes	
Código da Seção		Barco/Motor	
Localização		Nº da Medição	

Informações do Sistema		Configurações do Sistema		Unidades	
Tipo do Sistema	RS-M9	Prof. dos Transdutores (m)	0,10	Dist.	m
Número de Série	3471	Região Filtrada (m)	0,00	Velocidade	m/s
Versão do Firmware	3.99	Salinidade (ppt)	0,0	Área	m2
Versão do Software	4.0	Declinação Mag. (graus)	0,0	Vaz.	m3/s
				Temperatura	graus C

Configurações da Medição				Resultados de Vazão	
Ref. para Trajeto	Bottom-Track	Método Margem Esq.	Margem Vertical	Largura (m)	13,968
Ref. para Prof.	Feixe Vertical	Método Margem Dir.	Margem Gradual	Área (m2)	12,237
Sist. de Coord.	ENU	Tipo Extrapolação Superf.	Lei Exponencial	Vel. Abs. Média (m/s)	0,075
		Tipo Extrapolação Fundo	Lei Exponencial	Vaz. Total (m3/s)	0,917
		Cota Inicial (m)	0,05	Profundidade máxima medida	1,284
		Cota Final (m)	0,05	Velocidade máxima medida	0,916

Resultados das Medições																		
Nº da trav.	Hora			Dist.			Vel. Méd.					Vaz.					%	
	#	Hora	Duração	Temp.	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.	Meio	Fundo	Total		LCTotal
1	M	10:37:07	0:04:28	18,3	14,96	13,05	14,053	10,790	0,056	0,086	0,02	0,00	0,17	0,63	0,11	0,930	--	67,5
2	M	10:41:49	0:04:41	18,7	15,43	11,89	12,890	11,778	0,055	0,075	0,00	0,00	0,16	0,62	0,11	0,885	--	69,8
3	M	10:46:58	0:04:57	18,4	15,43	12,97	13,970	12,194	0,052	0,074	0,00	0,00	0,16	0,63	0,11	0,904	--	69,9
4	M	10:52:35	0:04:48	18,8	14,62	13,37	14,373	12,837	0,051	0,073	0,00	0,00	0,17	0,66	0,11	0,933	--	70,3
5	M	10:57:47	0:05:07	18,5	14,85	13,00	14,002	12,436	0,048	0,071	0,01	0,00	0,16	0,61	0,11	0,887	--	69,1
6	M	11:03:12	0:05:30	19,0	15,50	13,52	14,520	13,389	0,047	0,072	0,00	0,00	0,17	0,67	0,13	0,963	--	69,2
			Média	18,6	15,13	12,97	13,968	12,237	0,051	0,075	0,01	0,00	0,16	0,64	0,11	0,917	0,000	69,3
			Desvio Padrão	0,3	0,34	0,52	0,523	0,820	0,003	0,005	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,028	0,000	0,9
			CV	0,0	0,022	0,040	0,037	0,067	0,062	0,068	1,197	0,456	0,031	0,030	0,058	0,030	0,000	0,013

Tempo de Exposição: 0:29:31

Nº da trav.20171213103654r.rivr; Nº da trav.20171213104137r.rivr; Nº da trav.20171213104646r.rivr; Nº da trav.20171213105222r.rivr; Nº da trav.20171213105735r.rivr; Nº da trav.20171213110259r.rivr;

Coment.
 Nº da trav.20171213103654r.rivr - ; Nº da trav.20171213104137r.rivr - ; Nº da trav.20171213104646r.rivr - ; Nº da trav.20171213105222r.rivr - ; Nº da trav.20171213105735r.rivr - ; Nº da trav.20171213110259r.rivr - ;

Calibração da Bússola
 Calibração com sucesso
 CAUTION
 Duração da calibração = 120 s
 M73.00 = Influência magnética tolerável
 Q9 = Campo magnético é uniforme
 H9 = Rotação horizontal completa
 V1 = Pitch/Roll Baixos
 Recomendações:
 As travessias devem ser feitas com baixa inclinação, ou, repetir a calibração com pitch/roll mais elevados se possível
 Evite mudanças na configuração e orientação entre o sistema e as influências magnéticas detectadas durante a calibração da bússola.
 A localização da travessia deve ter as mesmas propriedades magnéticas de onde a bússola foi calibrada.

Testar Sistema
 Resultado: Sistema está operando normalmente

Relatório da Medição

142

Data Medido: sexta-feira, 22 de dezembro de 2017

Detalhes do Local		Informações da Medição	
Nome do Local		Participantes	
Código da Seção		Barco/Motor	
Localização		Nº da Medição	

Informações do Sistema		Configurações do Sistema		Unidades	
Tipo do Sistema	RS-M9	Prof. dos Transdutores (m)	0,10	Dist.	m
Número de Série	3471	Região Filtrada (m)	0,00	Velocidade	m/s
Versão do Firmware	3.99	Salinidade (ppt)	0,0	Área	m ²
Versão do Software	4.0	Declinação Mag. (graus)	0,0	Vaz.	m ³ /s
				Temperatura	graus C

Configurações da Medição				Resultados de Vazão	
Ref. para Trajeto	Bottom-Track	Método Margem Esq.	Margem Vertical	Largura (m)	13,854
Ref. para Prof.	Feixe Vertical	Método Margem Dir.	Margem Gradual	Área (m ²)	11,420
Sist. de Coord.	ENU	Tipo Extrapolação Superf.	Lei Exponencial	Vel. Abs. Média (m/s)	0,059
		Tipo Extrapolação Fundo	Lei Exponencial	Vaz. Total (m ³ /s)	0,678
		Cota Inicial (m)	0,00	Profundidade máxima medida	1,271
		Cota Final (m)	0,00	Velocidade máxima medida	0,983

Resultados das Medições																	
Nº da trav.	Hora			Dist.			Vel. Méd.					Vaz.					%
	#	Hora	Duração	Temp.	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.	Meio	Fundo	Total	
1 M	08:24:42	0:01:55	20,8	13,96	13,10	13,903	11,055	0,121	0,065	0,01	0,00	0,13	0,50	0,08	0,719	--	69,7
2 M	08:28:29	0:01:24	20,6	14,08	13,35	14,152	11,850	0,168	0,054	0,00	0,00	0,11	0,46	0,07	0,635	--	70,8
3 M	08:31:46	0:01:23	20,5	15,02	14,31	15,107	11,390	0,181	0,061	0,00	0,00	0,12	0,49	0,08	0,695	--	71,0
4 M	08:33:19	0:01:42	20,6	15,57	11,26	12,057	11,420	0,153	0,059	0,02	0,00	0,11	0,48	0,06	0,675	--	71,5
5 M	08:38:43	0:01:26	20,4	13,53	13,25	14,048	11,385	0,157	0,059	0,00	0,00	0,12	0,47	0,07	0,667	--	70,9
		Média	20,6	14,43	13,05	13,854	11,420	0,156	0,059	0,01	0,00	0,12	0,48	0,07	0,678	0,000	70,8
		Desvio Padrão	0,1	0,75	0,99	0,993	0,253	0,020	0,004	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,028	0,000	0,6
		CV	0,0	0,052	0,076	0,072	0,022	0,127	0,062	1,511	2,000	0,055	0,033	0,076	0,041	0,000	0,008

Tempo de Exposição: 0:07:50

Nº da trav.20171222082425r.rivr ; Nº da trav.20171222082811r.rivr ; Nº da trav.20171222083129r.rivr ; Nº da trav.20171222083301r.rivr ; Nº da trav.20171222083825r.rivr ;

Coment.
 Nº da trav.20171222082425r.rivr - ; Nº da trav.20171222082811r.rivr - ; Nº da trav.20171222083129r.rivr - ; Nº da trav.20171222083301r.rivr - ; Nº da trav.20171222083825r.rivr - ;

Calibração da Bússola
 Calibração com sucesso
 CAUTION
 Duração da calibração = 90 s
 M90.00 = Influência magnética tolerável
 Q9 = Campo magnético é uniforme
 H9 = Rotação horizontal completa
 V1 = Pitch/Roll Baixos
 Recomendações:
 As travessias devem ser feitas com baixa inclinação, ou, repetir a calibração com pitch/roll mais elevados se possível
 Evite mudanças na configuração e orientação entre o sistema e as influências magnéticas detectadas durante a calibração da bússola.
 A localização da travessia deve ter as mesmas propriedades magnéticas de onde a bússola foi calibrada.

Testar Sistema
 Resultado: Sistema está operando normalmente

9. APÊNDICE A – GRÁFICOS DE BARRAS DOS FECHAMENTOS DA TRILHA

